สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบาญตาราง	ฌ
สารบาญภาพประกอบ	ญ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ฒ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	3
1.2.1 เทอร์โมไซฟอนพลาสติก	3
1.2.2 ความบริสุทธิ์ของสารทำงาน	5
1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย	6
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษาวิจัย	6
1.5 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย	6
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 หลักการและทฤษฎีของเทอร์โมไซฟอน	8
2.2 การตรวจสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุท่อ	9
2.3 การวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของสารทำความเย็น	18
บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดสอบ	
3.1 อุปกรณ์การทดสอบ	23
3.2 อุปกรณ์ประกอบและเครื่องมือวัด	25
3.3 ขั้นตอนการทดสอบ	30
3.4 วิธีวิเคราะห์ผล	32

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิจารณ์ผลการทดสอบ	
4.1 ลักษณะการเกิดการคืบของเทอร์โมไซฟอน	33
4.2 ผลการทดสอบสารทำเย็น	66
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการศึกษาวิจัย	74
5.2 ข้อเสนอแนะ	73
บรรณานุกรม	78
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ตารางคุณสมบัติของท่อเอชดีพีอี และ สารทำเย็น R113 และ R123 และมาตรฐาน ASTM D2240-91	82
ภาคผนวก ข ตารางผลการทดลอง	95
ภาคผนวก ค กราฟแสดงความสัมพันธ์กับเวลา ของค่าโมดูลัส และค่าความหนืด	101
ประวัติผู้เขียน	110

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

สารบาญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 เทคนิคการวิเคราะห์ที่อาศัยอุปกรณ์สำหรับสารประกอบอินทรีย์	18
2.2 คุณลักษณะเฉพาะของเทคนิคการวิเคราะห์	19

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

สารบาญภาพประกอบ

รูปที่ หน้า

2.1 ลักษณะส่วนประกอบของเทอร์โมไซฟอน 8
2.2 แสดงการคืบของเทอร์โมพลาสติก 3 ชนิดที่ 3000 psi และ 23 °C 10
2.3 การเกิดการคืบในเนื้อวัสดุ 11
2.4 แบบจำลองการเกิดการคืบภายในท่อ 11
2.5 ลักษณะ Creep Curve ของพลาสติกทั่วไป 12
2.6 แบบจำลองโวค-เคลวิน 13
2.7 แบบจำลองซีนาร์ 15
2.8 แผนภาพแสดงอุปกรณ์แก๊สโครมาโทรกราฟี 20
2.9 แสดงลักษณะของโครมาโทรแกรม (Chromatogram) ของสารทำเย็น R113 มาตรฐาน 20
2.10 แสดงลักษณะของแมสสเปกตรัม (Mass spectrum) ของสารทำเย็น R113 มาตรฐาน 21
3.1 รูปทอร์โมไซฟอนชนิดเอชดีพีอี ที่ใช้ในการทดลอง 24
3.2 สารทำเย็น R113 และ R123 24
3.3 ขวดใส่สารทำเย็นที่ใช้ทดสอบ ความบริสุทธิ์ของสารทำงาน 24
3.4 ขนาดและมิติของถังทดสอบส่วนทำระเหย 25
3.5 ขนาดและมิติของถังทดสอบส่วนควบแน่น 26
3.6 แสดงส่วนประกอบต่างๆของชุดถังทดสอบ 26
3.7 ชุดถังทดสอบ 27
3.8 มีดกลึง และรอยที่ใช้ในการวัด 27
3.9 ไมโครมิเตอร์ (Micrometer) 28
3.10 ไมโครมิเตอร์วัดความลึก (Depth Micrometer) 28
3.11 อุปกรณ์วัดการคืบด้านความยาว 29
3.12 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโทรเมตรี 30
4.1 การคืบของท่อทดสอบด้านความยาว ที่ใช้สารทำเย็น R113 ค่าฟลักซ์ความร้อนสูง ที่อุณหภูมิต่างๆ 34
4.2 การคืบของท่อทดสอบด้านความยาว ที่ใช้สารทำเย็น R113 ค่าฟลักซ์ความร้อนต่ำ ที่อุณหภูมิต่างๆ 35

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

สารบาญภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.3 การคืบของท่อทดสอบด้านความยาว ที่ใช้สารทำเย็น R123 ค่าฟลักซ์ความร้อนสูง ที่อุณหภูมิต่างๆ 35
4.4 การคืบของท่อทดสอบด้านความยาว ที่ใช้สารทำเย็น R123 ค่าฟลักซ์ความร้อนต่ำ ที่อุณหภูมิต่างๆ 36
4.5 การคืบของท่อทดสอบในแนวรัศมีที่ ใช้สารทำเย็น R113 ค่าฟลักซ์ความร้อนสูง ที่อุณหภูมิต่างๆ 36
4.6 การคืบของท่อทดสอบในแนวรัศมีที่ ใช้สารทำเย็น R113 ค่าฟลักซ์ความร้อนต่ำ ที่อุณหภูมิต่างๆ 37
4.7 การคืบของท่อทดสอบในแนวรัศมีที่ ใช้สารทำเย็น R123 ค่าฟลักซ์ความร้อนสูง ที่อุณหภูมิต่างๆ 37
4.8 การคืบของท่อทดสอบในแนวรัศมีที่ ใช้สารทำเย็น R123 ค่าฟลักซ์ความร้อนต่ำ ที่อุณหภูมิต่างๆ 38
4.9 การคืบของท่อทดสอบในแนวรัศมีค่าฟลักซ์ความร้อนสูง เปรียบเทียบระหว่าง สารทำเย็น R113 และR123ที่อุณหภูมิต่างๆ 39
4.10 การคืบของท่อทดสอบในแนวรัศมีค่าฟลักซ์ความร้อนต่ำ เปรียบเทียบระหว่าง สารทำเย็น R113 และR123ที่อุณหภูมิต่างๆ 40
4.11 การคืบของท่อทดสอบในแนวความยาวค่าฟลักซ์ความร้อนสูง เปรียบเทียบระหว่าง สารทำเย็น R113 และR123ที่อุณหภูมิต่างๆ 40
4.12 การคืบของท่อทดสอบในแนวความยาวค่าฟลักซ์ความร้อนต่ำ เปรียบเทียบระหว่าง สารทำเย็น R113 และR123ที่อุณหภูมิต่างๆ 41
4.13 แสดงค่าความแข็งที่ผิวนอกของท่อทดสอบ 42
4.14 แสดงค่าความแข็งที่ผิวในของท่อทดสอบ 42
4.15 การคืบของท่อทดสอบในแนวรัศมีของสารทำเย็น R113 เปรียบเทียบระหว่าง ค่าฟลักซ์ความร้อนสูง และค่าฟลักซ์ความร้อนต่ำ ที่อุณหภูมิต่างๆ 43
4.16 การคืบของท่อทดสอบในแนวรัศมีของสารทำเย็น R123 เปรียบเทียบระหว่าง ค่าฟลักซ์ความร้อนสูง และค่าฟลักซ์ความร้อนต่ำ ที่อุณหภูมิต่างๆ 44

สารบาญภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.17 การคืบของท่อทดสอบในแนวความยาวของสารทำเย็น R113 เปรียบเทียบระหว่าง ค่าฟลักซ์ความร้อนสูง และค่าฟลักซ์ความร้อนต่ำ ที่อุณหภูมิต่างๆ 44
4.18 การคืบของท่อทดสอบในแนวความยาวของสารทำเย็น R123 เปรียบเทียบระหว่าง ค่าฟลักซ์ความร้อนสูง และค่าฟลักซ์ความร้อนต่ำ ที่อุณหภูมิต่างๆ 45
4.19 การคืบของท่อทดสอบที่ค่าฟลักซ์ความร้อนสูงของของสารทำเย็น R113 เปรียบเทียบระหว่าง ในแนวความยาว และแนวรัศมีที่อุณหภูมิต่างๆ 47
4.20 การคืบของท่อทดสอบที่ค่าฟลักซ์ความร้อนต่ำของของสารทำเย็น R113 เปรียบเทียบระหว่าง ในแนวความยาว และแนวรัศมีที่อุณหภูมิต่างๆ 47
4.21 การคืบของท่อทดสอบที่ค่าฟลักซ์ความร้อนสูงของของสารทำเย็น R123 เปรียบเทียบระหว่าง ในแนวความยาว และแนวรัศมีที่อุณหภูมิต่างๆ 48
4.22 การคืบของท่อทดสอบที่ค่าฟลักซ์ความร้อนต่ำของของสารทำเย็น R123 เปรียบเทียบระหว่าง ในแนวความยาว และแนวรัศมีที่อุณหภูมิต่างๆ 48
4.23 แสดงผลจากการใช้แบบจำลองของ โวค-เคลวิน ทำนายการคืบของท่อทดสอบ ที่ใช้สารทำงาน R113 ด้านรัศมี อุณหภูมิ 40 °C ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นสูง 49
4.24 แสดงผลจากการใช้แบบจำลองของ โวค-เคลวิน ทำนายการคืบของท่อทดสอบ ที่ใช้สารทำงาน R123 ด้านรัศมี อุณหภูมิ 40 °C ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นสูง 50
4.25 แสดงผลจากการใช้แบบจำลองของ ซีนาร์ และ โวค-เคลวินทำนายการคืบด้านรัศมี ของท่อทดสอบที่ใช้สารทำงาน R113 อุณหภูมิ 40 °C ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นสูง 51
4.26 แสดงผลจากการใช้แบบจำลองของ ซีนาร์ และ โวค-เคลวินทำนายการคืบด้านรัศมี ของท่อทดสอบที่ใช้สารทำงาน R123 อุณหภูมิ 40 °C ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นสูง 51
4.27 แสดงความสัมพันธ์กับเวลาของค่าโมดูลัสด้านรัศมี ของท่อทดสอบ ที่ใช้สารทำงาน R113 อุณหภูมิ 60 °C ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นสูง 52
4.28 แสดงความสัมพันธ์กับเวลาของค่าความหนืดด้านรัศมี ของท่อทดสอบ ที่ใช้สารทำงาน R113 อุณหภูมิ 60 °C ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นสูง 53
4.29 แสดงผลจากการใช้แบบจำลองของ ซีนาร์ ทำนายการคืบของท่อทดสอบ ที่ใช้สารทำงาน R113 ด้านรัศมี อุณหภูมิ 60 °C ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นสูง 56

สารบาญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพ หน้า

4.30 แสดงผลจากการใช้แบบจำลองของ ซีนาร์ ทำนายการคืบของท่อทดสอบ
ที่ใช้สารทำงาน R113 ด้านรัศมี อุณหภูมิ 60 °C ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นต่ำ 56
4.31 แสดงผลจากการใช้แบบจำลองของ ซีนาร์ ทำนายการคืบของท่อทดสอบ
ที่ใช้สารทำงาน R123 ด้านรัศมี อุณหภูมิ 60 °C ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นสูง 57
4.32 แสดงผลจากการใช้แบบจำลองของ ซีนาร์ ทำนายการคืบของท่อทดสอบ
ที่ใช้สารทำงาน R123 ด้านรัศมี อุณหภูมิ 60 °C ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นต่ำ 57
4.33 แสดงผลจากการใช้แบบจำลองของ ซีนาร์ ทำนายการคืบของท่อทดสอบ
ที่ใช้สารทำงาน R113 ด้านความยาว อุณหภูมิ 60 °C ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นสูง 58
4.34 แสดงผลจากการใช้แบบจำลองของ ซีนาร์ ทำนายการคืบของท่อทดสอบ
ที่ใช้สารทำงาน R113 ด้านความยาว อุณหภูมิ 60 °C ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นต่ำ 58
4.35 แสดงผลจากการใช้แบบจำลองของ ซีนาร์ ทำนายการคืบของท่อทดสอบ
ที่ใช้สารทำงาน R123 ด้านความยาว อุณหภูมิ 60 °C ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นสูง 59
4.36 แสดงผลจากการใช้แบบจำลองของ ซีนาร์ ทำนายการคืบของท่อทดสอบ
ที่ใช้สารทำงาน R123 ด้านความยาว อุณหภูมิ 60 °C ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นต่ำ 59
4.37 แสดงผลจากการใช้แบบจำลองของ ซีนาร์ ทำนายการคืบของท่อทดสอบ
ที่ใช้สารทำงาน R113 ด้านรัศมี อุณหภูมิ 40 °C ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นสูง 62
4.38 แสดงผลจากการใช้แบบจำลองของ ซีนาร์ ทำนายการคืบของท่อทดสอบ
ที่ใช้สารทำงาน R113 ด้านรัศมี อุณหภูมิ 40 °C ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นต่ำ 63
4.39 แสดงผลจากการใช้แบบจำลองของ ซีนาร์ ทำนายการคืบของท่อทดสอบ
ที่ใช้สารทำงาน R123 ด้านรัศมี อุณหภูมิ 40 °C ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นสูง 63
4.40 แสดงผลจากการใช้แบบจำลองของ ซีนาร์ ทำนายการคืบของท่อทดสอบ
ที่ใช้สารทำงาน R123 ด้านรัศมี อุณหภูมิ 40 °C ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นต่ำ 64
4.41 แสดงผลจากการใช้แบบจำลองของ ซีนาร์ ทำนายการคืบของท่อทดสอบ
ที่ใช้สารทำงาน R113 ด้านความยาว อุณหภูมิ 40 °C ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นสูง 64
4.42 แสดงผลจากการใช้แบบจำลองของ ซีนาร์ ทำนายการคืบของท่อทดสอบ
ที่ใช้สารทำงาน R113 ด้านความยาว อุณหภูมิ 40 °C ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นต่ำ 65

สารบาญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพ หน้า

4.43 แสดงผลจากการใช้แบบจำลองของ ซีนาร์ ทำนายการคืบของท่อทดสอบ
ที่ใช้สารทำงาน R123 ด้านความยาว อุณหภูมิ 40 °C ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นสูง 65
4.44 แสดงผลจากการใช้แบบจำลองของ ซีนาร์ ทำนายการคืบของท่อทดสอบ
ที่ใช้สารทำงาน R123 ด้านความยาว อุณหภูมิ 40 °C ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นต่ำ 66
4.45 แสดงโครมาโทรแกรม (Chromatogram) ของสารทำเย็น R113 มาตรฐาน 67
4.46 แสดงโครมาโทรแกรม (Chromatogram) ของสารทำเย็น R123 มาตรฐาน 68
4.47 แสดง แมสสเปกตรัม (Mass spectrum) ของสารทำเย็น R113 มาตรฐาน 68
4.48 แสดง แมสสเปกตรัม (Mass spectrum) ของสารทำเย็น R123 มาตรฐาน 69
4.49 แสดงโครมาโทรแกรม (Chromatogram) ของสารทำเย็น R113 ทดสอบที่อุณหภูมิ 80°C 70
4.50 แสดงโครมาโทรแกรม (Chromatogram) ของสารทำเย็น R123 ทดสอบที่อุณหภูมิ 80°C 70
4.51 แสดงโครมาโทรแกรม (Chromatogram) ของสารทำเย็น R113 ทดสอบที่อุณหภูมิ 40°C 72
4.52 แสดงโครมาโทรแกรม (Chromatogram) ของสารทำเย็น R113 ทดสอบที่อุณหภูมิ 60°C 72
4.53 แสดงโครมาโทรแกรม (Chromatogram) ของสารทำเย็น R123 ทดสอบที่อุณหภูมิ 40°C 73
4.54 แสดงโครมาโทรแกรม (Chromatogram) ของสารทำเย็น R123 ทดสอบที่อุณหภูมิ 60°C 73

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

อักษรย่อและสัญลักษณ์

อักษรย่อ	ความหมาย	หน่วย
HDPE	โพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene Pipe)	
R113	1,1,2-trichlorotrifluoroethane	
R123	2,2-dichloro-1,1,1-trifluoroethane	
GC	Gas Chromatography	
MS	Mass Spectrometry	
GC-MS	Gas Chromatography - Mass Spectrometry	

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

อักษรย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
σ	ความเค้น	(N/m^2)
σ_E	ความเค้นที่เกิดในสปริง	(N/m^2)
σ_V	ความเค้นที่เกิดในตัวหน่วง	(N/m^2)
ε	ความเครียด	(m/m)
ε_E	ความเครียดที่เกิดในสปริง	(m/m)
ε_V	ความเครียดที่เกิดในตัวหน่วง	(m/m)
μ	ค่าความหนืด	(Pa s)
E	ค่าโมดูลลัสของสปริง	(N/m^2)
t	เวลา	(hr)
ε_{CREEP}	ความเครียดเนื่องจากการคืบ	(m/m)
L	ความยาวใหม่ภายหลังที่ได้รับแรงภายนอกมากระทำ	(m)
Lo	ความยาวเดิม หรือความยาวพิกัดของวัสดุ	(m)
σ_h	ความเค้นในแนวเส้นรอบวง	(N/m^2)
σ_z	ความเค้นในแนวความยาว	(N/m^2)
σ_r	ความเค้นในแนวรัศมี	(N/m^2)
ε_h	ความเครียดในแนวเส้นรอบวง	(m/m)
ε_z	ความเครียดในแนวความยาว	(m/m)
P	ความดันที่อุณหภูมิทดสอบ	(Pa)
D	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ	(m)
t	ความหนาของท่อ	(m)
υ	อัตราส่วนปัวซอง	(m/m)
R	การขยายตัวในแนวรัศมี	(m)
L	การขยายตัวตามแนวความยาว	(m)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University