

การศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างแผงระบายความร้อนแบบ  
ไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กเชนเจอร์  
A POSSIBILITY STUDY ON MICROFLUIDICS  
HEAT-EXCHANGER FABRICATION

นายจาดรงค์ จิระวงศ์  
MR. JATURONG JIRAVONG  
นายณัฐภัทร วงศ์เจริญยง  
MR. NATTHAPAT WONGCHAROENYONG

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2558

การศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างแผงระบายความร้อนแบบ  
ไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กซ์เชนเจอร์  
A POSSIBILITY STUDY ON MICROFLUIDICS  
HEAT-EXCHANGER FABRICATION



T143879

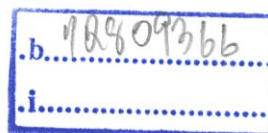
นายจตุรงค์ จิระวงศ์

MR. JATURONG JIRAVONG

นายณัฐภัทร วงศ์เจริญยง

MR. NATTHAPAT WONGCHAROENYONG

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน **143879**  
วัน,เดือน,ปี **04 ต.ค. 2559**



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2558

A POSSIBILITY STUDY ON MICROFLUIDICS  
HEAT-EXCHANGER FABRICATION

MR. JATURONG JIRAVONG  
MR. NATTHAPAT WONGCHAROENYONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2015

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์

การศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างแผงระบายความร้อนแบบ  
ไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กเชนเจอร์

A POSSIBILITY STUDY ON MICROFLUIDICS HEAT-EXCHANGER  
FABRICATION

นักศึกษา

นายจาตุรงค์ จิระวงศ์

รหัสประจำตัว 55010152


นายณัฐภัทร วงศ์เจริญยง

รหัสประจำตัว 55010391

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์



(รศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ)

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างแผงระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กเชนเจอร์
นักศึกษา	นายจาตุรงค์ จิระวงศ์ นายณัฐภัทร วงศ์เจริญยง
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	รศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบ และพัฒนากระบวนการผลิตแผงระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กเชนเจอร์ โดยเชื่อมแบบการแล่นประสานด้วยความต้านทาน และการยึดติดด้วยกาวโพลีอีพอกไซด์ เพื่อลดระยะเวลาในการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพของแผงระบายความร้อน โดยทำการผลิตชิ้นงานต้นแบบขนาด 20x20 มิลลิเมตร ด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม 304L หนา 0.2 มิลลิเมตร เป็นโครงสร้าง และใช้โลหะเติมในกลุ่ม BAg ซึ่งการตัดแผ่นโลหะจะใช้วิธีการตัดด้วยการปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านเส้นลวด การออกแบบนั้นอาศัยหลักการของไหลภายในท่อปิด โดยทำการทดสอบความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อตามมาตรฐาน ASTM D1002 และนำชิ้นงานไปทดสอบการระบายความร้อนของตัวชิ้นงานโดยการใช้น้ำไหลผ่าน และตรวจสอบการสูญเสียเฮดความดัน ผลที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงเฉือนของโพลีอีพอกไซด์ มีค่าความแข็งแรงของแรงเฉือนอยู่ระหว่าง 5.1 และ 8.1 MPa และเมื่อมีน้ำไหลผ่านภายในตัวชิ้นงานด้วยอัตราการไหล 80, 100 และ 120 ลิตรต่อชั่วโมง มีความสามารถในการระบายความร้อนเฉลี่ยอยู่ที่ 3 องศาเซลเซียส และมีการสูญเสียเฮดความดัน 148.7, 87.2 และ 65.2 Pa สำหรับแบบที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ โดยชิ้นงานใช้เวลาการผลิตเฉลี่ยทั้งสิ้น 3 ชั่วโมงต่อ 1 ชิ้น สามารถคิดเป็น 4 เท่าของความเร็วในการผลิตเดิม ซึ่งใช้วิธีการแล่นประสานภายใต้สภาวะสุญญากาศ หรือใช้แก๊สปกคลุมในเตาอบที่มีอุณหภูมิสูง

Thesis Title	A Possibility Study on Microfluidics Heat-Exchanger Fabrication
Student	Mr. Jaturong Jiravong Mr. Natthapat Wongcharoenyong
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2015
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Kannachai Kanlayasiri

### ABSTRACT

This project involves possibility study, design, and fabrication of microfluidics heat-exchanger. The main purpose of this project is to decrease production time of the heat exchanger fabrication process. Resistance brazing and adhesive bonding were used as the joining methods. The 20x20 millimeters prototypes were made from 0.2 millimeters thick 304L stainless steel, and BAg filler metal was used when joining each layer. Wire electrical discharge machining method was used to pattern the stainless steel sheets. The designs of micro-channel were based on the fundamentals of fluid mechanics and friction loss in pipes. Shear strength of the bonded specimens was tested in accordance to ASTM D1002 standard. Pressure drop and heat transfer efficiency were tested to indicate the performance of the heat exchanger. Results showed that the bonding strength falls between 5.1 and 8.1 MPa and the pressure drop is about 148.7, 87.2 and 65.2 Pa for the prototype 1, 2 and 3, respectively. The reduction of IC's temperatures was about 3 °C, and the production time was decreased to 240 minutes which was four times faster than the traditional method which is vacuum or inert gas brazing.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือและให้คำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ รศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ ที่คอยชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหาข้อบกพร่องต่างๆที่เกิดขึ้น และคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบุคคลทุกคนที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

รศ.ดร.สกันธ์ คล่องบุญจิต ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ ความเอาใจใส่ กำลังใจ และความช่วยเหลือในทุกๆด้านตลอดการศึกษา

ดร.นิรันดร์ พิสุทธอนันท์ ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ได้ให้ ความหวังใจ กำลังใจ ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน และอยู่เบื้องหลังความสำเร็จของคณะผู้จัดทำ

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมทุกท่านที่ให้ความเมตตากรุณาเอาใจใส่ช่วยเหลือจนจบงานปริญญาานิพนธ์สำเร็จไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอขอบคุณครอบครัวและเพื่อน รวมไปถึงผู้เกี่ยวข้องอื่น ๆ ที่มีได้เอ่ยนาม ที่คอยให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือ และคอยผลักดันคณะผู้จัดทำเสมอมา

นายจาตุรงค์ จิระวงค์

นายณัฐภัทร วงศ์เจริญยง

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ .....	ง
สารบัญตาราง .....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ซ
<b>บทที่ 1    บทนำ</b>	
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ .....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2    ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 การเชื่อมด้านทานแบบจุด.....	3
2.2 โพลีอีพอกไซด์ (อีพ็อกซี).....	5
2.2.1 Bisphenol-A.....	6
2.2.2 Epichlorohydrin.....	6
2.2.3 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์อีพ็อกซี .....	7
2.2.4 ประโยชน์และการนำไปใช้ของอีพ็อกซี .....	9
2.3 การถ่ายเทความร้อน .....	9
2.3.1 การนำความร้อน.....	10
2.3.2 การพาความร้อน.....	11
2.3.3 การแผ่รังสี .....	11
2.4 หลักการไหลในท่อปิด.....	12
2.4.1 การสูญเสียหลัก.....	13
2.4.2 การสูญเสียรอง.....	14

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 3 การดำเนินงาน</b>	
3.1 การวางแผนการดำเนินงาน .....	15
3.2 การออกแบบแผนกระจายความร้อน .....	15
3.2.1 การเลือกชนิดวัสดุที่จะนำมาใช้งาน .....	16
3.2.2 การออกแบบลวดลายในแผนกระจายความร้อน .....	17
3.2.3 การออกแบบทางเข้าและทางออกของแผนกระจายความร้อน .....	25
3.3 การออกแบบการทดลองการเชื่อมประสานโลหะด้วยเครื่องเชื่อมแบบจุด.....	27
3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	29
3.3.2 วิธีการทดลอง.....	29
3.4 การออกแบบการทดลองการเชื่อมประสานโลหะด้วยโพลีอีพอกไซด์ (อีพ็อกซี).....	30
3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	30
3.4.2 วิธีการทดลอง.....	31
3.5 การทดสอบประสิทธิภาพของแผนกระจายความร้อน.....	35
3.5.1 การทดสอบการสูญเสียทางความดัน .....	36
3.5.2 การทดสอบประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน.....	37
3.6 วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	38
<b>บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน</b>	
4.1 ผลการดำเนินงานในส่วนการเชื่อมประสานด้วยวิธีการแล่นประสานแบบจุด .....	39
4.1.1 พิจารณาที่ตัวแปรเวลา.....	40
4.1.2 พิจารณาที่จำนวนชั้นของ Base Metal และ Filler Metal.....	41
4.1.3 พิจารณาตามพื้นที่หน้าตัด.....	42
4.2 ผลการดำเนินงานในส่วนการเชื่อมประสานด้วยการใช้โพลีอีพอกไซด์.....	46
4.3 ประสิทธิภาพของแผนกระจายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กเชนเจอร์.....	47
4.4 ประสิทธิภาพของแผนกระจายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กเชนเจอร์เมื่อ เทียบกับผลการคำนวณที่คาดไว้.....	48

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 บทสรุป	
5.1 ผลการดำเนินงานในส่วนการเชื่อมประสานด้วยวิธีการแล่นประสานแบบจุด.....	49
5.1.1 เมื่อพิจารณาที่ตัวแปรเวลา.....	50
5.1.2 พิจารณาที่จำนวนชั้นของ Base Metal และ Filler Metal .....	50
5.1.3 พิจารณาที่พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน .....	51
5.2 ผลการดำเนินงานในส่วนการเชื่อมประสานด้วยการใช้โพลีอีพอกไซด์ .....	51
5.3 ประสิทธิภาพของเครื่องระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กซ์เชนเจอร์ .....	51
5.3.1 สรุปผลการทดลอง.....	51
5.3.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง .....	51
5.4 ข้อจำกัดและแนวทางการพัฒนาในอนาคต .....	51
5.4.1 ข้อจำกัด .....	51
5.4.2 แนวทางการพัฒนาในอนาคต.....	51
5.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการนี้ .....	51
เอกสารอ้างอิง.....	52

# สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุต่างๆ .....	11
ตารางที่ 3.1 ค่าส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ทำโครงการงาน .....	16
ตารางที่ 3.2 ค่าคุณสมบัติทางกลของของวัสดุที่ใช้ทำโครงการงาน ณ อุณหภูมิห้อง .....	17
ตารางที่ 3.3 ข้อดีและข้อเสียของแผงระบายความร้อนแต่ละแบบ .....	25
ตารางที่ 3.4 ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของแผงระบายความร้อนที่ออกแบบไว้ .....	38
ตารางที่ 4.1 ค่ากระแสไฟฟ้าที่ต้องการ ณ เวลาต่างๆโดยคำนวณตามสมการที่ 4.1.....	40
ตารางที่ 4.2 ค่ากระแสไฟฟ้าที่ต้องการ เมื่อจำนวนชั้นเปลี่ยนไป ณ เวลา (a) 5, (b) 10, (c) 15 วินาที	41
ตารางที่ 4.3 ค่ากระแสไฟฟ้าที่ต้องการ เมื่อพื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนไป ณ เวลา 5 วินาที .....	43
ตารางที่ 4.4 ค่ากระแสไฟฟ้าที่ต้องการ เมื่อพื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนไป ณ เวลา 10 วินาที .....	44
ตารางที่ 4.5 ค่ากระแสไฟฟ้าที่ต้องการ เมื่อพื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนไป ณ เวลา 15 วินาที .....	45
ตารางที่ 4.6 ค่าแรงเฉือนของโพลีเอพอกไซด์ที่ใช้ในการเชื่อมประสาน .....	46
ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบความดันที่สูญเสียไป .....	47
ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนทั้ง 3 แบบ .....	47
ตารางที่ 4.9 ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของแผงระบายความร้อนที่ได้จากการทดลอง .....	48
ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบการเชื่อมประสานด้วยวิธีการเล่นประสานแบบจุด .....	50

# สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 การเกิดความต้านทานในการเชื่อมความต้านทานแบบจุด.....	3
รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของ Bisphenol-A.....	6
รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของ Epichlorohydrin.....	6
รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์อีพ็อกซี.....	7
รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของ (a) Triethylenetetraamine (b) Diethylene triamine.....	7
รูปที่ 2.6 การเกิดปฏิกิริยา Cross Link หนึ่งโมเลกุล Epoxide.....	8
รูปที่ 2.7 การเกิดปฏิกิริยา Cross Link หลายโมเลกุล Epoxide .....	8
รูปที่ 2.8 การถ่ายเทความร้อน 3 รูปแบบ .....	9
รูปที่ 2.9 Moody Diagram.....	13
รูปที่ 3.1 ภาพแผนกระจายความร้อนแบบที่ 1 .....	18
รูปที่ 3.2 ภาพลวดลายของแผนกระจายความร้อนแบบที่ 1 (a) ชั้นที่ 1 (b) ชั้นที่ 2 (c) ชั้นที่ 3 (d) ชั้นที่ 4 (e) ชั้นที่ 5 .....	18
รูปที่ 3.3 ภาพแผนกระจายความร้อนแบบที่ 2 .....	21
รูปที่ 3.4 ภาพลวดลายของแผนกระจายความร้อนแบบที่ 2 (a) ชั้นที่ 1 (b) ชั้นที่ 2 (c) ชั้นที่ 3 (d) ชั้นที่ 4 (e) ชั้นที่ 5 .....	21
รูปที่ 3.5 ภาพแผนกระจายความร้อนแบบที่ 3 .....	23
รูปที่ 3.6 ภาพลวดลายของแผนกระจายความร้อนแบบที่ 3 (a) ชั้นที่ 1 (b) ชั้นที่ 2 (c) ชั้นที่ 3.....	24
รูปที่ 3.7 ทางเข้าและทางออกของน้ำส่วนที่ติดกับแผนกระจายความร้อนที่ได้ออกแบบไว้.....	26
รูปที่ 3.8 ตัวขึ้นงานทางเข้าและทางออกของน้ำส่วนที่ติดกับแผนกระจายความร้อน.....	26
รูปที่ 3.9 ทางเข้าและทางออกของน้ำส่วนที่ติดกับท่ออย่างที่ได้ออกแบบไว้.....	27
รูปที่ 3.10 ชิ้นงานจริงของทางเข้าและทางออกของน้ำส่วนที่ติดกับท่ออย่าง.....	27
รูปที่ 3.11 การผลิตแผนกระจายความร้อนจากการเชื่อมประสานโลหะด้วยเครื่องเชื่อมแบบจุด .....	28
รูปที่ 3.12 เครื่องเชื่อมประสานด้วยความต้านทานแบบจุด.....	30
รูปที่ 3.13 การทดลองการเชื่อมประสานโลหะด้วยโพลีอีพ็อกไซด์ (อีพ็อกซี).....	31
รูปที่ 3.14 ขนาดชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบแรงเฉือน .....	32
รูปที่ 3.15 ลักษณะชิ้นงาน Single-Lap-Joint และลักษณะการยึดติด .....	32
รูปที่ 3.16 อุปกรณ์จับยึดและอุปกรณ์กำหนดตำแหน่ง .....	33

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.17 แผงระบายความร้อนที่ถูกเชื่อมติดกันด้วยโพลีอีพอกไซด์ .....	35
รูปที่ 3.18 แผงระบายความร้อนที่ประกอบทางเข้าและทางออกของน้ำแล้ว .....	35
รูปที่ 3.19 นำชิ้นงานทดสอบต่อเข้ากับชุดควบคุมอัตราการไหล.....	36
รูปที่ 3.20 การทดลองใช้น้ำไหลผ่านที่อัตราการไหล 80 ลิตรต่อชั่วโมง .....	36
รูปที่ 3.21 การทำสารประกอบนำความร้อนกับชิ้นงานทดสอบก่อนที่จะนำไปติดกับอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ .....	37
รูปที่ 3.22 การทดลองใช้น้ำไหลผ่านที่อัตราการไหล 80 ลิตรต่อชั่วโมง .....	37
รูปที่ 3.23 โปรแกรม HWMonitor.....	38
รูปที่ 4.1 ผลการแล่นประสานด้วยเครื่องเชื่อมความต้านทานแบบจุดที่กระแสไฟฟ้า 300 แอมแปร์ ....	39

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

แผงระบายความร้อนมีความสามารถในการดูดซับความร้อนจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และใช้อากาศเป็นตัวพาความร้อนไปสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก โดยการใช้อากาศในการลดอุณหภูมิของแผงระบายความร้อนนั้นมีข้อจำกัดในเรื่องของอัตราการระบายความร้อน ถ้าต้องการความสามารถในการระบายความร้อนที่สูงจำเป็นต้องเพิ่มพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศ ซึ่งจะส่งผลให้แผงระบายความร้อนมีขนาดใหญ่ขึ้นตามไปด้วย แต่เนื่องจากเทคโนโลยีในยุคปัจจุบันมีการพัฒนาให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีขนาดที่เล็กลงและสามารถประมวลผลได้เร็วขึ้นทำให้เกิดความร้อนที่สูงขึ้นด้วย จึงจำเป็นต้องใช้แผงระบายความร้อนที่มีอัตราการระบายความร้อนที่สูง จากข้อจำกัดเรื่องพื้นที่ในการใช้งานทำให้การใช้อากาศเป็นตัวพาความร้อนไม่สามารถตอบสนองต่อการใช้งานดังกล่าวได้ จึงมีการคิดค้นแผงระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กซ์เชนเจอร์ขึ้นมา

ปัจจุบันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สมัยใหม่มีการพัฒนาและถูกผลิตอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ตลาดมีความต้องการในการใช้แผงระบายความร้อนมากขึ้นจึงจำเป็นต้องเพิ่มกำลังการผลิตให้ได้ในปริมาณที่มากเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของตลาดในอนาคต ซึ่งกระบวนการผลิตแผงระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กซ์เชนเจอร์นั้นใช้วิธีการเล่นประสานหรือการบัดกรีแข็งภายใต้สภาวะสุญญากาศหรือใช้แก๊สปกคลุมในเตาอบที่มีอุณหภูมิสูง ซึ่งใช้เวลานานสำหรับกระบวนการดังกล่าว เป็นสาเหตุให้แผงระบายความร้อนชนิดนี้ใช้เวลาในการผลิตนานทำให้ไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของตลาดได้ จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาและวิจัยเพื่อปรับปรุงกระบวนการดังกล่าวเพื่อลดระยะเวลาในการผลิตลง

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษา พัฒนา และ ปรับปรุงกระบวนการผลิตของแผงระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กซ์เชนเจอร์ด้วยวิธีการเชื่อมด้วยความต้านทานโดยใช้โลหะเติมในกลุ่มของ BAg และการยึดติดด้วยกาวโพลีอีพอกไซด์ (อีพอกซี) เพื่อช่วยในการลดระยะเวลาในการผลิต และเพื่อที่จะตอบสนองต่อความต้องการทางอุตสาหกรรมที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องรวมไปถึงการศึกษาผลกระทบต่อคุณสมบัติต่างๆของแผงระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กซ์เชนเจอร์

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษากระบวนการผลิตของแผงระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กซ์เชนเจอร์
2. เพื่อลดระยะเวลาในการผลิตของแผงระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กซ์เชนเจอร์
3. เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดจากการเชื่อมด้วยความต้านทานโดยมีกลุ่ม BAg เป็นโลหะเติม
4. เพื่อนำแผงระบายความร้อนที่สร้างขึ้นมาเป็นแนวทางในการพัฒนาทางด้านการศึกษาและการวิจัยต่อไปในอนาคต

## 1.3 ขอบเขตของปริญาานิพนธ์

1. ใช้เครื่อง Resistance Spot Welding ยี่ห้อ ซ.ซ้างแมชชีน รุ่น SP-8 ในการศึกษา
2. ใช้โพลีอีพอกไซด์ (อีพ็อกซี่) เป็นวัสดุแผ่นประสาน และกลุ่มโลหะ BAg เป็นโลหะเติม
3. ใช้เหล็กกล้าไร้สนิม 304L

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

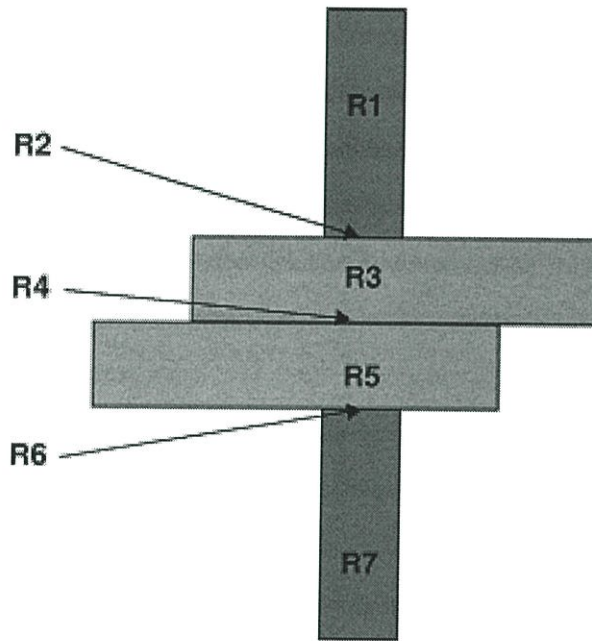
1. ได้ต้นแบบแผงระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กซ์เชนเจอร์ที่สร้างขึ้นโดยใช้วิธีการเชื่อมแบบการแล่นประสานด้วยความต้านทาน และสามารถนำไปพัฒนาต่อได้ในอนาคต
2. ได้ต้นแบบแผงระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กซ์เชนเจอร์ที่สร้างขึ้นโดยการใช้ โพลีอีพอกไซด์ (อีพ็อกซี่) เป็นตัวประสานและได้ต้นแบบที่สามารถนำไปพัฒนาต่อในอนาคต

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 การเชื่อมต้านทานแบบจุด (Resistance Spot Welding)

การเชื่อมต้านทานแบบจุด (Resistance Spot Welding, RSW) เป็นกรรมวิธีการเชื่อมแบบหลอมละลายที่อาศัยความร้อนที่เกิดจากการต้านทานการไหลของกระแสผ่านพื้นที่รอยต่อในการหลอมวัสดุและกดให้ติดกันด้วยแรงดันจากอิเล็กโทรดทั้งสองดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การเกิดความต้านทานในการเชื่อมความต้านทานแบบจุด  
(Kelkar, 2004)

โดยความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงานโลหะที่มีความต้านทานมากในที่นี้คือบริเวณผิวสัมผัส เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านบริเวณที่มีความต้านทานมากจะทำให้เกิดความร้อนและหลอมละลายชิ้นงานเข้าด้วยกัน

ค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นขณะทำการเชื่อมชิ้นงานแสดงดังสมการที่ 2.1 ประกอบด้วยความต้านทานทั้งหมด 7 จุด ดังนี้

$R_1$  คือ ความต้านทานของอิเล็กโทรดด้านบน (Upper Electrode Resistance)

$R_2$  คือ ความต้านทานของผิวชิ้นทดสอบด้านบน (Upper Specimen Resistance)

$R_3$  คือ ความต้านทานระหว่างผิวของชิ้นทดสอบด้านบน (Upper Specimen Resistance) และผิวของอิเล็กโทรดด้านบน (Upper Electrode Contact Resistance)

$R_4$  คือ ความต้านทานระหว่างผิวของชิ้นทดสอบด้านบน (Upper Specimen Resistance) และผิวของชิ้นทดสอบด้านล่าง (Lower Specimen Resistance)

$R_5$  คือ ความต้านทานของผิวชิ้นทดสอบด้านล่าง (Lower Specimen Resistance)

$R_6$  คือ ความต้านทานระหว่างผิวของชิ้นทดสอบด้านล่าง (Lower Specimen Resistance) และผิวของอิเล็กโทรดด้านล่าง (Lower Electrode Contact Resistance)

$R_7$  คือ ความต้านทานของอิเล็กโทรดด้านล่าง (Lower Electrode Resistance)

ค่าความต้านทานรวมของการเชื่อมต้านทานแบบจุดที่สามารถหาค่าได้จากสมการที่ 2.1

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 \quad (2.1)$$

ค่าความต้านทานประกอบด้วยสองส่วน คือ ความต้านทานของวัสดุ ( $R_1, R_3, R_5, R_7$ ) และความต้านทานที่ผิวสัมผัสระหว่างชิ้นงานกับอิเล็กโทรด ( $R_2, R_6$ ) ความต้านทานของวัสดุขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพของชิ้นงาน ( $R_3, R_5$ ) และอิเล็กโทรด ( $R_1, R_7$ ) ค่าต่างๆ เหล่านี้ไม่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงขณะทำการเชื่อม ขณะเดียวกันค่าความต้านทานที่จุดสัมผัสนั้นสามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับสถานะของปลายอิเล็กโทรด ค่าความต้านทานที่ทำให้เกิดแนวเชื่อมเกิดขึ้นจากค่าความต้านทาน  $R_3$  ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้เกิดความร้อนสูงสุด

การเกิดความร้อน (Heat Generation) ในรอยต่อการเชื่อมต้านทานแบบจุด เกิดจากการประยุกต์ใช้กฎของโอห์มเมื่อกระแสไหลผ่านตัวนำ ความต้านทานไฟฟ้าที่ยับยั้งการไหลผ่านของกระแสจะทำให้เกิดความร้อน (H) ที่สัมพันธ์กับกระแสเชื่อม (I) และความต้านทาน (R) โดยเป็นไปตามสมการที่ 2.2 ดังนี้

$$H = I^2R \quad (2.2)$$

ด้วยเหตุนี้ เมื่อทำการพิจารณาเวลาการเชื่อมเข้ามาเกี่ยวข้องแล้ว สมการการเกิดความร้อนสมการที่ 2.2 จะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้สมการการเกิดความร้อน (H) จากการเชื่อมต้านทานแบบจุดที่สัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้า (I) ความต้านทาน (R) เวลาเชื่อม (t) และการสูญเสียความร้อน (K) ดังนี้

$$H = I^2 R t K \quad (2.3)$$

เวลาการเชื่อมเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาในการเชื่อมต้านทานแบบจุด ถ้าเวลาในการเชื่อมยาวนานเกินไปอาจทำให้โลหะเชื่อมเกิดการหลอมละลายได้ และอาจส่งผลทำให้เกิดโพรงอากาศภายในได้ ส่วนใหญ่นิยมใช้เวลาไม่เกิน 15 วินาที

อย่างไรก็ตามสมการความร้อนที่แสดงในสมการที่ 2.3 ไม่นิยมนำมาใช้มากนัก เนื่องจากค่าสูญเสียความร้อนนั้นมีค่าที่สามารถวัดได้ยาก ด้วยเหตุนี้จึงมีการประยุกต์ใช้สมการความร้อน (H) ที่ก่อตัวในแนวเชื่อมที่สัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้า (I) ความต้านทาน (R) และเวลาเชื่อม (t) ดังต่อไปนี้

$$H = I^2 R t \quad (2.4)$$

## 2.2 โพลีอีพอกไซด์ (อีพ็อกซี่)

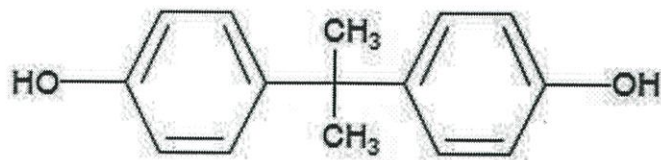
โพลีอีพอกไซด์หรืออีพ็อกซี่ เกิดจากปฏิกิริยาของ Resin กับ Hardener เป็นพลาสติกแบบพอลิเมอร์เทอร์โมเซตติงที่ขึ้นรูปจากปฏิกิริยาระหว่าง อีพอกไซด์เรซิน กับ พอลิเอมีนอีพ็อกซี่ ซึ่งปัจจุบันอีพ็อกซี่เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติใช้สอยหลากหลายและมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น การใช้อีพ็อกซี่เป็นวัสดุพลาสติกเสริมแรงด้วยไฟเบอร์ หรือการใช้อีพ็อกซี่เป็นวัสดุประสาน

อีพ็อกซี่เป็นโคโพลิเมอร์ โดยทั่วไปจะเกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง Epichlorohydrin และ Bisphenol-A แต่ภายหลังอาจถูกแทนที่ด้วยสารเคมีที่คล้าย Hardener ประกอบด้วยโมโนเมอร์พอลิเมอร์ เช่น Triethylenetetramine (TETA) เมื่อสารเหล่านี้ผสมกันกลุ่มละลายจะทำปฏิกิริยากับกลุ่มพอกไซด์ในรูปแบบโควาเลนต์ ในแต่ละกลุ่ม NH สามารถทำปฏิกิริยากับกลุ่มพอกไซด์เพื่อให้โพลิเมอร์ออกผลกระบวนการพอลิเมอร์นี้เรียกว่า “บ่ม” และสามารถควบคุมโดยอุณหภูมิและทางเลือกของ Resin และสาร Hardener กระบวนการอีพ็อกซี่นี้สามารถใช้เวลาเป็นนาทีหรือชั่วโมง อีพ็อกซี่ (Epoxy) เรามักจะรู้จักคุ้นเคยในรูปของกาวที่ใช้ติดสิ่งของต่างๆ ซึ่งมีคุณสมบัติแข็งแรงทนทานเป็นอย่างมาก อีพ็อกซี่จัดอยู่ในกลุ่ม Thermosetting Polymer คือเมื่อผ่านกระบวนการผลิตในครั้งแรกแล้วจะมีความแข็งแรงทนทานเป็นอย่างมาก ไม่คืนรูป และไม่สามารถที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ได้

### 2.2.1 Bisphenol-A

Bisphenol-A เป็นสารเคมีประเภทโพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate Plastic) เป็นของแข็งใสไม่มีสี ไม่แตกหักง่าย และสามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์แต่ไม่ละลายน้ำ มีสูตรโมเลกุล  $(\text{CH}_3)_2\text{C}(\text{C}_6\text{H}_4\text{OH})_2$  มีโครงสร้างโมเลกุลแสดงดังรูปที่ 2.2 มักใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตขวดพลาสติก เช่น ขวดน้ำดื่ม ขวดนมเด็ก แต่ภายหลังพบว่าสารนี้มีความเป็นพิษต่อร่างกายสูง เนื่องจากสามารถสลายตัวได้

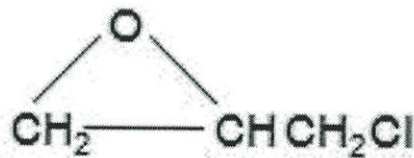
เมื่อได้รับความร้อน เช่น การนึ่งหรือต้ม ปัจจุบันได้มีการสั่งห้ามใช้ Bisphenol-A ในการผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารแล้ว



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของ Bisphenol-A  
(บุษกร วราเอกศิริ, 2553)

### 2.2.2 Epichlorohydrin

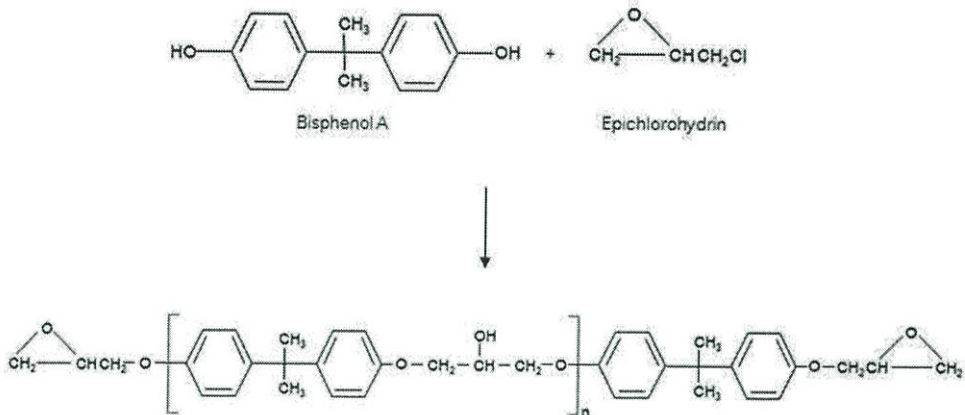
ยางอพิคลอโรไฮดรินเป็นยางสังเคราะห์ชนิดหนึ่งที่มีสายโซ่หลักเป็นพอลิเอเทอร์ และมีหมู่คลอโรเมทิลเป็นกิ่งก้าน เป็นของเหลวไม่มีสี มีกลิ่นฉุนคล้ายกระเทียม ติดไฟได้ง่าย สามารถละลายน้ำได้พอประมาณ มีสูตรโมเลกุล  $C_3H_5ClO$  และมีโครงสร้างโมเลกุลดังรูปที่ 2.3 ยางอพิคลอโรไฮดรินมีสมบัติเด่นหลายประการ คือ ทนต่อน้ำมันและน้ำมันเชื้อเพลิงได้ดี ทนต่อความร้อนและโอโซนได้ดีเยี่ยม มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซที่ต่ำ ทนทานต่อการติดไฟได้ดี และมีสมบัติการหักงอที่อุณหภูมิต่ำตีมากอีกด้วย ยางชนิดนี้แม้ว่าจะมีสมบัติที่ดีหลายประการ แต่ไม่นิยมนำมาใช้มากนักเนื่องจากยางชนิดนี้มีฤทธิ์กัดกร่อน



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของ Epichlorohydrin  
(บุษกร วราเอกศิริ, 2553)

### 2.2.3 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์อีพ็อกซี

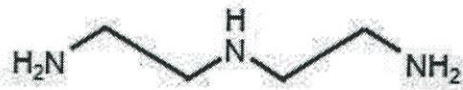
ปฏิกิริยาการสังเคราะห์อีพ็อกซีสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 2.4 เมื่อ n มีค่าประมาณ 20 – 30 พอลิเมอร์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นของแข็ง



สารเพิ่มความแข็ง (Hardener) เป็นสารประกอบโพลีเอมีน ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยปฏิกิริยาอาจเกิดที่หมู่ Epoxide ของสารประกอบ ซึ่งจะให้เกิดการทำปฏิกิริยาเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล (Cross-Linking) ตัวอย่างสาร Hardener ที่ใช้ได้แก่ Triethylenetetramine (TETA), Diethylene triamine (DETA) เป็นต้น โดยทั้งสองมีโครงสร้างทางเคมีดังรูปที่ 2.5 (a) และ 2.5 (b) ตามลำดับ

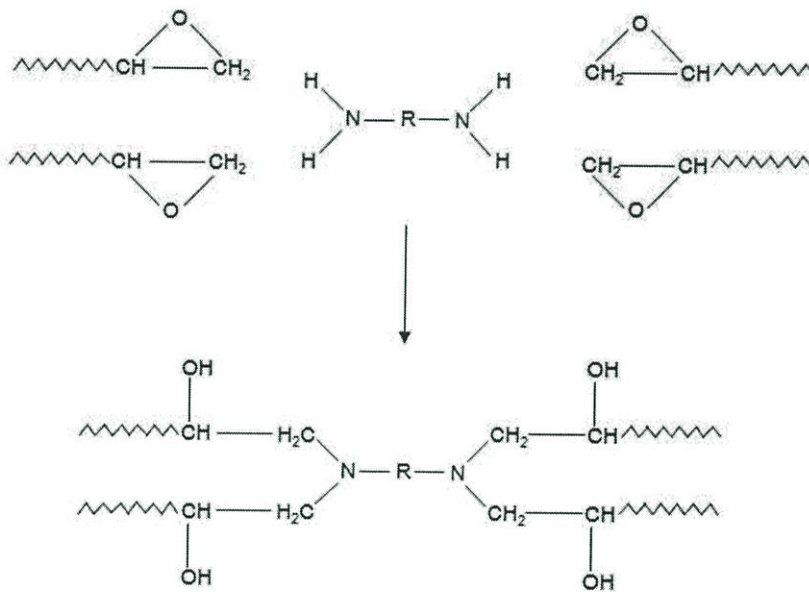


รูปที่ 2.5 (a) โครงสร้างทางเคมีของ Triethylenetetraamine (TETA)  
(บุษกร วราเอกศิริ, 2553)



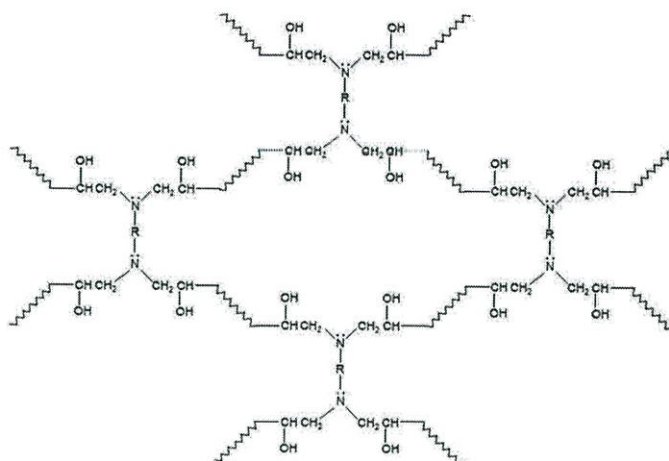
รูปที่ 2.5 (b) โครงสร้างทางเคมีของ Diethylene triamine (DETA)  
(บุษกร วราเอกศิริ, 2553)

สารเพิ่มความแข็งจะทำให้เกิด Cross link ในโมเลกุลเป็นจำนวนมาก ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นค่อนข้างซับซ้อน Cross Link ที่เกิดเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างหมู่ Amine กับ หมู่ Epoxide โดยจะเกิดการเชื่อมต่อระหว่างโมเลกุล ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การเกิดปฏิกิริยา Cross Link หนึ่งโมเลกุล Epoxide  
(บุษกร วราเอกศิริ, 2553)

และจะมีการเชื่อมต่อระหว่างโมเลกุลต่อกันไปเรื่อยๆ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การเกิดปฏิกิริยา Cross Link หลายโมเลกุล Epoxide  
(บุษกร วราเอกศิริ, 2553)

สามารถสรุปภาพรวมของ Cross link ที่เกิดขึ้นภายในโมเลกุลได้ดังนี้ Epoxy ที่ได้จากปฏิกิริยาจะมีสภาพแข็งเกร็ง (Rigid) มีความแข็งเหมือนเหล็ก ไม่หดตัว สามารถเจาะหรือตัดได้

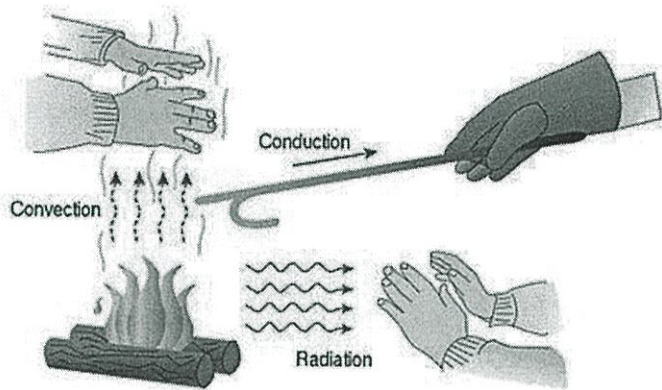
#### 2.2.4 ประโยชน์และการนำไปใช้ของอีพ็อกซีเรซิน

ใช้เป็นกาวและสารยึดติดเพราะอีพ็อกซีสามารถยึดติดกับวัสดุหลากหลายประเภทเช่น ไม้ เหล็ก ไฟเบอร์ แก้ว พลาสติก คอนกรีต รวมถึงเครื่องสุขภัณฑ์ต่างๆ ใช้เป็นสารเคลือบพื้นผิว นิยมใช้ในการเคลือบผิวของอาคาร พื้นอาคาร พื้นโรงงานเนื่องจากอีพ็อกซีมีคุณสมบัติทนต่อแรงกระแทก การขีดขีดเสียดสี ทนกรดและเบส ทนความร้อนได้ดี แต่ไม่ทนต่อ UV จึงมักถูกประยุกต์ใช้ภายในอาคารนอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้ในด้านอื่นๆ เช่น เป็นสารเคลือบภายในถังบรรจุสารเคมีใช้เป็นแบบหล่อในการผลิตเครื่องมือต่างๆ ในทางอุตสาหกรรมอีพ็อกซียังถูกนำไปใช้ในระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าต่างๆใช้ในการผลิตมอเตอร์ หม้อแปลง เป็นต้น

#### 2.3 การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน มีความสำคัญในชีวิตประจำวันและอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร ไม่ว่าจะเป็นการใช้ความร้อนในการหุงต้มอาหาร กระบวนการแปรรูปที่เกี่ยวข้องกับความร้อนและความเย็นในโรงงานแปรรูปอาหาร เช่น กระบวนการแช่เย็น การแช่แข็ง การฆ่าเชื้อโดยใช้ความร้อน การอบแห้ง และการระเหย กระบวนการเหล่านี้เกี่ยวข้องกับการถ่ายโอนความร้อนระหว่างผลิตภัณฑ์และตัวกลางให้ความร้อนหรือความเย็น

การถ่ายโอนความร้อนเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิระหว่างตำแหน่งสองตำแหน่งในมีค่าแตกต่างกัน โดยความร้อนจะถ่ายเทจากที่มีอุณหภูมิสูงไปที่มีอุณหภูมิต่ำเสมอในตัวกลางหรือระหว่างตัวกลาง การถ่ายโอนความร้อนสามารถถ่ายเทจากสสารหนึ่งไปยังอีกสสารหนึ่งโดยมีสื่อตัวกลางหรือไม่มีก็ได้ เราแบ่งกลไกการถ่ายเทความร้อนออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ 1.การนำความร้อน (Conduction) 2.การพาความร้อน (Convection) และ 3.การแผ่รังสี (Radiation) ดังแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การถ่ายเทความร้อน 3 รูปแบบ  
(ลดาวัลย์ พวงจิตร, 2558)

### 2.3.1 การนำความร้อน (Conduction)

เป็นการส่งถ่ายอุณหภูมิโดยที่ตัวกลางนั้นอยู่กับที่ โดยถ่ายเทความร้อนจากโมเลกุลไปสู่อีกโมเลกุลหนึ่งที่อยู่ติดกันไปเรื่อยๆ จากอุณหภูมิสูงไปสู่อุณหภูมิต่ำ ยกตัวอย่างเช่น เราจับแท่งเหล็กแท่งหนึ่ง แล้วนำปลายของแท่งเหล็กนั้นไปเผาไฟ สักพักมือของเราที่จับปลายอีกด้านก็จะรู้สึกถึงความร้อนที่มือ ตัวกลางได้แก่ แท่งเหล็กที่มีความร้อนวิ่งผ่าน โลหะเป็นตัวนำความร้อนที่ต่อโลหะและอากาศเป็นตัวนำความร้อนที่เลว ส่วนอัตราการนำความร้อนขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิ และคุณสมบัติการนำความร้อนของวัสดุ วัสดุใดจะนำความร้อนดีหรือไม่ดี ขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ( $k$ ) วัสดุต่างชนิดกันจะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนแตกต่างกัน โดยจะแสดงถึงอัตราการไหลของความร้อนที่จุดใดจุดหนึ่งที่ผ่านมวลของวัตถุและอุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างพื้นผิวของวัตถุ โดยตัวอย่างของค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.1

## ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุต่างๆ

วัสดุ	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน(k)(W/mK)
อากาศ (ที่ความดันบรรยากาศ)	0.026
อะลูมิเนียม	237
คอนกรีต	1.82
ทองแดง	401
เพชร	2300
น้ำแข็ง	2.2
กระดาษ	0.05
ไม้	0.1-0.35
เงิน	429

วัสดุนาโนเทคโนโลยี เป็นวัสดุที่น่าสนใจในเทคโนโลยีการถ่ายเทความร้อน เช่น ซิลเวอร์นาโน มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 1.2 kW/mK นาโนอื่นๆ ที่มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมากกว่านี้มีอีกมากหรือคาร์บอนนาโน ที่มาใช้ถ่ายเทความร้อนในชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

### 2.3.2 การพาความร้อน (Convection)

เป็นการส่งถ่ายอุณหภูมิโดยที่ตัวกลางเคลื่อนที่ การถ่ายเทความร้อนนี้เกิดขึ้นโดยการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสสาร ซึ่งมีสถานะเป็นของเหลวและแก๊สเนื่องจากเป็นสิ่งที่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยจะมีทิศทางลอยขึ้นเท่านั้น เนื่องจากเมื่อสสารได้รับความร้อนจะมีการขยายตัว ทำให้ความหนาแน่นต่ำลง และสสารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า (ความหนาแน่นสูงกว่า) ก็จะลงมาแทนที่ ปรากฏการณ์นี้มีตัวอย่างคือ การเกิดลมบก ลมทะเล เป็นต้นส่วนของแข็งมีการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อนและการแผ่รังสีเท่านั้น การพาความร้อนส่วนมากมักเกิดขึ้นในบรรยากาศและมหาสมุทร รวมทั้งแมกมาและโลหะเหลวภายในโลก

### 2.3.3 การแผ่รังสี (Radiation)

เป็นการถ่ายเทความร้อนออกรอบตัวทุกทิศทุกทาง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน ดังเช่นการนำความร้อนและการพาความร้อนการแผ่รังสีจึงสามารถถ่ายเทความร้อนผ่านอวกาศได้ วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่า  $-273^{\circ}\text{C}$  หรือ  $0\text{ K}$  (เคลวิน) ย่อมมีการแผ่รังสี วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงแผ่รังสีคลื่นสั้น วัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำแผ่รังสีคลื่นยาวตามกฎของวิน โดยที่วัตถุแต่ละชนิดสามารถดูดกลืนความร้อนจากการแผ่รังสีได้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ

1. สีของวัตถุ วัตถุสีดำหรือสีเข้มดูดกลืนความร้อนได้ดีกว่าวัตถุสีขาวหรือสีอ่อน
2. ผิววัตถุ วัตถุผิวขรุขระดูดกลืนความร้อนได้ดีกว่าวัตถุผิวเรียบและขัดมัน

## 2.4 หลักการไหลในท่อปิด

การไหลในท่อมักเกิดการสูญเสียความดันขึ้นเสมอตลอดระยะการไหล การสูญเสียดังกล่าวเกิดขึ้นจากหลายกรณี เช่น การเปลี่ยนแปลงความสูงของการไหล การเปลี่ยนแปลงหน้าตัดการไหล ความหนาแน่นและความหนืดของของไหล ความฝืดของผนังท่อซึ่งส่งผลให้การไหลปั่นป่วน เป็นต้น การจะขจัดต้นของไหลให้เคลื่อนตัวจากต้นทางไปยังตำแหน่งปลายทางที่ต้องการนั้น ผู้วิจัยต้องทราบการสูญเสียดังกล่าวทั้งหมดตลอดเส้นทางการไหลนั้นเสียก่อน จึงจะสามารถออกแบบและเลือกขนาดของเครื่องสูบลที่เหมาะสมมาใช้งานได้ การวิเคราะห์การสูญเสียความดันในท่อเนื่องจากการไหล โดยพื้นฐานทั่วไปอาศัยสมการพลังงานของกลศาสตร์ของไหล ดังนี้

$$\left[ \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + z_1 \right] - \left[ \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + z_2 \right] = h_L \quad (2.5)$$

โดยเลขกำกับ 1 และ 2 หมายถึงตำแหน่งต้นทางและปลายทาง ตามลำดับ  $V$  คือความเร็วเฉลี่ยของของไหล  $\rho$  คือความหนาแน่น  $z$  คือระยะสูงจากจุดอ้างอิง และ  $h_L$  คือการสูญเสียรวมที่เกิดขึ้น สำหรับในกรณีที่ท่อมีพื้นที่หน้าตัดคงที่และวางอยู่ในแนวระดับการสูญเสียคำนวณได้จาก

$$\frac{P_1 P_2}{\rho g} = h_L \quad (2.6)$$

อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติการสูญเสียเกี่ยวข้องโดยตรงกับพฤติกรรมการไหลในท่อซึ่งอธิบายด้วยเลขเรย์โนลด์ (Reynolds' number:  $R_e$ ) ดังนี้

$$R_e = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (2.7)$$

โดย  $\mu$  เป็นค่าความหนืดของของไหล  $D$  คือเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ สำหรับการไหลในท่อกลมนี้ เลขเรย์โนลด์ที่แบ่งการไหลทั้งสองออกจากกัน (Critical Reynolds' number:  $R_c$ ) มีค่าประมาณ 2300 โดยหากการไหลมีค่า  $R_e > R_c$  การไหลจะเป็นแบบปั่นป่วน แต่หาก  $R_e < R_c$  การไหลจะเป็นแบบราบเรียบ โดยการสูญเสียของการไหลในท่อนิยมแยกพิจารณาเป็น 2 ส่วน คือ

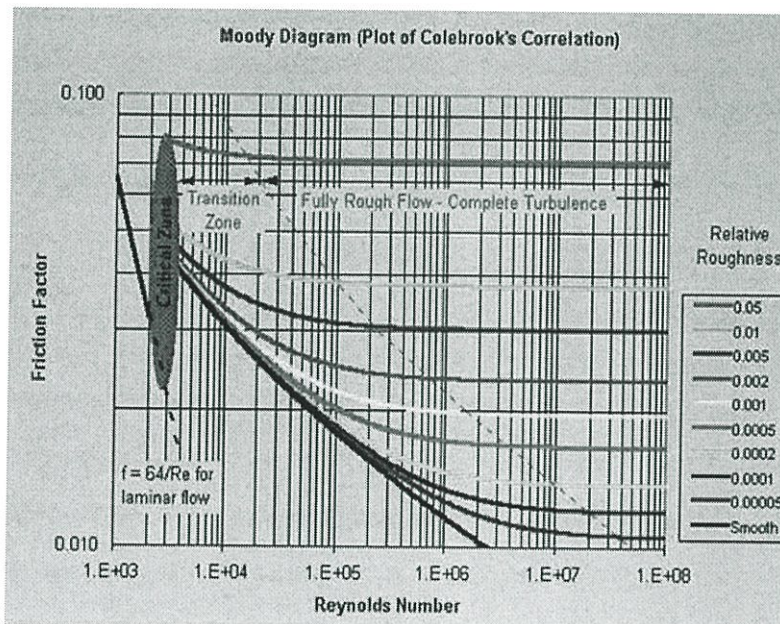
1. การสูญเสียหลัก (Major loss:  $h_M$ )
2. การสูญเสียรอง (Minor loss:  $h_m$ )

### 2.4.1 การสูญเสียหลัก (Major loss: $h_M$ )

การสูญเสียหลักเป็นผลจากความเสียดทานซึ่งจะเกิดขึ้นตลอดความยาวท่อ และความเคียดเคืองของผนัง ระหว่างของเหลวและความหยาบ (Roughness) ของพื้นผิวท่อที่เทียบกับขนาดความโตของท่อ และยังขึ้นอยู่กับความเร็วการไหลที่ทำให้การไหลเป็นแบบราบเรียบ (Laminar) หรือแบบปั่นป่วน (Turbulent) สำหรับการไหล และความยาวเทียบเท่าของท่อ โดย  $h_L = h_M + h_m$  ในทางทฤษฎีการสูญเสียหลัก  $h_M$  จะสัมพันธ์กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ ความยาวท่อ ความเร็วของการไหล คุณสมบัติของของไหล และตัวประกอบความเสียดทาน (Friction Factor:  $f$ ) ดังนี้

$$h_M = \frac{L v^2}{D 2g} \quad (2.8)$$

จากสมการนี้จะพบว่านอกจากค่าตัวประกอบความเสียดทานแล้วตัวแปรอื่นล้วนสามารถวัดค่าได้ทั้งสิ้น ดังนั้น การแก้ปัญหาค่าการสูญเสียในท่อโดยรวมก็คือการหาค่าตัวประกอบแรงเสียดทานนั่นเอง ซึ่งในทางปฏิบัติทำได้โดยอาศัย Moody Diagram ซึ่งเป็นแผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบแรงเสียดทาน  $f$  ค่าเลขเรย์โนลด์  $Re$  และความขรุขระสัมพัทธ์ของผิวท่อ โดย Moody Diagram แสดงในรูปที่ 2.9 สำหรับการไหลแบบราบเรียบจะพบความสัมพันธ์ของแรงเสียดทานคือ  $f=64/Re$



รูปที่ 2.9 Moody Diagram

(Rick Sellens, 1998)

#### 2.4.2 การสูญเสียรอง (Minor loss: $h_m$ )

การสูญเสียรองเกิดเฉพาะจุดติดตั้งอุปกรณ์ประกอบต่างๆ อาทิ ข้อต่อ วาล์ว เป็นต้น สำหรับการสูญเสียของ ( $h_m$ ) เป็นปัจจัยหลักสำหรับการสูญเสียในงานวิจัยนี้ เนื่องจากช่องทางไหลมีขนาดเล็กทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างท่ออ่อนๆ แต่มีจำนวนข้อต่อที่คดเคี้ยวอยู่มากจึงทำให้มีการสูญเสียจากการเปลี่ยนทิศทางมากกว่านั่นเอง สำหรับการคำนวณการสูญเสียรองสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.9

$$h_m = K \frac{v^2}{2g} \quad (2.9)$$

เมื่อ  $K$  เป็นตัวประกอบการสูญเสีย (Lose Coefficient) ซึ่งมีความขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์และพฤติกรรมการไหล

# บทที่ 3

## การดำเนินงาน

ในการจัดทำปฏิญญาพันธเรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบและพัฒนาแผงระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กซ์เชนเจอร์ฉบับนี้ มีวิธีการดำเนินงานดังนี้

- 3.1 การวางแผนการดำเนินงาน
- 3.2 การออกแบบแผงระบายความร้อน
- 3.3 การออกแบบการทดลองการเชื่อมประสานโลหะด้วยเครื่องเชื่อมแบบจุด
- 3.4 การออกแบบการทดลองการเชื่อมประสานโลหะด้วยโพลีอ็อกไซด์ (อีพ็อกซี)
- 3.5 การทดสอบประสิทธิภาพของแผงระบายความร้อน
- 3.6 การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับ

### 3.1 การวางแผนการดำเนินงาน

โดยในขั้นตอนของการวางแผนการดำเนินงาน ผู้วิจัยได้ทำขั้นตอนในการดำเนินงานไว้ดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีและกระบวนการผลิตเดิม เพื่อทราบความเป็นไปได้ในความสำเร็จของโครงการ
2. ศึกษาชนิดของวัสดุ คุณสมบัติต่างๆ ที่จะนำมาใช้ในโครงการทั้งหมด
3. ออกแบบและพัฒนาแท่งอิเล็กโทรดของเครื่อง Resistance Spot Welding และทำการทดลองแล่นประสานโดยใช้วิธีการ Resistance Brazing
4. ศึกษาพัฒนาและสร้างแผงระบายความร้อนจากการใช้โพลีอ็อกไซด์ (อีพ็อกซี)
5. ออกแบบพัฒนาและสร้างแผงระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กซ์เชนเจอร์
6. การศึกษาคุณสมบัติต่างๆของแผงระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กซ์เชนเจอร์
7. วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองและสรุปปัญหาที่เกิดขึ้นและทำการหาแนวทางแก้ไข

### 3.2 การออกแบบแผงระบายความร้อน

ในการออกแบบแผงระบายความร้อนนั้นทางผู้วิจัยได้แบ่งขั้นตอนสำหรับการออกแบบเป็น 3 ขั้นตอนหลักๆดังนี้

- 3.2.1 การเลือกชนิดวัสดุที่จะนำมาใช้งาน
- 3.2.2 การออกแบบลวดลายในแผงระบายความร้อน
- 3.2.3 การออกแบบทางเข้าและทางออกของแผงระบายความร้อน

### 3.2.1 การเลือกชนิดวัสดุที่จะนำมาใช้งาน

ในขั้นต้นหลังจากการศึกษาถึงคุณสมบัติของวัสดุต่างๆ แล้วได้มีข้อสรุปถึงวัสดุที่จะนำมาทำการทดลองดังนี้

1. ใช้เหล็กกล้าไร้สนิม 304L และ เหล็กกล้าไร้สนิม 304 เป็นโลหะพื้นฐาน
2. ใช้โลหะเติมเต็มในกลุ่มเงิน (BAg)
3. ใช้โพลีอีพอกไซด์ (อีพ็อกซี่) ยี่ห้อ Dr.Threebond

#### 3.2.1.1 เหล็กกล้าไร้สนิม 304/304L

สาเหตุที่ทำให้มีการเลือกใช้เหล็กกล้าไร้สนิม 304/304L เนื่องจากตัวแผงระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กซ์เชนเจอร์นั้นมีการใช้น้ำไหลผ่านเพื่อเป็นตัวพาความร้อนออกจากตัวแผงระบายความร้อน ดังนั้นวัสดุที่นำมาใช้จำเป็นต้องมีความทนทานต่อสภาพการกัดกร่อนที่สูงและสามารถเป็นตัวนำความร้อนได้ดี เมื่อพิจารณาจากค่าการป้องกันการกัดกร่อนที่สูงจึงเลือกใช้วัสดุดังกล่าวในการวิจัย โดยเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304/304L มีส่วนผสมดังตารางที่ 3.1 และมีคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ค่าส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ทำโครงการ

	Type 304 (%)	Type 304L (%)
Carbon	0.08max.	0.03max.
Manganese	2.00max.	2.00max.
Phosphorus	0.045max.	0.045max.
Sulfur	0.03max.	0.030max.
Silicon	0.75max.	0.75max.
Chromium	18.00-20.00	18.00-20.00
Nickel	8.00-12.00	8.00-12.00
Nitrogen	0.10max.	0.10max.
Iron	Balance	Balance

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตารางที่ 3.2 ค่าคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ทำโครงงาน ณ อุณหภูมิห้อง

	UTS ksi (MPa)	%0.2YS ksi (MPa)	Elongation % in 2" (50.8 mm)	Hardness Rockwell
Type 304L	(586) 85	(241) 35	55	B80
Type 304	(621) 90	(290) 42	55	B82

### 3.2.1.2 โลหะเติมเต็มในกลุ่มเงิน (Silver-Based Filler Metal)

ในส่วนของโลหะเติม ได้พิจารณาให้ใช้โลหะเติมเต็มในกลุ่มของ Ag-Based หรือกลุ่มโลหะเติมในกลุ่มเงิน เนื่องจากสามารถเชื่อมประสานกับโลหะพื้นแล้วสามารถช่วยลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและเป็นที่ยอมรับใช้ในการแล่นประสานโดยมีเหล็กกล้าไร้สนิมเป็นโลหะพื้น

### 3.2.1.3 โพลีอีพอกไซด์ (อีพ็อกซี่) Dr.Threebond

อีพ็อกซี่ยี่ห้อ Dr.Three bond ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะสมในงานวิจัยฉบับนี้ เพราะทนต่อความร้อนได้ถึง 177 องศาเซลเซียส ทนต่อการกัดกร่อนและการรั่วซึมจากของเหลว และมีคุณสมบัติในการยึดติดสูง โดยทั่วไปแล้วอีพ็อกซีนี้นิยมใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมรถยนต์ เช่น ติดฝาปะเกน รวมไปถึงติดรอยร้าวต่างๆในเครื่องยนต์

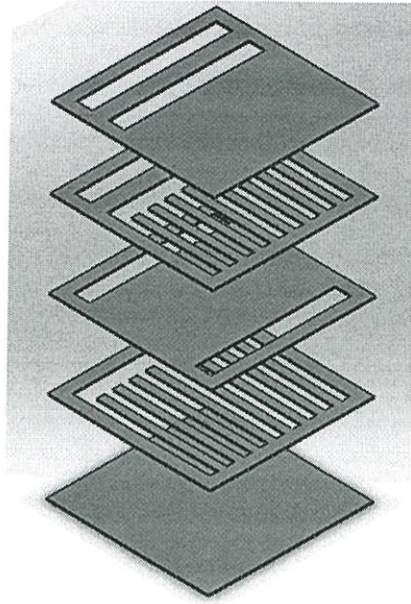
## 3.2.2 การออกแบบลวดลายในแผงระบายความร้อน

ในการออกแบบแผงระบายความร้อนผู้จัดทำได้ออกแบบโดยใช้พื้นฐาน การไหลทางกลศาสตร์ด้วยโปรแกรม SolidWorks โดยแผงความร้อนที่ได้ออกแบบมีขนาด 20x20 มิลลิเมตร จะแบ่งออกเป็น 3 แบบ และในแต่ละแบบจะมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันดังนี้

### 3.2.2.1 แผงระบายความร้อนแบบที่ 1

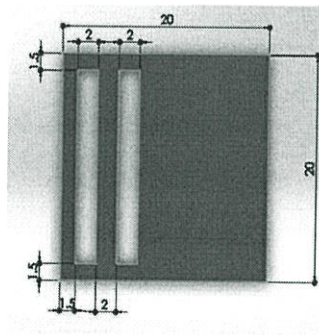
แผงระบายความร้อนแบบที่ 1 ออกแบบโดยที่ต้องการให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสของโลหะกับน้ำที่มาก เพราะบริเวณที่โลหะสัมผัสกับน้ำเป็นบริเวณที่จะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน ยังมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากก็จะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เร็วขึ้น ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงได้ทำการออกแบบแผงระบายความร้อนแบบที่ 1 ให้มีจำนวนชั้นทั้งหมด 5 ชั้น แสดงดังรูปที่ 3.1

143879



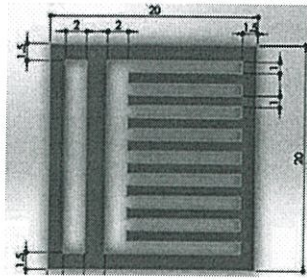
รูปที่ 3.1 ภาพแผงระบายความร้อนแบบที่ 1

ชั้นที่ 1 เป็นชั้นที่เป็นทางเข้าและทางออกของน้ำ โดยเว้นระยะจากขอบด้านนอกข้างละ 1.5 มิลลิเมตร เพื่อเป็นพื้นที่สำหรับการเชื่อม แผ่นที่ 1 กับ แผ่นที่ 2 ให้ติดกัน และออกแบบให้ทางเข้าและทางออกมีขนาด 17x2 มิลลิเมตร โดยทั้งสองห่างกัน 2 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (a)



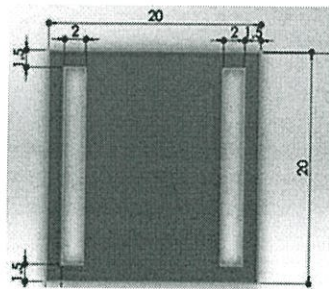
รูปที่ 3.2 (a) ภาพลดทอนชั้นที่ 1 ของแผงระบายความร้อนแบบที่ 1

ชั้นที่ 2 เป็นส่วนของช่องทางไหลของน้ำในส่วนบน โดยทางออกของน้ำอยู่ในตำแหน่งเดียวกับแบบที่ 1 และออกแบบทางแยกให้น้ำที่ไหลลงมาจากทางเข้า แบ่งออกเป็น 9 ช่อง เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยแต่ละช่องมีความกว้าง 1 มิลลิเมตร และห่างกัน 1 มิลลิเมตร โดยยังคงเว้นระยะห่างจากขอบนอกเท่าเดิมที่ 1.5 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (b)



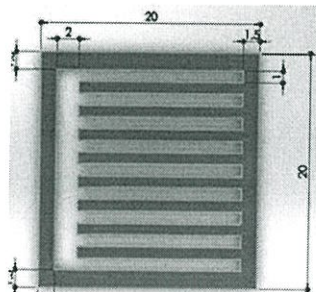
รูปที่ 3.2 (b) ภาพลวดลายชั้นที่ 2 ของแผงระบายความร้อนแบบที่ 1

ชั้นที่ 3 เป็นชั้นกั้นระหว่างช่องทางไหลของน้ำส่วนบนกับช่องทางไหลของน้ำส่วนล่าง โดยออกแบบให้ช่องทางออกของน้ำอยู่ตำแหน่งเดิม และเพิ่มช่องทางสำหรับให้น้ำไหลจากส่วนบนลงมาถึงส่วนล่าง ซึ่งออกแบบให้มีขนาด 17x2 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (c)



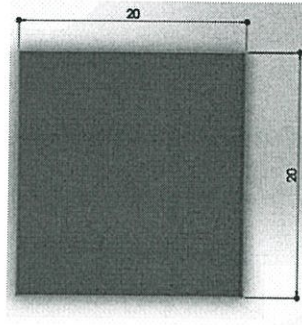
รูปที่ 3.2 (c) ภาพลวดลายชั้นที่ 3 ของแผงระบายความร้อนแบบที่ 1

ชั้นที่ 4 เป็นส่วนของช่องทางไหลของน้ำในส่วนล่าง โดยออกแบบเป็นช่อง 9 ช่อง ให้น้ำที่ไหลลงมาจากช่องทางไหลส่วนบนแยกออกและกลับมารวมกันอีกครั้งที่ทางออก โดยที่แต่ละช่องนั้นมีความกว้าง 1 มิลลิเมตร และห่างกัน 1 มิลลิเมตร และยังคงเว้นระยะห่างจากขอบนอกเท่าเดิมที่ 1.5 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (d)



รูปที่ 3.2 (d) ภาพลวดลายชั้นที่ 4 ของแผงระบายความร้อนแบบที่ 1

ชั้นที่ 5 เป็นชั้นล่างสุดที่สัมผัสกับตัวแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์จึงเป็นชั้นที่ไม่จำเป็นต้องมีช่อง ดังนั้น จึงมีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กขนาด 20x20 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (e)

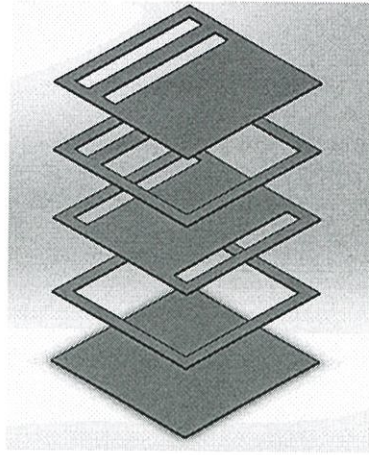


รูปที่ 3.2 (e) ภาพลวดลายชั้นที่ 5 ของแผงระบายความร้อนแบบที่ 1

ลักษณะเด่นของแบบที่ 1 คือการที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับของเหลวที่มาก ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม แผงความร้อนลวดลายนี้มีข้อเสียเช่นกัน เนื่องจากแผงระบายความร้อนแบบนี้ถูกออกแบบให้มีเส้นทางการไหลของน้ำที่เล็ก จึงทำให้ความเร็วในการไหลน้ำในระบบลดลงอย่างมาก ซึ่งเส้นทางการไหลที่เล็กนั้นจะส่งผลถึงความดันที่สูญเสียจะมีความมากขึ้นด้วย

### 3.2.2.2 แผงระบายความร้อนแบบที่ 2

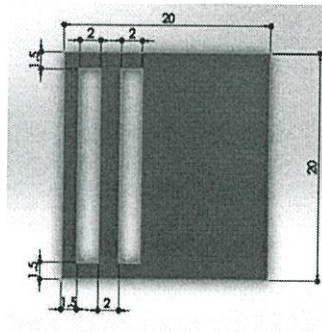
แผงระบายความร้อนแบบที่ 2 ออกแบบโดยที่ต้องการปรับปรุงข้อเสียของแผงระบายความร้อนแบบที่ 1 ที่มีช่องทางไหลของน้ำที่เล็กทำให้น้ำไหลยากและเกิดการสูญเสียความดันที่มาก เพราะแต่เดิมแผ่นโลหะที่ใช้มีความหนาเพียง 0.2 มิลลิเมตร บวกกับช่องทางไหลของน้ำที่เล็กจึงทำให้มีการสูญเสียความดันมาก อีกทั้งการที่มีช่องทางไหลที่เล็กนั้นจะทำให้มีความเค้นเกิดขึ้นที่รอยเชื่อมมาก ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการรั่วไหลของน้ำได้ ดังนั้นจำเป็นต้องปรับปรุงเส้นทางการไหลให้สามารถไหลได้ง่ายยิ่งขึ้น จึงเกิดเป็นแผงระบายความร้อนแบบที่ 2 ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ภาพแผงระบายความร้อนแบบที่ 2

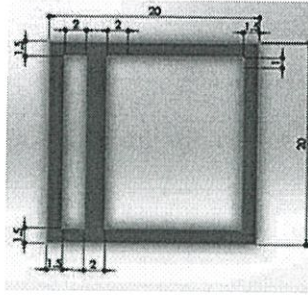
โดยมีจำนวนชั้นทั้งหมด 5 ชั้นดังนี้

ชั้นที่ 1 ยังคงเป็นแบบเดียวกับแผงระบายความร้อนแบบที่ 1 เป็นชั้นที่เป็นทางเข้าและทางออกของน้ำ โดยออกแบบให้ทางเข้าและทางออกมีขนาด 17x2 มิลลิเมตร โดยทั้งสองห่างกัน 2 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.4 (a)



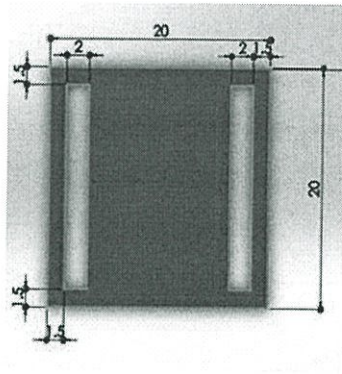
รูปที่ 3.4 (a) ภาพลวดลายชั้นที่ 1 ของแผงระบายความร้อนแบบที่ 2

ชั้นที่ 2 เป็นส่วนของช่องทางไหลของน้ำในส่วนบน โดยจะแตกต่างกับแบบที่ 1 ตรงที่เส้นทางการไหลจะเป็นแบบทางเดียวไม่ได้แยกเป็นหลายช่องทางเหมือนแบบที่ 1 แต่เป็นช่องทางกว้างขนาด 17 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.4 (b)



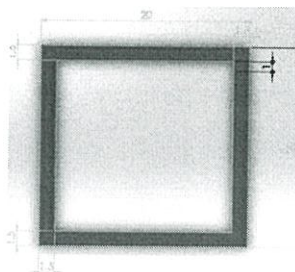
รูปที่ 3.4 (b) ภาพลวดลายชั้นที่ 2 ของแผงระบายความร้อนแบบที่ 2

ชั้นที่ 3 เป็นชั้นกั้นระหว่างช่องทางไหลของน้ำส่วนบนกับช่องทางไหลของน้ำส่วนล่าง ซึ่งเหมือนกับแบบที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 3.4 (c)



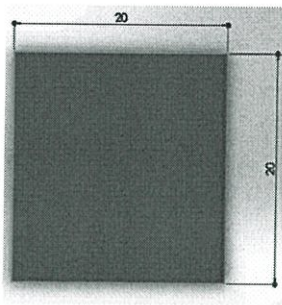
รูปที่ 3.4 (c) ภาพลวดลายชั้นที่ 3 ของแผงระบายความร้อนแบบที่ 2

ชั้นที่ 4 เป็นส่วนของช่องทางไหลของน้ำในส่วนล่าง โดยออกแบบให้มีช่องทางไหลขนาดใหญ่เพียงทางเดียว โดยมีขนาดความกว้าง 17 มิลลิเมตร เพื่อให้ น้ำที่ไหลลงมาสามารถไหลต่อไปยังทางออกได้ง่ายที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 3.4 (d)



รูปที่ 3.4 (d) ภาพลวดลายชั้นที่ 4 ของแผงระบายความร้อนแบบที่ 2

ชั้นที่ 5 เป็นชั้นล่างสุดที่สัมผัสกับตัวแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์จึงเป็นชั้นที่ไม่จำเป็นต้องมีช่อง ดังนั้น จึงมีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กขนาด 20x20 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.4 (e)

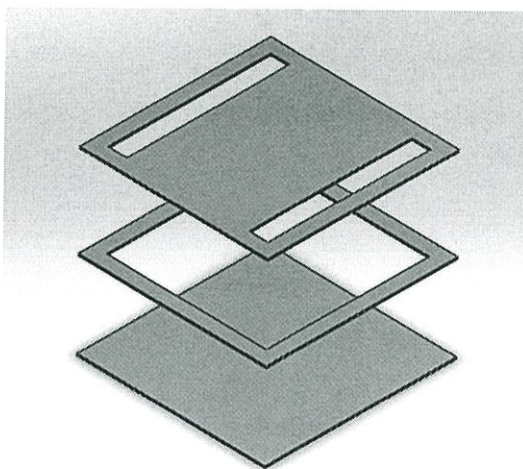


รูปที่ 3.4 (e) ภาพลวดลายชั้นที่ 5 ของแผงระบายความร้อนแบบที่ 2

ลักษณะโดดเด่นของแบบที่ 2 เป็นลวดลายที่พัฒนามาจากแบบแรกซึ่งนำข้อเสียของแบบแรกมาปรับปรุงให้มีขนาดของเส้นทางไหลของน้ำกว้างขึ้นจึงทำให้แบบนี้มีความโดดเด่นอยู่ที่ การไหลของของเหลวที่สามารถไหลได้ในปริมาณมาก แต่อย่างไรก็ตามลวดลายแบบนี้มีข้อเสียตรงที่น้ำมีพื้นที่สัมผัสกับโลหะน้อยจึงทำให้มีพื้นที่สำหรับการแลกเปลี่ยนความร้อนน้อยกว่าแบบแรก

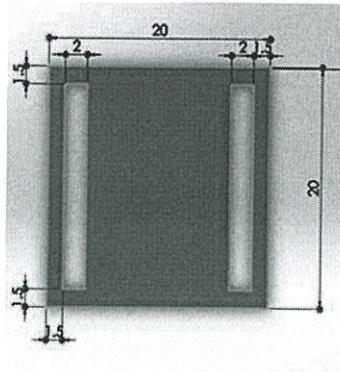
### 3.2.2.3 แผงระบายความร้อนแบบที่ 3

แผงระบายความร้อนแบบที่ 3 ออกแบบโดยที่ต้องการให้เป็นแผงระบายความร้อนที่สามารถผลิตง่ายที่สุดในทั้ง 3 แบบ จึงมีจำนวนชั้นแค่ 3 ชั้น และมีช่องทางไหลของน้ำที่กว้าง ดังแสดงในรูปที่ 3.5



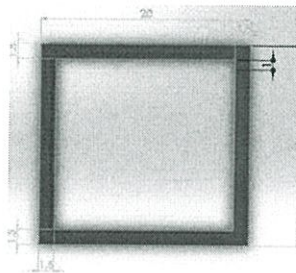
รูปที่ 3.5 ภาพแผงระบายความร้อนแบบที่ 3

ชั้นที่ 1 เป็นลวดลายแบบเดียวกับชั้นที่ 3 ของแผงระบายความร้อนแบบที่ 1 และ แผงระบายความร้อนแบบที่ 2 โดยใช้เป็นชั้นที่มีทางเข้าและทางออกของน้ำ ออกแบบให้ทางเข้าและทางออกมีขนาด 17x2 มิลลิเมตร โดยทั้งสองห่างกัน 13 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.6 (a)



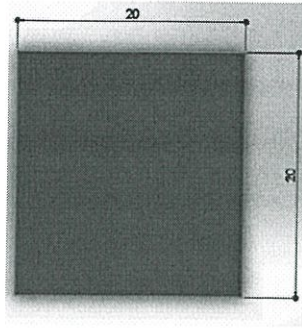
รูปที่ 3.6 (a) ภาพลวดลายชั้นที่ 1 ของแผงระบายความร้อนแบบที่ 3

ชั้นที่ 2 เป็นส่วนของช่องทางไหลของน้ำ โดยออกแบบให้มีช่องทางไหลขนาดใหญ่เพียงทางเดียว โดยมีขนาดความกว้าง 17 มิลลิเมตร เพื่อให้ น้ำที่ไหลลงมาสามารถไหลต่อไปยังทางออกได้ง่ายที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 3.6 (b)



รูปที่ 3.6 (b) ภาพลวดลายชั้นที่ 2 ของแผงระบายความร้อนแบบที่ 3

ชั้นที่ 3 เป็นชั้นล่างสุดที่สัมผัสกับตัวแผงวงจรรอิเล็กทรอนิกส์จึงเป็นชั้นที่ไม่จำเป็นต้องมีช่องทางไหล ดังนั้นจึงมีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กขนาด 20x20 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.6 (c)



รูปที่ 3.6 (c) ภาพลดทอนชั้นที่ 3 ของแผงระบายความร้อนแบบที่ 3

ลักษณะโดดเด่นของแบบที่ 3 คือพาความร้อนออกไปได้รวดเร็วที่สุดเพราะมีเส้นทางการไหลของน้ำสั้นที่สุด อีกทั้งยังมีความโดดเด่นทางด้าน การสูญเสียของความดันที่น้อย แต่จะมีข้อเสียในส่วนของพื้นที่ผิวสัมผัสของโลหะกับน้ำน้อยที่สุดในทั้ง 3 แบบ

โดยสามารถสรุปข้อดีและข้อเสียของแผงระบายความร้อนแบบที่ 1, 2 และ 3 ได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ข้อดีและข้อเสียของแผงระบายความร้อนแต่ละแบบ

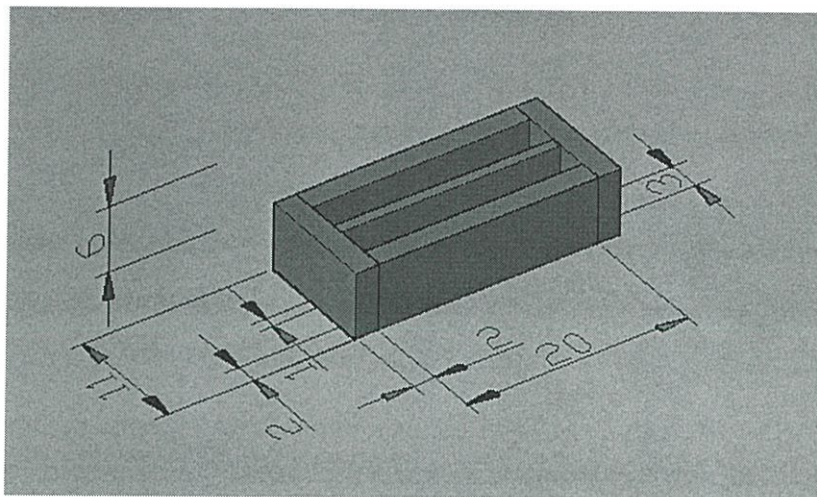
Type/Factor	Material contacted area	Volume of fluid in the system	Velocity of fluid in the system	Pressure lose in pipe
Type 1	✓	-	-	✗
Type2	-	✓	-	-
Type3	✗	-	✓	✓
Note that		Advantage (✓)	Disadvantage (✗)	Fine (-)

### 3.2.3 การออกแบบทางเข้าและทางออกของแผงระบายความร้อน

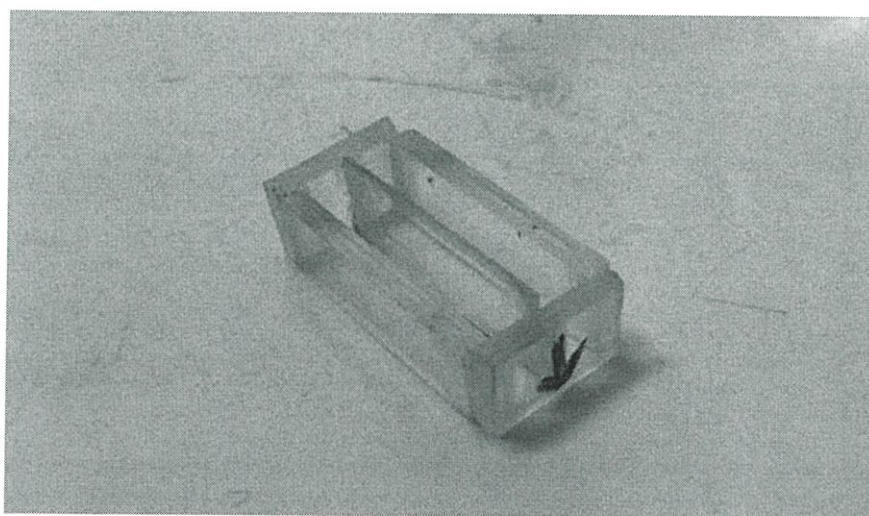
การออกแบบทางเข้าและทางออกของแผงระบายความร้อนนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมากในการศึกษา เช่น ช่วยในการควบคุมพื้นที่หน้าตัดของน้ำก่อนเข้าตัวชิ้นงานให้เท่ากันพอดีเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ และง่ายต่อการเปลี่ยนชิ้นงานโดยออกแบบให้มีส่วนหนึ่งติดกับแผงระบายความร้อนและอีกส่วนหนึ่งสามารถถอดเข้าออกได้ โดยใช้โปรแกรม Solidworks ในการออกแบบ

### 3.2.3.1 ทางเข้าและทางออกส่วนที่ติดกับแผงระบายความร้อน

ตัดแผ่นอะคริลิกหนา 2 มิลลิเมตรและ 1 มิลลิเมตร และประกอบเข้าหากันตามที่ได้ออกแบบไว้ดังรูปที่ 3.7 โดยใช้กาวเชื่อมอะคริลิกขัดและทำความสะอาดให้เรียบเป็นผิวเดียวกัน โดยตัวชิ้นงานที่ทำเสร็จแล้วแสดงในรูปที่ 3.8



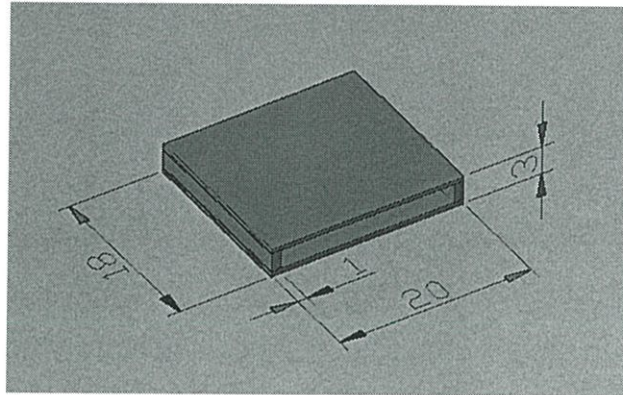
รูปที่ 3.7 ทางเข้าและทางออกของน้ำส่วนที่ติดกับแผงระบายความร้อนที่ได้ออกแบบไว้



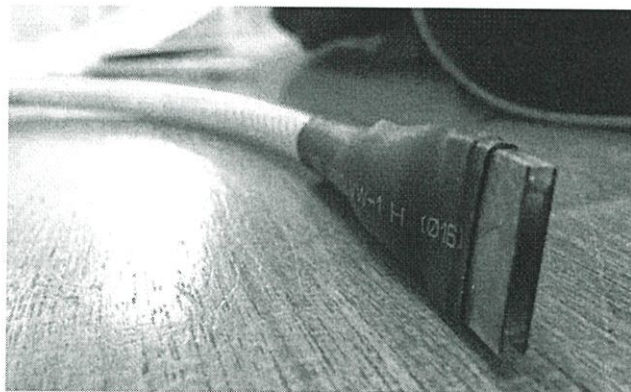
รูปที่ 3.8 ตัวชิ้นงานทางเข้าและทางออกของน้ำส่วนที่ติดกับแผงระบายความร้อน

### 3.2.3.2 ทางเข้าและทางออกส่วนที่ติดกับท่ออย่าง

ในส่วนที่สามารถถอดเข้าถอดออกได้นั้นผู้วิจัยได้ใช้เหล็กบาง 0.5 มิลลิเมตรมาประกอบกับแผ่นอะคริลิกหนา 2 มิลลิเมตร ตามที่ได้ออกแบบออกแบบไว้ดังรูปที่ 3.9 และเมื่อนำไปประกอบติดกับท่ออย่างจะได้ชิ้นงานดังรูปที่ 3.10



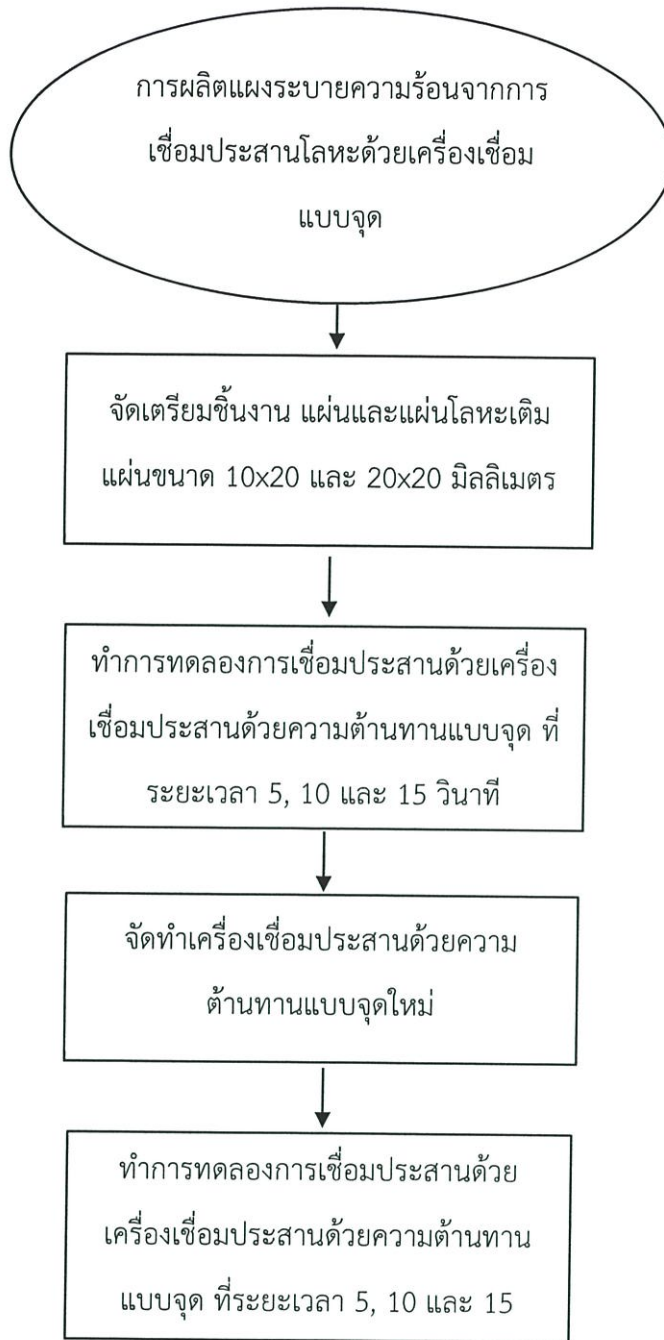
รูปที่ 3.9 ทางเข้าและทางออกของน้ำส่วนที่ติดกับท่ออย่างที่ได้ออกแบบไว้



รูปที่ 3.10 ชิ้นงานจริงของทางเข้าและทางออกของน้ำส่วนที่ติดกับท่ออย่าง

### 3.3 การออกแบบการทดลองการเชื่อมประสานโลหะด้วยเครื่องเชื่อมแบบจุด

วิธีการเชื่อมประสานด้วยเครื่องเชื่อมแบบจุด เป็นวิธีที่สามารถลดระยะเวลาการผลิตลงได้อย่างมาก ทางผู้จัดทำจึงได้มีการนำเอาวิธีนี้มาใช้ โดยมีขั้นตอน และกระบวนการในการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแผงระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กเชนเจอร์สามารถสรุปเป็นแผนผังการดำเนินงานดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การผลิตแผงระบายความร้อนจากการเชื่อมประสานโลหะด้วยเครื่องเชื่อมแบบจุด

### 3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้ แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

#### ส่วนที่ 1 อุปกรณ์ในการทำการทดลอง

1. แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 20x20 และ 10x20 มิลลิเมตร
2. แผ่นโลหะเติมขนาด 20x20 และ 10x20 มิลลิเมตร
3. เครื่องเชื่อมความต้านทานแบบจุด (Spot Welding Machine)

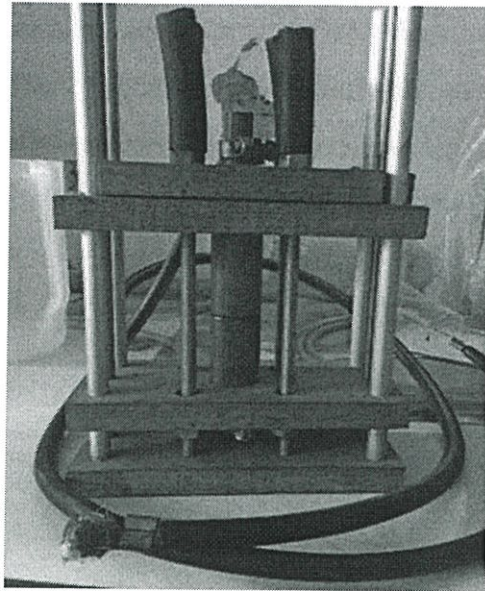
#### ส่วนที่ 2 อุปกรณ์ในการประดิษฐ์เครื่องเชื่อมความต้านทานแบบจุด

1. แผ่นไม้ขนาด
2. สายไฟ
3. แท่งทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 นิ้ว
4. ท่อยาง
5. เกลียวและน็อต

### 3.3.2 วิธีการทดลอง

การทดสอบความเป็นไปได้ในการเล่นประสานจากเครื่องเชื่อมความต้านทานแบบจุดในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ โดยจัดเตรียมชิ้นงานและโลหะเติมในกลุ่ม BA<sub>g</sub> ขนาด 10x20 มิลลิเมตรเพื่อใช้ในการทดสอบความเป็นไปได้ในการเล่นประสานเป็นพื้นที่กว้างๆ โดยวิธีการเชื่อมประสานความต้านทานแบบจุดโดยให้ระยะเวลาการเชื่อมเป็น 5, 10 และ 15 วินาทีตามลำดับ

หลังจากการทดลองพบว่าเครื่องเชื่อมแบบจุดที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการนั้นมือองศาการกดชิ้นงานแบบมุมเอียงจึงเป็นเหตุให้ผู้วิจัยเกิดข้อสงสัยว่าจุดที่เชื่อมติดกันนั้นเกิดจากการกระทบกันก่อนที่จะนำกันเต็มแผ่น ผู้วิจัยจึงได้จัดทำเครื่องประสานด้วยความต้านทานแบบจุดขึ้นมาใหม่เพื่อให้มีมุมองศาในการกดชิ้นงานแบบตรงๆ ดังรูปที่ 3.12 เพื่อพิสูจน์ทฤษฎีและข้อสงสัยต่างๆ ของการเล่นประสานแบบเดิม



รูปที่ 3.12 เครื่องเชื่อมประสานด้วยความต้านทานแบบจุด

### 3.4 การออกแบบการทดลองการเชื่อมประสานโลหะด้วยโพลีอีพอกไซด์ (อีพ็อกซี่)

การเชื่อมประสานโลหะด้วยโพลีอีพอกไซด์ถือเป็นทางเลือกในการเชื่อมประสานรูปแบบหนึ่งที่ทำให้ความแข็งแรงทนทานสูง และสามารถลดระยะเวลาในการผลิตลงได้ อีกทั้งสามารถปิดรอยรั่วซึมของชิ้นงานได้อีกด้วย ทางผู้วิจัยจึงได้นำการเชื่อมประสานแบบนี้มาทดสอบและใช้จริงในกระบวนการผลิต โดยมีขั้นตอน และกระบวนการในการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแผงระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกอีทเอ็กเซนเจอร์สามารถสรุปเป็นแผนผังการดำเนินงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.13

#### 3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบนี้ แบ่งเป็น 3 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตแผงระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกอีทเอ็กเซนเจอร์

1. แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมที่ตัดแล้วตามรูปแบบต่างๆ ที่กำหนดไว้ข้างต้น
2. โพลีอีพอกไซด์ (อีพ็อกซี่)
3. อุปกรณ์จับยึดและอุปกรณ์กำหนดตำแหน่ง

ส่วนที่ 2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตทางเข้าและทางออกของแผงระบายความร้อน

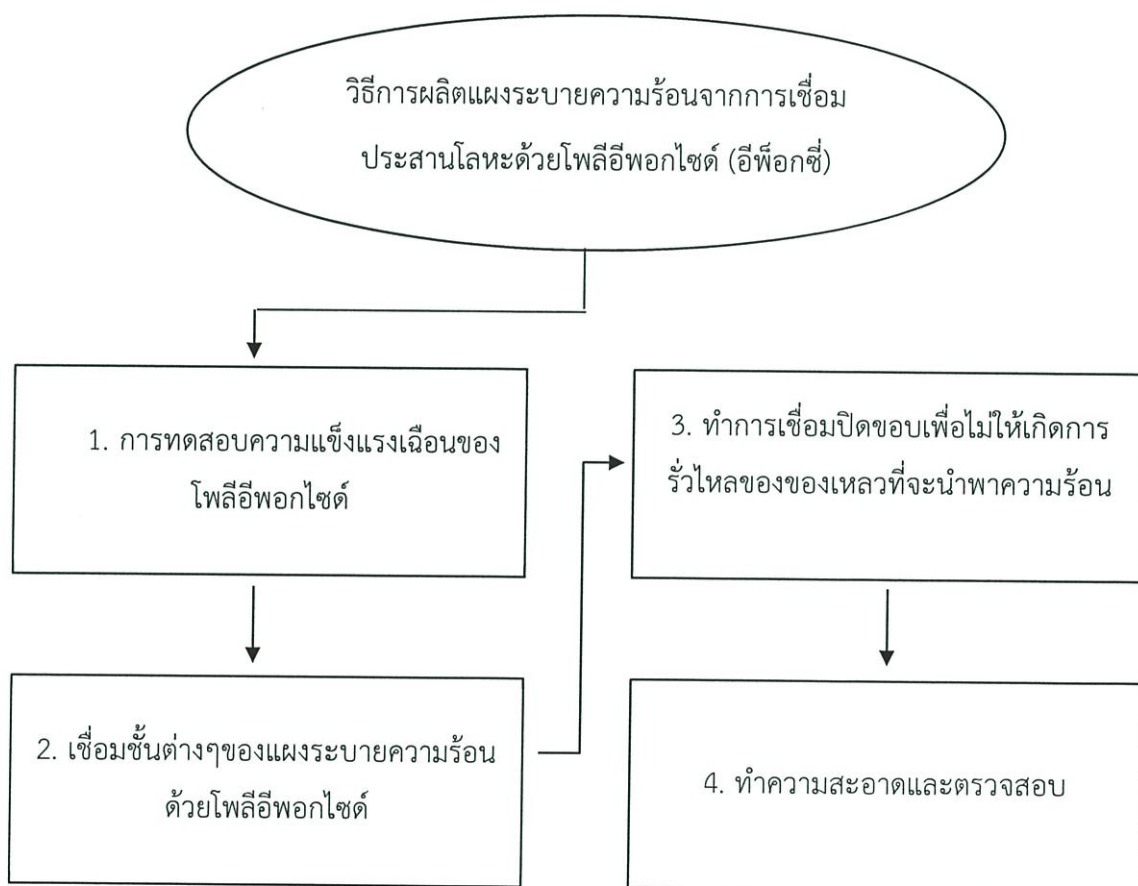
1. เหล็กกล้าไร้สนิม
2. แผ่นอะคริลิก
3. น้ำยาเชื่อมแผ่นอะคริลิก
4. โพลีอีพอกไซด์

ส่วนที่ 3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของแผงระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กเชนเจอร์

1. ชุดอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล
2. คอมพิวเตอร์แล็ปท็อป
3. วัสดุผสมนำความร้อน
4. เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine

3.4.2 วิธีการทดลอง

สำหรับวิธีการการทดลองการเชื่อมประสานโลหะด้วยโพลีอีพอกไซด์ (อีพ็อกซี่) แสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การทดลองการเชื่อมประสานโลหะด้วยโพลีอีพอกไซด์ (อีพ็อกซี่)

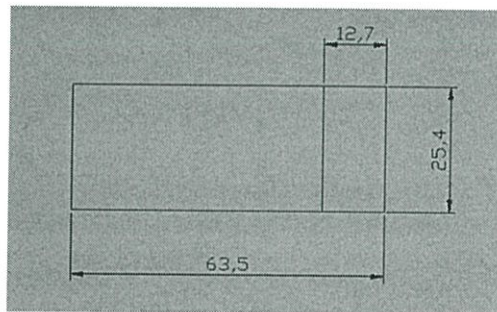
โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดและวิธีการปฏิบัติดังนี้

### 3.4.2.1 การทดสอบความแข็งแรงเฉือนของโพลีเอพอกไซด์

การทดสอบเป็นไปตามมาตรฐานของ ASTM D1002- Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading (Metal-to-Metal)

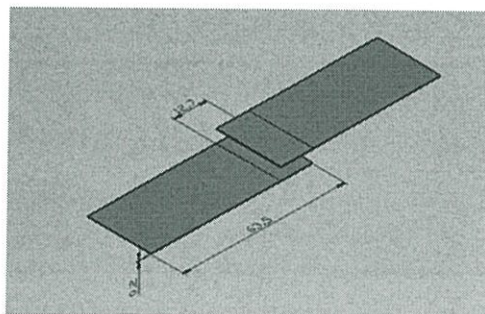
#### ขั้นตอนในการทดสอบ

1. เตรียมทดสอบชิ้นงานโดยตัดชิ้นงานจากเหล็กกล้าไร้สนิมให้มีขนาดเท่ากับ  $25.4 \times 63.5$  มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ขนาดชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบแรงเฉือน

2. เชื่อมชิ้นงานที่จะนำมาทดสอบด้วยโพลีเอพอกไซด์แบบ Single-Lap-Joint โดยให้ส่วนที่ทับซ้อนกันมีระยะ 12.7 มิลลิเมตร ตามรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ลักษณะชิ้นงาน Single-Lap-Joint และลักษณะการยึดติด

3. นำชิ้นงานไปทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine โดยกำหนดให้ความเร็วในการทดสอบเท่ากับ 1.3 มิลลิเมตรต่อวินาที

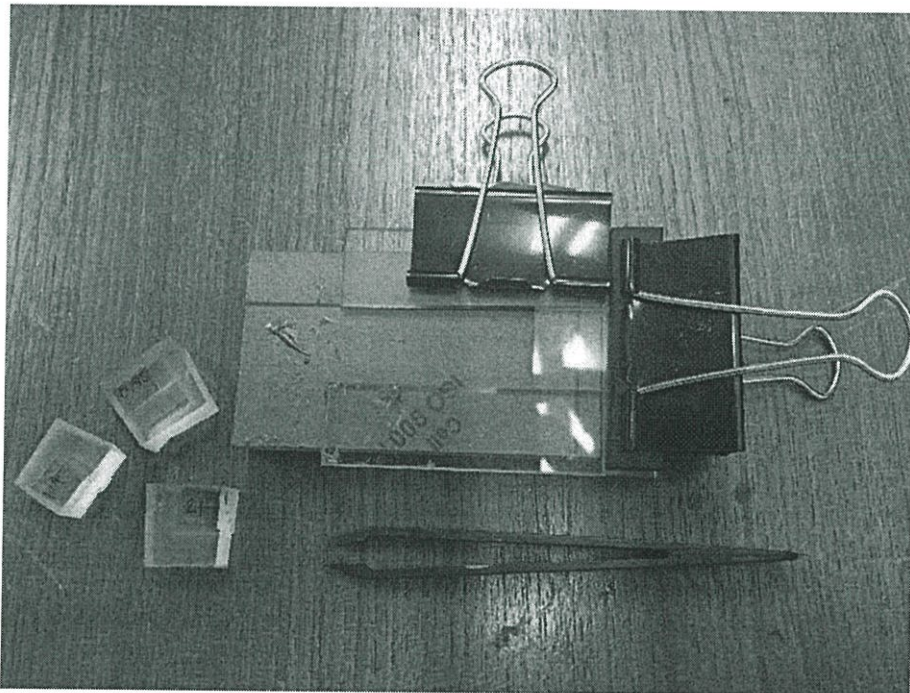
### 3.4.2.2 การเชื่อมชั้นต่างๆของแผงระบายความร้อนด้วยโพลีอีพอกไซด์

มีขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้

1. ยึดแผงระบายความร้อนชั้นที่ 2 และ 3 เข้าด้วยกัน โดยหยอดโพลีอีพอกไซด์ตามแนวขอบก่อน แล้วจึงตามด้วยการหยอดลงไปตามซี่ต่างๆ ของแผงระบายความร้อน

2. เมื่อนำทั้งสองแผ่นมาประกบกันแล้วให้กดแผ่นโลหะทั้งสองด้วยตัวกำหนดตำแหน่งตามรูปที่

3.16 เพื่อกำหนดระยะความหนาของอีพ็อกซี่แต่ละชั้นให้เท่ากันที่ความหนา 0.5 มิลลิเมตร ตามที่ได้ ออกแบบไว้



รูปที่ 3.16 อุปกรณ์จับยึดและอุปกรณ์กำหนดตำแหน่ง

3. กรณีที่มี 5 ชั้นให้ทำซ้ำข้อที่ 1 ใหม่กับแผ่นโลหะชั้นที่ 3 และ 4 เข้าด้วยกัน จากนั้นประกอบทั้ง 5 ชั้นเข้าด้วยกันโดยที่มีความหนาของอีพ็อกซี่เท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร ทุกๆการเชื่อม

4. กรณีที่มี 3 ชั้นให้ทำการยึดแผ่นที่ยึดติดไปแล้วตามข้อ 1 และ 2 กับแผ่นสุดท้ายโดยที่มีความหนาของอีพ็อกซี่เท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร

### 3.4.2.3 การเชื่อมปิดขอบเพื่อไม่ให้เกิดการรั่วไหลของของเหลว

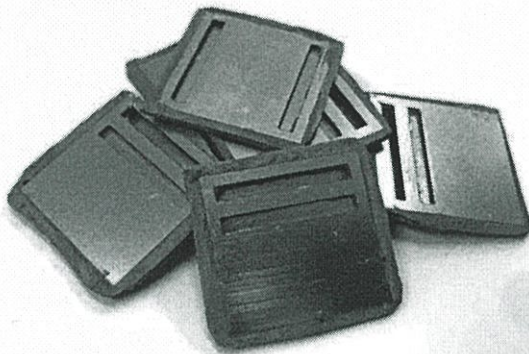
หลังจากเชื่อมชั้นต่างๆ ของแผงระบายความร้อนด้วยโพลีอีพอกไซด์แล้วนั้นควรจะทิ้งชิ้นงานไว้ประมาณ 120 นาที เพื่อให้โพลีอีพอกไซด์แข็งตัว แล้วจึงทำการเชื่อมปิดขอบเพื่อไม่ให้เกิดการรั่วไหลโดยมีขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้

1. นำเทปใสมาแปะในส่วนที่ไม่ต้องการให้โพลีอีพอกไซด์เข้าไปสัมผัส รวมถึงติดรอบแผงระบายความร้อนเพื่อทำหน้าที่เป็นแม่พิมพ์ในการเทโพลีอีพอกไซด์เข้าไปรอบๆขอบ

2. นำโพลีอีพอกไซด์หยอดรอบๆ กรอบของแผงระบายความร้อน

3. ทิ้งไว้ 120 นาที ให้โพลีอีพอกไซด์แข็งตัว

เมื่อทำการเชื่อมปิดขอบเสร็จจะได้ตัวชิ้นงานดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 แผงระบายความร้อนที่ถูกเชื่อมติดกันด้วยโพลีอีพอกไซด์

### 3.4.2.4 การทำความสะอาดและตรวจสอบ

ในขั้นตอนการตรวจสอบและทำความสะอาด ผู้วิจัยได้ทำการขัดทำความสะอาดแผงระบายความร้อนเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน รวมไปถึงทำการตรวจสอบรอยร้าวต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นจากการเชื่อมประสาน โดยมีขั้นตอนการทำความสะอาดดังนี้

1. นำชิ้นงานที่ทำการเชื่อมปิดขอบเสร็จแล้วมาขัดตามมุมและแนวเชื่อมด้วยโพลีอีพอกไซด์ด้วยกระดาษทรายเบอร์ 400, 800 และ 1000 ตามลำดับ โดยขัดให้ผิวด้านข้างเรียบเสมอกัน

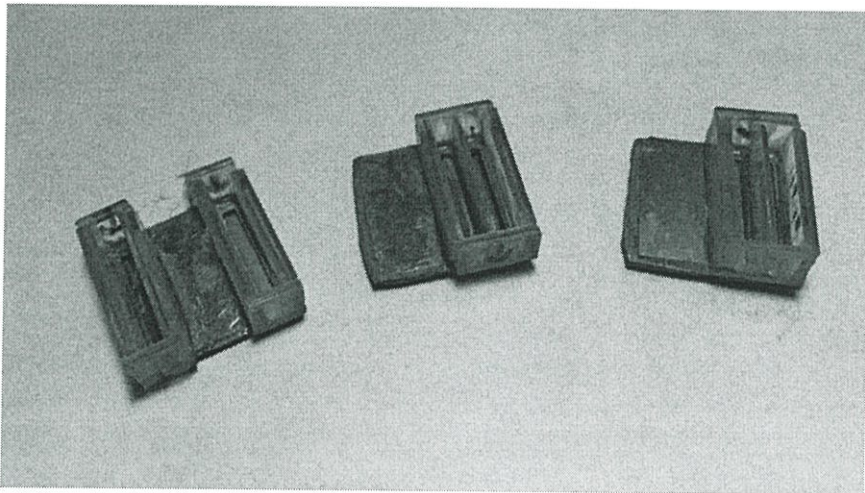
2. ทำการขัดผิวด้านบนของโพลีอีพอกไซด์ให้เรียบเสมอกัน

และการตรวจสอบรอยร้าวต่างๆมีขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้

1. นำชิ้นงานที่ได้มาประกอบกับชุดทางเข้าทางออกของแผงระบายความร้อน
2. นำแผงระบายความร้อนที่ประกอบกับชุดทางเข้าออกใส่ลงไปในน้ำ
3. เป่าลมเข้าทางท่อ แล้วสังเกตฟองอากาศที่ขึ้นมาจากแผงระบายความร้อน หากไม่มีแสดงว่าแผงระบายความร้อนนั้นยึดติดกันสนิทและไม่มีรอยร้าวซึม

### 3.5 การทดสอบประสิทธิภาพของแผงระบายความร้อน

การทดสอบประสิทธิภาพของแผงระบายความร้อนประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ การทดสอบการสูญเสียทางความดันและการทดสอบประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน โดยก่อนที่จะทดสอบประสิทธิภาพของแผงระบายความร้อนให้นำชุดทางเข้าทางออกของแผงระบายความร้อนมาติดเข้ากับชิ้นงาน โดยใช้โพลีอิพอกไซด์ ซึ่งวิธีการผลิตทางเข้าและทางออกของแผงระบายความร้อนมีรายละเอียดที่เขียนไปก่อนหน้านี้แล้ว เมื่อประกอบเสร็จผลที่ได้จะออกมาดังรูปที่ 3.18



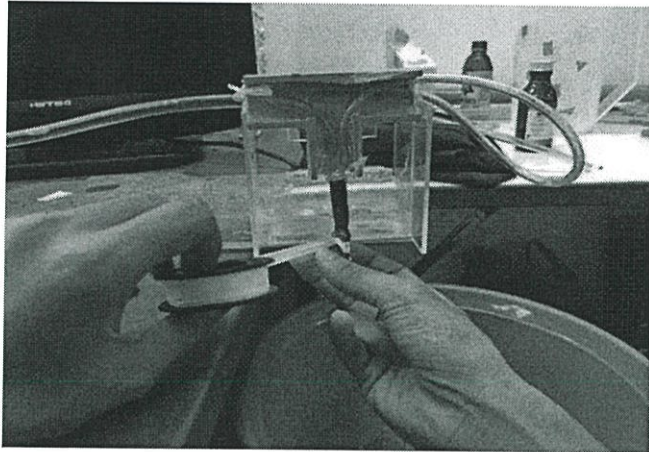
รูปที่ 3.18 แผงระบายความร้อนที่ประกอบทางเข้าและทางออกของน้ำแล้ว

จากนั้นนำชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการทดสอบ โดยจะแบ่งออกเป็น การทดสอบการสูญเสียทางความดันและการทดสอบประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน

### 3.5.1 การทดสอบการสูญเสียทางความดัน

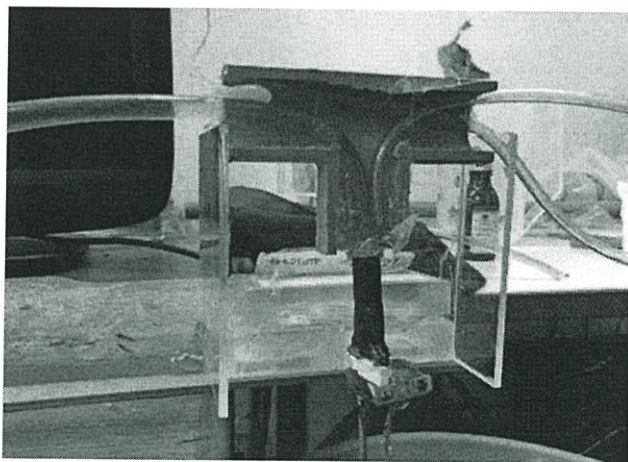
วิธีการทดสอบมีขั้นตอนดังนี้

1. นำชิ้นงานทดสอบต่อเข้ากับชุดควบคุมอัตราการไหลดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 นำชิ้นงานทดสอบต่อเข้ากับชุดควบคุมอัตราการไหล

2. ทดลองใช้น้ำไหลผ่านที่อัตราการไหล 80, 100 และ 120 ลิตรต่อชั่วโมง ดังรูปที่ 3.20
3. จับเวลาและวัดปริมาตรน้ำที่ไหลผ่านในช่วงเวลาดังกล่าว
4. นำค่าที่ได้ไปคำนวณค่าการสูญเสียทางความดันโดยสามารถหาได้จากค่าความแตกต่างของปริมาตรน้ำไหลออกที่ลดลง โดยอ้างอิงจากสมการของ แบร์นูลลี

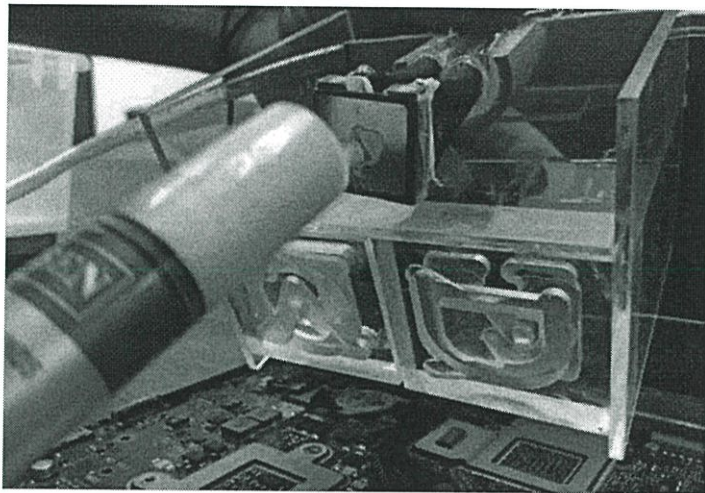


รูปที่ 3.20 การทดลองใช้น้ำไหลผ่านที่อัตราการไหล 80 ลิตรต่อชั่วโมง

### 3.5.2 การทดสอบประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน

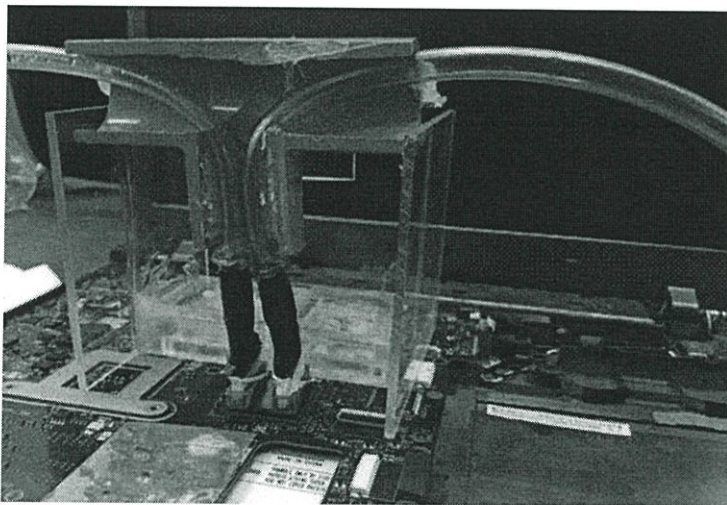
วิธีการทดสอบมีขั้นตอนดังนี้

1. นำชิ้นงานทดสอบต่อเข้ากับชุดควบคุมอัตราการไหล
2. ทาสารประกอบนำความร้อนกับชิ้นงานทดสอบที่ด้านล่างดังรูปที่ 3.21 และนำไปติดกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในแล็ปท็อป



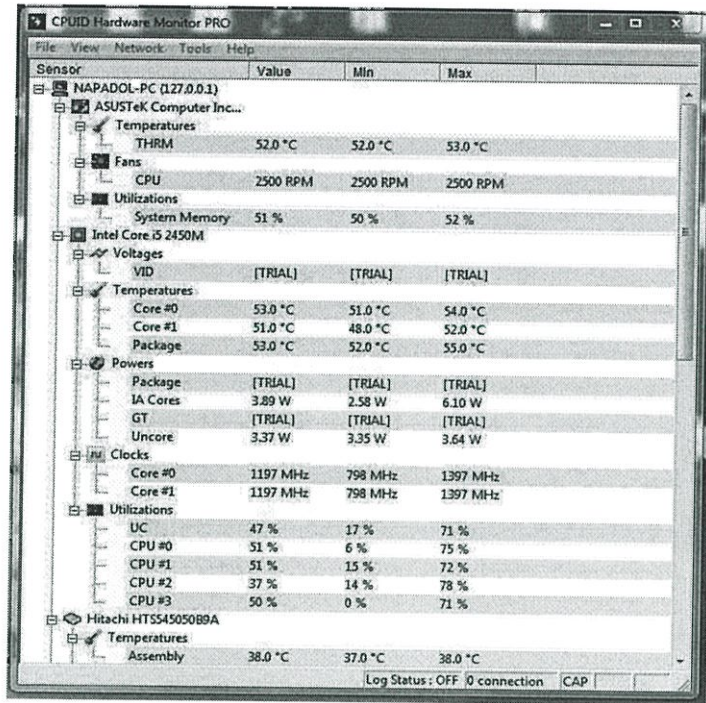
รูปที่ 3.21 ทาสารประกอบนำความร้อนกับชิ้นงานทดสอบก่อนที่จะนำไปติดกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

3. ทดลองใช้น้ำไหลผ่านที่อัตราการไหล 80, 100 และ 120 ลิตรต่อชั่วโมง ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 การทดลองใช้น้ำไหลผ่านที่อัตราการไหล 80 ลิตรต่อชั่วโมง

4. วัดค่าอุณหภูมิที่ลดลงของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (CPU) โดยใช้ซอฟต์แวร์ HWMonitor เป็นเครื่องมือในการวัดอุณหภูมิของ CPU ในขณะที่แล็ปท็อปกำลังทำงาน ณ อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 54 องศาเซลเซียส โดยหลักการการทำงานของซอฟต์แวร์ใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิที่มีอยู่ใน Mainboard ของแล็ปท็อปในตัวอย่างโปรแกรม HWMonitor แสดงในรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 โปรแกรม HWMonitor

### 3.6 การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับ

จากการทดลองดังกล่าวถ้าสมมุติให้ชิ้นงานเป็นตัวนำความร้อนที่สมบูรณ์แบบ และใช้อุณหภูมิเริ่มต้น 54 องศาเซลเซียส และให้อุณหภูมิน้ำที่ไหลเข้าเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส และให้ค่าสัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยของน้ำเท่ากับ  $2000 \text{ (W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C)}$  จะให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของแผงระบายความร้อนที่ออกแบบไว้

แบบที่	อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)
1	13575.06
2	6578.79
3	4337.20

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงาน

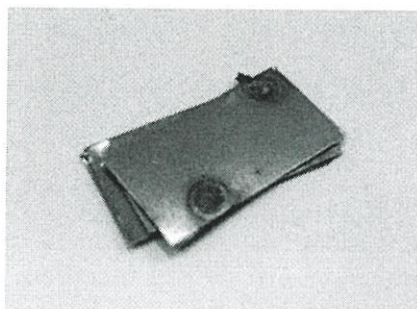
วัตถุประสงค์ของปฏิญญาพนธ์เล่มนี้ เพื่อการศึกษาพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยมุ่งหวังที่จะลดระยะเวลาในการผลิตแผงระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กเชนเจอร์ ด้วยวิธีการเชื่อมด้วยความต้านทานโดยใช้โลหะเติมในกลุ่มของ BAg และการเชื่อมประสานด้วยโพลีอีพอกไซด์ (อีพ็อกซี) เพื่อตอบสนองความต้องการทางอุตสาหกรรมที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง รวมไปถึงการศึกษาผลกระทบต่อคุณสมบัติต่างๆของแผงระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กเชนเจอร์

โดยจากการดำเนินงานตามแผนที่ได้ออกแบบไว้แล้วในบทที่ 3 นั้นได้บรรลุวัตถุประสงค์ตามที่ได้ตั้งไว้โดยสามารถอธิบายผลการดำเนินงานโดยละเอียดได้ดังนี้

- 4.1 ผลการดำเนินงานในส่วนการเชื่อมประสานด้วยการแล่นประสานแบบจุด
- 4.2 ผลการดำเนินงานในส่วนการเชื่อมประสานด้วยการใช้โพลีอีพอกไซด์
- 4.3 ประสิทธิภาพของแผงระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กเชนเจอร์
- 4.4 ประสิทธิภาพของแผงระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กเชนเจอร์เมื่อเทียบกับผลการคำนวณที่คาดการณ์ไว้

#### 4.1 ผลการดำเนินงานในส่วนการเชื่อมประสานด้วยวิธีการแล่นประสานแบบจุด

ผู้วิจัยได้ทำการเชื่อมประสานด้วยแท่งอิเล็กโทรดที่จัดทำขึ้นมาใหม่ด้วยกระแสไฟฟ้า 300 แอมแปร์ ผลปรากฏว่าสามารถเชื่อมติดกันเป็นจำนวน 3 และ 5 ชั้นได้โดยพื้นที่เชื่อมมีขนาดประมาณ 9 ตารางมิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ผลการแล่นประสานด้วยเครื่องเชื่อมความต้านทานแบบจุดที่กระแสไฟฟ้า 300 แอมแปร์

อย่างไรก็ตามผู้วิจัยต้องการที่จะให้มีพื้นที่ในการเชื่อมขนาด 400 ตารางมิลลิเมตร แต่เนื่องจากข้อจำกัดของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง เป็นเหตุทำให้โลหะพื้นและโลหะเติมไม่สามารถเชื่อมประสานกันได้ตามขนาดที่ต้องการ ด้วยเหตุนี้จึงมีการคำนวณเพื่อหาปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ต้องการที่จะทำให้เกิดความร้อนเพียงพอในการเชื่อมประสานให้ได้ขนาดดังกล่าว

การเกิดความร้อน (Heat Generation) ในรอยต่อการเชื่อมด้านทานแบบจุด เกิดจากการประยุกต์ใช้กฎของโอห์มเมื่อกระแสไหลผ่านตัวนำความต้านทานไฟฟ้าที่ยับยั้งการไหลผ่านของกระแสจะทำให้เกิดความร้อนตามสมการที่ 2.4 ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 โดยหลังจากการคำนวณจะพบว่าตัวแปรต่างๆส่งผลต่อค่ากระแสไฟฟ้าที่ต้องการแตกต่างกันออกไป โดยค่าของกระแสไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.1

$$I = \sqrt{\frac{Q}{Rt}} \quad (4.1)$$

#### 4.1.1 พิจารณาที่ตัวแปรเวลา

กำหนดให้ Base Metal มีความหนา 0.2 มิลลิเมตร และมีรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีความยาวเท่ากับ 20 มิลลิเมตร จำนวน 3 ชั้น และกำหนดให้ Filler Metal มีความหนา 0.2 มิลลิเมตร และมีรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีความยาวเท่ากับ 20 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชั้น รวมเป็น 5 ชั้น โดยที่คิดจากอุณหภูมิเริ่มต้น 20 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเหลวของ Filler Metal (~800 องศาเซลเซียส) จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ต้องการดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่ากระแสไฟฟ้าที่ต้องการ ณ เวลาต่างๆโดยคำนวณตามสมการที่ 4.1

Time (s)	I (A)
1	31728.51
2	22435.44
3	18318.46
4	15864.25
5	14189.42
6	12953.11
7	12992.25
8	11217.72
9	10576.17
10	10033.43

ตารางที่ 4.1 ค่ากระแสไฟฟ้าที่ต้องการ ณ เวลาต่างๆโดยคำนวณตามสมการที่ 4.1 (ต่อ)

Time (s)	I (A)
11	9566.50
12	9159.23
13	8799.90
14	8479.80
15	8192.26

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่ต้องการมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้เวลานานขึ้น แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้จะใช้เวลานานถึง 15 วินาที ก็ยังต้องใช้กระแสไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 8200 แอมแปร์ ยังมากกว่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องเชื่อมความต้านทานยี่ห้อ ซ.ช่างแมชชีน รุ่น SP-8 สามารถทำได้

#### 4.1.2 พิจารณาที่จำนวนชั้นของ Base Metal และ Filler Metal

จำนวนชั้นของ Base Metal และ Filler Metal ส่งผลต่อความต้านทาน (R) และค่าพลังงานความร้อน (Q) โดยกำหนดให้ Base Metal มีความหนา 0.2 มิลลิเมตร และมีรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีความยาวเท่ากับ 20 มิลลิเมตร และกำหนดให้ Filler Metal มีความหนา 0.2 มิลลิเมตร และมีรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีความยาวเท่ากับ 20 มิลลิเมตร โดยที่คิดจากอุณหภูมิเริ่มต้น 20 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเหลวของ Filler Metal (~800 องศาเซลเซียส) ที่เวลา 5, 10 และ 15 วินาที ได้ค่ากระแสไฟฟ้าดังตารางที่ 4.2 (a) 4.2 (b) และ 4.2 (c) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 (a) ค่ากระแสไฟฟ้าที่ต้องการ เมื่อจำนวนชั้นเปลี่ยนไป ณ เวลา 5 วินาที

Stainless Layer (s)	Filler Layer (s)	I (A)
2	1	13738.97
3	2	14189.36
4	3	14409.27

ตารางที่ 4.2 (b) ค่ากระแสไฟฟ้าที่ต้องการ เมื่อจำนวนชั้นเปลี่ยนไป ณ เวลา 10 วินาที

Stainless Layer (s)	Filler Layer (s)	I (A)
2	1	9714.91
3	2	10033.39
4	3	10188.89

ตารางที่ 4.2 (c) ค่ากระแสไฟฟ้าที่ต้องการ เมื่อจำนวนชั้นเปลี่ยนไป ณ เวลา 15 วินาที

Stainless Layer (s)	Filler Layer (s)	I (A)
2	1	7932.19
3	2	8192.23
4	3	8319.19

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่ต้องการมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มจำนวนชั้นของ Base Metal และ Filler Metal ดังนั้นจำนวนชั้นยิ่งน้อยก็จะใช้กระแสน้อยลง แต่อย่างไรก็ตาม ถึงแม้จะมีจำนวนชั้นที่น้อยและใช้เวลานานถึง 15 วินาที ก็ยังต้องใช้กระแสไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 7900 แอมแปร์ ยังมากกว่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องเชื่อมความต้านทานยี่ห้อ ช.ช่างแมชชีน รุ่น SP-8 สามารถทำได้

#### 4.1.3 พิจารณาตามพื้นที่หน้าตัด

พื้นที่หน้าตัดนั้นส่งผลต่อค่าความต้านทาน (R) และค่าพลังงานความร้อน (Q) โดยกำหนดให้ Base Metal มีความหนา 0.2 มิลลิเมตร และมีรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีความยาวเท่ากับ 20 มิลลิเมตร และกำหนดให้ Filler Metal มีความหนา 0.2 มิลลิเมตร และมีรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีความยาวเท่ากับ 20 มิลลิเมตร โดยที่คิดจากอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 20 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเหลวของ Filler Metal (~800 องศาเซลเซียส) ที่เวลา 5, 10 และ 15 วินาที โดยค่ากระแสไฟฟ้าแสดงในตารางที่ 4.3 ตารางที่ 4.4 และ ตารางที่ 4.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ค่ากระแสไฟฟ้าที่ต้องการ เมื่อพื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนไป ณ เวลา 5 วินาที

Area (Square Millimeters)	I (A)
400	14189.42
361	12805.95
324	11493.43
289	10251.86
256	9081.22
225	7981.54
196	6952.81
169	5995.03
144	5108.19
121	5292.29
100	3547.35
81	2873.35
64	2270.30
49	1738.20
36	1277.04
25	886.83
16	567.57
9	319.26
4	141.89
1	32.47

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้มีแนวโน้มลดลงเมื่อลดพื้นที่หน้าตัดที่ต้องการลง แต่จากปริมาณกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องเชื่อมความต้านทานยี่ห้อ ซ.ซังแมชชีน รุ่น SP-8 มีเพียง 300 แอมแปร์ จึงสามารถเชื่อมประสานได้พื้นที่สูงสุดประมาณ 9 ตารางมิลลิเมตร เมื่อใช้ระยะเวลา 10 วินาที

ตารางที่ 4.4 ค่ากระแสไฟฟ้าที่ต้องการ เมื่อพื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนไป ณ เวลา 10 วินาที

Area (Square Millimeters)	I (A)
400	10033.43
361	9055.17
324	8127.08
289	7249.15
256	6421.38
225	5643.80
196	4916.38
169	4239.12
144	3612.03
121	3035.11
100	2508.35
81	2031.77
64	1605.35
49	1229.09
36	903.00
25	627.08
16	401.33
9	225.75
4	100.33
1	25.08

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้มีแนวโน้มลดลงเมื่อลดพื้นที่หน้าตัดที่ต้องการลง แต่จากปริมาณกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องเชื่อมความต้านทานยี่ห้อ ช.ช่างแมชชีน รุ่น SP-8 มีเพียง 300 แอมแปร์ จึงสามารถเชื่อมประสานได้พื้นที่สูงสุดประมาณ 9 ตารางมิลลิเมตร เมื่อใช้ระยะเวลา 10 วินาที

ตารางที่ 4.5 ค่ากระแสไฟฟ้าที่ต้องการ เมื่อพื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนไป ณ เวลา 15 วินาที

Area (Square Millimeters)	I (A)
400	8192.26
361	7393.51
324	6635.73
289	5918.91
256	5243.05
225	4608.14
196	4014.21
169	3461.23
144	2949.21
121	2478.16
100	2048.06
81	1658.93
64	1310.76
49	1003.55
36	737.30
25	512.01
16	327.69
9	184.32
4	81.92
1	20.48

จากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้มีแนวโน้มลดลงเมื่อลดพื้นที่หน้าตัดที่ต้องการลง แต่จากปริมาณกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องเชื่อมความต้านทานยี่ห้อ ช.ช่างแมชชีน รุ่น SP-8 มีเพียง 300 แอมแปร์ จึงสามารถเชื่อมประสานได้พื้นที่สูงสุดประมาณ 16 ตารางมิลลิเมตร เมื่อใช้ระยะเวลา 15 วินาที

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าถึงแม้จะใช้เวลานานถึง 15 วินาที ก็ยังไม่สามารถเชื่อมประสานให้ได้พื้นที่ 400 ตารางมิลลิเมตร เพราะจากการคำนวณที่แสดงข้างต้นจำเป็นต้องใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าสูงถึงประมาณ 8200 แอมแปร์

#### 4.2 ผลการดำเนินงานในส่วนการเชื่อมประสานด้วยการใช้โพลีอีพอกไซด์

ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในการเชื่อมประสานด้วยการใช้โพลีอีพอกไซด์ โดยใช้เวลาการผลิตไปทั้งสิ้น 240 นาที และผลการทดลองการทดสอบแรงเฉือนแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าแรงเฉือนของโพลีอีพอกไซด์ที่ใช้ในการเชื่อมประสาน

Maximum Force (N)	Area (Square Millimeter )	Shear Strength (MPa)
1710.59	322.58	5.30
2608.41	322.58	8.09
1840.81	322.58	5.71
2529.29	322.58	7.84
2171.56	322.58	6.73
2552.89	322.58	7.90
1642.39	322.58	5.09
2078.23	322.58	6.44
2356.13	322.58	7.30
Minimum Shear Strength		5.09
Maximum Shear Strength		8.09

#### 4.3 ประสิทธิภาพของแผงระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กซ์เชนเจอร์

ประสิทธิภาพของชิ้นงานหาได้โดยการนำชิ้นงานที่ผลิตได้มาทำการทดสอบหาความดันที่สูญเสียไปและการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน โดยผลของการทดสอบหาความดันที่สูญเสียไปแสดงดังตารางที่ 4.7 และผลของการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนแสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบความดันที่สูญเสียไป

Flow rate	Type	Result (l/hr)	Delta Q	Pressure drop (Pa)	Head loss (mm)
80 liters/hour	1	13.26	66.74	148.66	15.15
	2	31.38	48.62	78.89	8.04
	3	35.79	44.21	65.23	6.65
100 liters/hour	1	17.49	82.51	227.21	23.16
	2	36.42	63.58	134.91	13.75
	3	43.35	56.65	107.10	10.92
120 liters/hour	1	26.52	93.48	291.64	29.73
	2	39.51	80.49	216.22	22.04
	3	51.03	68.97	158.76	16.18

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนทั้ง 3 แบบ

Flow rate	Type	Before Cooling (°C)	After Cooling (°C)	T1 - T2 (°C)
N/A	Air Fin	54	50	4
80 liters/hour	1	54	52	2
	2	54	51	3
	3	54	51	3
100 liters/hour	1	54	51	3
	2	54	52	2
	3	54	51	3
120 liters/hour	1	54	51	3
	2	54	51	3
	3	54	51	3

#### 4.4 ประสิทธิภาพของแผงระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กซ์เชนเจอร์เมื่อเทียบกับผลการคำนวณที่คาดการณ์ไว้

เปรียบเทียบค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนค่าที่คำนวณกับค่าที่วัดได้สามารถสรุปค่าได้ว่าแบบที่ 1 ได้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนลดลงจากที่คำนวณ คิดเป็นประสิทธิภาพได้ 8.14 % แบบที่ 2 ได้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนลดลงจากที่คำนวณ คิดเป็นประสิทธิภาพได้ 16.80 % แบบที่ 3 ได้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนลดลงจากที่คำนวณ คิดเป็นประสิทธิภาพได้ 35.77 % โดยแสดงดังตารางที่ 4.9 สาเหตุเนื่องมาจากโพสิทีฟออกไซด์ที่ใช้เป็นฉนวนความร้อน

ตารางที่ 4.9 ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของแผงระบายความร้อนที่ได้จากการทดลอง

แบบที่	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่คำนวณไว้ (W)	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่วัดได้ (W)	ค่าประสิทธิภาพ (%)
1	13575.06	1105.36	8.14
2	6578.79	1105.36	16.80
3	3476.32	1243.53	35.77

## บทที่ 5

### บทสรุป

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาเรื่องการปรับปรุงกระบวนการผลิตของแผงระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กซ์เชนเจอร์ จัดทำขึ้นเพื่อออกแบบกระบวนการผลิตใหม่ และคำนวณหาประสิทธิภาพของแผงระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กซ์เชนเจอร์ที่ผลิตขึ้นโดยวิธีการผลิตแบบใหม่ โดยวัดค่าจากการทดสอบหาความดันที่สูญเสียไปและการคำนวณหาประสิทธิภาพในการระบายความร้อน

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการลดเวลาในการผลิตของแผงระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กซ์เชนเจอร์ ผู้วิจัยสามารถลดระยะเวลาการผลิตจากที่เคยใช้ระยะเวลาในการผลิตประมาณ 720 นาที ลดลงเหลือประมาณ 240 นาทีด้วยวิธีการเชื่อมประสานด้วยโพลีอีพอกไซด์ โดยที่แผงระบายความร้อนนี้สามารถใช้งานได้เหมือนกับแผงระบายความร้อนชนิดต่างๆ และผลการทดสอบประสิทธิภาพของแผงระบายความร้อนสามารถแยกออกเป็น 5 ส่วนหลักๆ คือ

1. ผลการดำเนินงานในส่วนของการเชื่อมประสานด้วยการแล่นประสานแบบจุด
2. ผลการดำเนินงานในส่วนการเชื่อมประสานด้วยการใช้โพลีอีพอกไซด์
3. ประสิทธิภาพของเครื่องระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กซ์เชนเจอร์
4. ข้อจำกัด และแนวทางการพัฒนาในอนาคต
5. ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการนี้

#### 5.1 ผลการดำเนินงานในส่วนการเชื่อมประสานด้วยวิธีการแล่นประสานแบบจุด

ในส่วนของการทดลองการเชื่อมประสานการด้วยวิธีแล่นประสานแบบจุด ผู้วิจัยไม่สามารถทำการเชื่อมติดกันได้ เนื่องจากข้อจำกัดของกระแสไฟฟ้าของผู้เชื่อม ยี่ห้อ ซ.ช่างแมชชีน รุ่น SP-8 ซึ่งมีกระแสไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 300 แอมแปร์ โดยทดลองเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อพิสูจน์ความเป็นไปได้ในการศึกษาต่อโดยอ้างอิงสมการจากกฎของโอห์มดังที่กล่าวไปแล้วในบทที่ 2 สามารถสรุปออกมาได้ดังตารางที่ 5.1

ตาราง 5.1 ผลการทดสอบการเชื่อมประสานด้วยวิธีการเล่นประสานแบบจุด

Time (s)	Stainless Layer (s)	Filler Layer (s)	Area (Square Millimeters)	I (A)
5	3	2	400	14189.36
	2	1	400	13738.97
10	3	2	400	10033.39
	2	1	400	9714.916
15	3	2	400	8192.232
	2	1	400	9732.195

จากตารางสามารถสรุปผลการทดลองตามตัวแปรต่างๆได้ดังนี้

#### 5.1.1 เมื่อพิจารณาที่ตัวแปรเวลา

เมื่อพิจารณาที่ตัวแปรเวลา การที่จะทำให้บริเวณที่ต้องการเชื่อมประสานมีอุณหภูมิประมาณ 800 องศาเซลเซียสเพื่อที่จะหลอมละลายโลหะเติมขนาด 20x20 มิลลิเมตร ได้นั้น สามารถสรุปได้ว่าเมื่อช่วงเวลาในการเชื่อมประสานแบบจุดมีค่ามากขึ้นจะทำให้ใช้กระแสไฟน้อยลง อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติการเชื่อมประสานแบบจุดจะไม่ใช้เวลาเกิน 15 วินาที เนื่องจากจะทำให้ตู้เชื่อมและชิ้นงานเกิดความเสียหายได้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าผู้วิจัยไม่สามารถทำให้แท่งอิเล็กโทรดมีความร้อนถึง 800 องศาเซลเซียสได้

#### 5.1.2 พิจารณาที่จำนวนชั้นของ Base Metal และ Filler Metal

เมื่อพิจารณาที่จำนวนชั้นของ Base Metal และ Filler Metal นั้นถ้ามีจำนวนชั้นเยอะจะส่งผลต่อความต้านทาน (R) และค่าพลังงานความร้อน (Q) ที่ต้องใช้ในการหลอมละลาย โดยกำหนดให้ Base Metal และ Filler Metal มีความหนา 0.2 มิลลิเมตร และมีรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีความยาวเท่ากับ 20 มิลลิเมตร จากผลการทดสอบทำให้สรุปได้ว่าจะต้องใช้กระแสไฟฟ้ามากขึ้นเมื่อจำนวนชั้นของ Base Metal และ Filler Metal มากขึ้น

### 5.1.3 พิจารณาที่พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน

เมื่อพิจารณาในส่วนของพื้นที่หน้าตัดที่ขนาดต่างกัน จะส่งผลต่อความต้านทาน (R) และค่าพลังงานความร้อน (Q) เช่นเดียวกับจำนวนชั้นของแผงระบายความร้อน โดยผู้วิจัยได้พยายามหาพื้นที่หน้าตัดสูงสุดที่จะเป็นไปได้ โดยใช้กระแสไฟฟ้าภายใต้ข้อจำกัดที่มี โดยสามารถสรุปได้ว่าเป็นค่าที่สามารถเชื่อมประสานได้พื้นที่หน้าตัดสูงสุด 16 ตารางมิลลิเมตร ที่ปริมาณกระแสไฟฟ้าสูงสุด 300 แอมแปร์

### 5.2 ผลการดำเนินงานในส่วนการเชื่อมประสานด้วยการใช้โพลีอีพอกไซด์

การเชื่อมประสานด้วยโพลีอีพอกไซด์ ใช้เวลาในการผลิตไปทั้งสิ้น 240 นาที ซึ่งเร็วกว่าวิธีการผลิตแบบเก่าที่ใช้เวลา 780 นาทีหรือ 12 ชั่วโมง จากผลการทดลองของการทดสอบแรงเฉือนแสดงให้เห็นว่าโพลีอีพอกไซด์สามารถทนต่อแรงเฉือน และรับแรงดันจากการไหลของของเหลวที่ใช้ในการระบายความร้อนได้ การเชื่อมประสานด้วยวิธีนี้ถือเป็นวิธีที่มีต้นทุนที่ต่ำ เนื่องจากสามารถลดการใช้พลังงาน และเวลาในกระบวนการผลิตลงได้ ในขณะที่ชิ้นงานยังมีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับการใช้งานอีกด้วย

### 5.3 ประสิทธิภาพของเครื่องระบายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กเชนเจอร์

#### 5.3.1 สรุปผลการทดลอง

ผู้วิจัยได้แบ่งเกณฑ์การทดสอบออกเป็น 2 เกณฑ์คือความดันที่สูญเสียและประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน จากผลการทดสอบสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. จากการทดสอบหาความดันที่สูญเสียไปสามารถสรุปได้ว่าเครื่องระบายความร้อนแบบที่ 1 ซึ่งมีชั้นของแผงระบายความร้อน 3 ชั้นจะมีการสูญเสียความดันไปน้อยที่สุด
2. จากการทดสอบสามารถสรุปได้ว่า อัตราการไหล ไม่ส่งผลต่อการระบายความร้อน
3. แผงระบายความร้อนทั้ง 3 แบบ มีความสามารถในการระบายความร้อนเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 3 องศาเซลเซียส

#### 5.3.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

1. การสูญเสียความดันของการไหลภายในชิ้นงานเกี่ยวข้องกับลวดลายของแผงระบายความร้อน เนื่องจากเมื่อมีความซับซ้อนของลวดลายที่มากจะส่งผลให้ค่าความดันที่สูญเสียมีแนวโน้มมากขึ้น
2. เนื่องจากโพลีอีพอกไซด์ที่ใช้ในการวิจัยนี้มีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน จึงทำให้การพาความร้อนเกิดที่ชั้นล่างสุดเท่านั้น ทำให้แผงระบายความร้อนทั้งสามแบบมีค่าเท่าๆกัน
3. การระบายความร้อนของแผงระบายความร้อนแบบครีป สามารถระบายความร้อนได้ดีกว่าเนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำแผงระบายความร้อนแบบครีปทำมาจากอลูมิเนียม ซึ่งมีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนดีกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม จึงทำให้สามารถระบายความร้อนได้ดีกว่า

## 5.4 ข้อจำกัดและแนวทางการพัฒนาในอนาคต

### 5.4.1 ข้อจำกัด

สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อจำกัดในการทำการทดลอง

1. งบประมาณที่ไม่เพียงพอในการจัดซื้ออุปกรณ์ที่เหมาะสมกับการทดลอง ทำให้ต้องเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ในการเชื่อมประสานจากโพลีเอพอกไซด์ที่มีคุณสมบัตินำความร้อนได้เป็นโพลีเอพอกไซด์แบบปกติแทน
2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมอัตราการไหลของของเหลว และวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการทดลองสามารถหาได้ยากและมีราคาสูง
3. เครื่องเชื่อมประสานที่มีอยู่ที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีกำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อการเชื่อมโลหะด้วยวิธีการแล่นประสานของชิ้นงาน จึงเป็นเหตุให้ต้องเปลี่ยนการเชื่อมด้วยวิธีการแล่นประสานแบบจุด เป็นการเชื่อมด้วยประสานจากโพลีเอพอกไซด์

### 5.4.2 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

ใช้โลหะอื่นๆ ที่มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ดีกว่ามาแทนเหล็กกล้าไร้สนิม อาทิเช่น ทองแดง อลูมิเนียม และใช้ของเหลวอื่นๆ ที่สามารถพาความร้อนได้ดีกว่าน้ำ ในส่วนของการกัดกร่อนควรเลือกใช้ของเหลวที่ไม่ทำให้เกิดการกัดกร่อนบนโลหะมาใช้แทน เช่น น้ำยาหล่อเย็น สำหรับวิธีการเชื่อมประสานด้วยโพลีเอพอกไซด์ควรใช้โพลีเอพอกไซด์ที่มีส่วนผสมของโลหะและสามารถนำความร้อนได้มาใช้งานแทน

## 5.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการนี้

1. มีความรู้ความเข้าใจเรื่องแผ่กระจายความร้อนแบบไมโครฟลูอิดิกฮีทเอ็กเชนเจอร์ รวมไปถึงประวัติความเป็นมาและแนวโน้มในการใช้แผ่กระจายความร้อนชนิดนี้ในอนาคต
2. ได้รับความรู้ทางด้านคุณสมบัติของโลหะแต่ละชนิด รวมถึงการเลือกใช้โลหะให้เหมาะสมกับชิ้นงาน
3. ได้รับความรู้จากการนำกระบวนการในโครงการไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ ทั้งในด้านการศึกษาและเชิงพาณิชย์ เช่น อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ หรืออุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์

## เอกสารอ้างอิง

- [1] May, Clayton A. (1987-12-23) Epoxy Resins: Chemistry and Technology (Second ed.) New York: Marcel Dekker Inc. p. 794. ISBN 0824776909.
- [2] Munson, Bruce Roy, Donald F. Young, Theodore H. Okiishi. Fundamentals of Fluid Mechanics. p. cm. Iowa, USA SBN 0-471-5798-0
- [3] Robert F. Allen, Nicole C. Baldini, Elizabeth L. Gutman, Eleanor Keefe, Koanne G. Kramer, Christine Leinweder, Vernice A. Mayer (1998), 1998 Annual Book of ASTM Standards "Volume 15.06 Adhesives" P.45-48 Easton, MD, U.S.A.
- [4] Vedat S. Arpaci, Poul S. Larsen (1984) Convection Heat Transfer. Michigan, USA.
- [5] Weman, Klas (2003). Welding Processes Handbook. New York, NY: CRC Press LLC. ISBN 0-8493-1773-8
- [6] Wen-Ren Yang and Chau-Shing Wang 2009 Current Measurement of Resistance Spot Welding Using DSP Department of Electrical Engineering, National Changhua University of Education, Changhua, Taiwan 500, R.O.C [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:  
<http://www2.tku.edu.tw/~tkjse/14-1/05-ME9808.pdf>
- [7] Stephen D. O'Connor, Eugene Dantsker 2002 Microfluidic Devices for Heat Transfer [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://www.google.com/patents/US6501654>
- [8] Kenneth E. Goodson Microfluidic Cooling and Heat Sinks Department of Mechanical Engineering Stanford University, CA, USA [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก  
<https://nanoheat.stanford.edu/projects/microfluidic-cooling-and-heat-sinks>
- [9] Girish P. Kelkar November 9, 2004 Practical Welding Today® November/December 2004
- [10] Rose Hoban April 2, 2012 Northcarolinahealthnews Consumer News [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.northcarolinahealthnews.org/2012/04/02/local-scientists-in-the-middle-of-the-bpa-debate/>
- [11] อ.บุษกร วราเอกศิริ Kru Aor Chemistry Tutor ถ.อินทวโรรส ต.พระสิงห์ อ.เมืองเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200 [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก [http://www.kru-aor.com/Chem\\_Tips/epoxy.html](http://www.kru-aor.com/Chem_Tips/epoxy.html)

[12] ผศ.ดร.ลดาวัลย์ พวงจิตร วนวัฒน์และวณวัฒน์วิทยา [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก

<http://www.rmutphysics.com/charud/general/1/silviculture/lesson4.1.htm>

[13] Rick Sellens, PH.D, P.Eng Losses in Pipes, Faculty of Engineering and Applied Science  
Mechanical and Materials Engineering, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada

[ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://me.queensu.ca/People/Sellens/LossesinPipes.html>