

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ต
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	3
1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	7
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา	7
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย	7
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	8
2.1 หลักการและทฤษฎีของท่อความร้อน	8
2.2 หลักการและทฤษฎีทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม	14
2.3 หลักการและทฤษฎีอื่นๆที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย	16
บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดสอบ	19
3.1 แผนการดำเนินการ	19
3.2 วิธีการวิจัย	19
3.3 ตัวแปรในการทดสอบ	21
3.4 ชุดทดสอบ	22
3.5 อุปกรณ์ประกอบและเครื่องมือวัด	26
3.6 ขั้นตอนการทดสอบ	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิจารณ์ผลการทดสอบ	39
4.1 ผลของการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างและการตั้งค่าอุปกรณ์ต่างๆ	39
4.2 ผลของการเติมสารทำงานและควบคุมปริมาณสารทำงาน	46
4.3 ผลการทดสอบสมรรถนะต่อความร้อนในแนวตั้งด้วยน้ำร้อน	52
4.4 ผลการทดสอบสมรรถนะต่อความร้อนในแนวนอนด้วยฮีตเตอร์	59
4.5 ผลของการทดสอบการกระจายตัวของอนุภาคและความดันสุญญากาศ ขณะดำเนินการควบคุมปริมาณสารทำงานและสถานะสุญญากาศ	85
4.6 ผลของการปรับปรุงเครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานและสถานะ สุญญากาศและผลการทดสอบทางฮีตเตอร์หลังการปรับปรุงเครื่องจักร	91
4.7 การคำนวณและเปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม	96
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ	111
5.1 สรุปผลงานวิจัย	111
5.2 ข้อเสนอแนะ	112
บรรณานุกรม	113
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก รายละเอียดของอุปกรณ์และผลการทดลองการกระจายตัว ของความดันสุญญากาศภายในต่อความร้อน	115
ภาคผนวก ข ตารางแสดงผล Q และ q จากการเปลี่ยนอัตราส่วนการเติม	119
ประวัติผู้เขียน	128

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
4.1 การตั้งค่าของเครื่องเติมสารทำงานและเครื่องควบคุมปริมาณสารทำงาน และสภาวะสุญญากาศ	45
4.2 ตัวอย่างการบันทึกค่าการเติมสารทำงานและการควบคุมสารทำงานในแต่ละช่วง	46
4.3 การวางแผนการทดสอบการกระจายอุณหภูมิ 16 รูปแบบ	73
4.4 เงื่อนไขในการควบคุมการเติมสารและควบคุมปริมาณสารทำงานและสภาวะสุญญากาศ	92
4.5 รายละเอียด ความถี่ และต้นทุนในการซ่อมบำรุงหัวน้ำร้อน	101
4.6 แสดงทางเลือกในการแก้ปัญหาทั้ง 3 ทางเลือก	103
4.7 แสดงการประเมินค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องทางเศรษฐศาสตร์ทางเครื่องจักร	104
4.8 แสดงผลการประเมินค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องทางเศรษฐศาสตร์ทางเครื่องจักร	106
4.9 แสดงเวลาการทำงานของขั้นตอนการควบคุมสภาวะสุญญากาศ และการเติมสารทำงานของทั้ง 3 ทางเลือกในการแก้ปัญหา	106
4.10 แสดงผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ทางวิธีการ	107
4.11 แสดงการประเมินค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องทางเศรษฐศาสตร์ทางวัสดุ	107
4.12 แสดงผลการประเมินค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องทางเศรษฐศาสตร์ทางวัสดุ	108
4.13 ข้อมูลเปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์ระหว่าง แบบที่ 1 กับแบบที่ 2	109
4.14 ข้อมูลเปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์ระหว่าง แบบที่ 1 กับแบบที่ 3	109
5.1 สรุปผลค่าเฉลี่ยของผลต่างอุณหภูมิ ($T_c - T_c$) และ ($T_h - T_c$) ทั้งการควบคุม ปริมาณสารทำงานแบบที่มีการไล่ก๊าซและไม่มีการไล่ก๊าซ	111
5.2 สรุปผลการทดสอบทางน้ำร้อนและเปอร์เซ็นต์ชิ้นงานที่ไม่เข้าพวก	112

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพถ่ายเทความร้อนรวม และ สัดส่วนการเติม	4
1.2 ผลของการเติมสารทำงานต่อความต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อนที่ทำงานในแนวระดับ	5
1.3 ผลของสัดส่วนการเติมสารทำงานต่อค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด และความต้านทานทางความร้อน(เมทานอล – 1.0 ไมครอน)	6
2.1 หลักการทำงานของท่อความร้อน	8
2.2 เครื่องข่ายทางอุณหพลศาสตร์ของค่าความต้านทานทางความร้อนรวมของท่อความร้อน	9
2.3 จิตจำกัการส่งถ่ายความร้อนของท่อความร้อน	13
3.1 แผนภาพขั้นตอนการวิจัย	20
3.2 ชุดทดสอบทางน้ำร้อน	22
3.3 เงื่อนไขการทดสอบด้วยน้ำร้อนสำหรับท่อความร้อนในแนวตั้ง	23
3.4 ชุดทดสอบทางฮีตเตอร์สำหรับท่อกลม (A) ฮีตซิงค์ทำหน้าที่ระบายความร้อนในส่วนควบแน่น โดยมีร่องกลมเพื่อรองรับท่อความร้อน (B) ก่อทองแดงทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนเสมือนหน่วยประมวลผลกลาง(CPU) โดยมีร่องกลมเพื่อรองรับท่อความร้อน (C) ชุดทดสอบทางฮีตเตอร์สำหรับท่อกลมที่ประกอบส่วนต่างๆเข้าด้วยกัน	24
3.5 ชุดทดสอบทางฮีตเตอร์สำหรับท่อแบน (A) ฮีตซิงค์ทำหน้าที่ระบายความร้อนในส่วนควบแน่น โดยมีร่องกลมเพื่อรองรับท่อความร้อน (B) ก่อทองแดงทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนเสมือนหน่วยประมวลผลกลาง(CPU) โดยมีผิวหน้าเรียบเพื่อรองรับท่อความร้อน (C) ชุดทดสอบทางฮีตเตอร์สำหรับท่อแบนที่ประกอบส่วนต่างๆเข้าด้วยกัน	25
3.6 เงื่อนไขการทดสอบทดสอบด้วยฮีตเตอร์สำหรับท่อความร้อนในแนวระดับ	26

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
3.7 แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power supply) ยี่ห้อ Good Will รุ่น GPR-7550D	27
3.8 แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power supply) ยี่ห้อ Good Will รุ่น GPC-3030D	27
3.9 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data acquisition)	28
3.10 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) และตัวต่อ (Thermal connector) Type K	28
3.11 ลักษณะการติดตั้งชุดทดสอบและอุปกรณ์ต่างๆ	29
3.12 เครื่องเติมสารทำงาน	30
3.13 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น AY-220	30
3.14 เครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานและสถานะสุญญากาศ	31
3.15 ปัมสุญญากาศชนิด Liquid ring และ ชิลเลอร์ (Chiller) ทำงานร่วมกันเพื่อ ดูดอากาศออกจากท่อความร้อน , ถังสำรองแรงดัน และระบบท่อต่างๆ เพื่อสร้างสุญญากาศในท่อความร้อน	31
3.16 เกจ วัดความดันแบบดิจิตอลและถังสำรองแรงดัน ซึ่งประกอบเข้าด้วยกัน เพื่อลดเวลาในการดูดอากาศพร้อมทั้งเพิ่มความเสถียรของแรงดันสุญญากาศ ให้กับระบบ โดยมีเกจวัดความดันแบบดิจิตอลเป็นส่วนตรวจสอบแรงดัน ภายในของถังสำรองแรงดัน	32
3.17 โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid valve) เป็นวาล์วแบบแม่เหล็ก โดยสั่งการเปิด และปิดด้วยเครื่องตั้งเวลา (Timer) และชุดควบคุมซึ่งเป็นแบบ PLC (Programmable logic controller) เพื่อตัดหรือต่อท่อความร้อนเข้ากับ ระบบทำสุญญากาศ	32
3.18 เครื่องตั้งเวลา (Timer) ควบคุมการทำงานแต่ละช่วงของเครื่องควบคุม ปริมาณสารทำงานและสถานะสุญญากาศ	33
3.19 เกจ วัดความดันแบบดิจิตอล (Digital pressure sensor) ยี่ห้อ Keyence, รุ่น AP-C30W และข้อต่อทองเหลืองแบบ 4 ทาง	33

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
3.20 การติดตั้งเกจวัดความดันแบบดิจิตอลเข้ากับเครื่องควบคุมปริมาณ สารทำงานและสถานะสูญญากาศ	34
3.21 เครื่องกดทับเพื่อทับแบนและควบคุมความหนาให้ชิ้นงาน	34
3.22 ถังความดันสำหรับทดสอบการรั่วด้วยวิธีความดันอากาศ	35
3.23 ตู้อบแบบพาความร้อนใช้สำหรับบ่มท่อความร้อน	35
3.24 แผนผังขั้นตอนการทดสอบ	36
4.1 ลักษณะของปลายท่อที่ลดรูปและขนาดครุเดิมสารทำงาน	39
4.2 ข้อมูลของขนาดครุเดิมสารจากการสุ่มจำนวน 13 ชิ้นในการผลิตจริงแบบเชิงปริมาณ	40
4.3 ข้อมูลของขนาดครุเดิมสารจากการสุ่มจำนวน 30 ชิ้นในการผลิตชิ้นงานตัวอย่าง	40
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารทำงานและความต้านทานทางความร้อน (R_{e-c} , R_{h-c}) และอุณหภูมิฮีตเตอร์ (T_h) แบบท่อกลมที่กำลังความร้อน 35 วัตต์	42
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารทำงานและความต้านทานทางความร้อน (R_{e-c} , R_{h-c}) และอุณหภูมิฮีตเตอร์ (T_h) แบบท่อแบนที่กำลังความร้อน 35 วัตต์	43
4.6 การกำหนดค่าที่เครื่องตั้งเวลา (Timer) เพื่อดูอากาศที่ 10 วินาที จุ่มและต้มใน น้ำร้อนที่ 40 วินาที และ คายไอน้ำส่วนเกินที่ 6.5 วินาทีในกรณีที่มีการไล่ก๊าซ	45
4.7 การกำหนดค่าที่เครื่องตั้งเวลา (Timer) เพื่อดูอากาศที่ 10 วินาที จุ่มและต้มใน น้ำร้อนที่ 5 วินาที และ คายไอน้ำส่วนเกินที่ 3 วินาทีในกรณีที่ไม่มีการไล่ก๊าซ	45
4.8 ดวงน้ำร้อนออกเพื่อไม่เกิดการต้มสำหรับการควบคุมปริมาณสารทำงาน สำหรับทำท่อความร้อนแบบไม่ไล่ก๊าซ	46
4.9 ผลของการเติมสารทำงานแบบมีการไล่ก๊าซซึ่งจะเติมเกินจากค่าที่ต้องการ	47
4.10 ผลของการเติมสารทำงานแบบไม่มีการไล่ก๊าซซึ่งจะเติมพอดีกับค่าที่ต้องการ	47
4.11 ผลของการควบคุมปริมาณสารทำงานแบบมีการไล่ก๊าซ	48
4.12 ผลของการควบคุมปริมาณสารทำงานแบบไม่มีการไล่ก๊าซ	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.13 ผลการเปรียบเทียบการควบคุมปริมาณสารทำงานแบบมีการไล่ก๊าซ และไม่มีการไล่ก๊าซ	49
4.14 ผลของการคายสารทำงานออกจากท่อในกรณีมีการไล่ก๊าซ	50
4.15 ผลของการคายสารทำงานออกจากท่อในกรณีไม่มีการไล่ก๊าซ	50
4.16 ผลเปรียบเทียบการคายสารทำงานออกจากท่อทั้งแบบมีการไล่ก๊าซ และไม่มีการไล่ก๊าซ	51
4.17 การเปรียบเทียบผลการทดสอบน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C ทดสอบที่เวลา 30 และ 60 วินาที	53
4.18 การเปรียบเทียบผลการทดสอบน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C ทดสอบที่เวลา 30 และ 60 วินาที	54
4.19 การเปรียบเทียบผลการทดสอบน้ำร้อนที่เวลา 30 วินาที ทดสอบที่อุณหภูมิ 60 และ 80 °C	54
4.20 การเปรียบเทียบผลการทดสอบน้ำร้อนที่เวลา 60 วินาที ทดสอบที่อุณหภูมิ 60 และ 80 °C	55
4.21 การเปรียบเทียบผลการทดสอบน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C ทดสอบที่เวลา 30 และ 60 วินาที	56
4.22 การเปรียบเทียบผลการทดสอบน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C ทดสอบที่เวลา 30 และ 60 วินาที	56
4.23 การเปรียบเทียบผลการทดสอบน้ำร้อนที่เวลา 30 วินาที ทดสอบที่อุณหภูมิ 60 และ 80 °C	57
4.24 การเปรียบเทียบผลการทดสอบน้ำร้อนที่เวลา 60 วินาที ทดสอบที่อุณหภูมิ 60 และ 80 °C	57
4.25 การเปรียบเทียบผลการทดสอบทางน้ำร้อนทั้ง 4 สภาวะ	58
4.26 จุดวัดในแต่ละตำแหน่งเพื่อทดสอบการกระจายตัวของอุณหภูมิ	590

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.27 ผลการกระจายอุณหภูมิของท่อความร้อนแบบกลมที่มีการไล่ก๊าซโดยเลือกชิ้นงานที่มีผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนและอุณหภูมิจุดปลายท่อที่อยู่ในเกณฑ์ค่าเฉลี่ย	60
4.28 ผลการกระจายอุณหภูมิของท่อความร้อนแบบแบนที่มีการไล่ก๊าซโดยเลือกชิ้นงานที่มีผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนและอุณหภูมิจุดปลายท่อที่อยู่ในเกณฑ์ค่าเฉลี่ย	60
4.29 ผลการกระจายอุณหภูมิของท่อความร้อนแบบกลมที่ไม่มีการไล่ก๊าซโดยเลือกชิ้นงานที่มีผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนและอุณหภูมิจุดปลายท่อที่สูงที่สุด	61
4.30 ผลการกระจายอุณหภูมิของท่อความร้อนแบบแบนที่ไม่มีการไล่ก๊าซโดยเลือกชิ้นงานที่มีผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนและอุณหภูมิจุดปลายท่อที่สูงที่สุด	61
4.31 ผลต่างอุณหภูมิระหว่างจุดทำระเหยและจุดควบแน่นของชิ้นงานตัวอย่างที่มีการไล่ก๊าซที่กำลังความร้อน 10 , 20 และ 35 วัตต์	63
4.32 ผลต่างอุณหภูมิระหว่างจุดฮีตเตอร์และจุดควบแน่นของชิ้นงานตัวอย่างที่มีการไล่ก๊าซที่กำลังความร้อน 10 , 20 และ 35 วัตต์	64
4.33 ผลต่างอุณหภูมิระหว่างจุดทำระเหยและจุดควบแน่นของชิ้นงานตัวอย่างที่ไม่มีการไล่ก๊าซที่กำลังความร้อน 10 , 20 และ 35 วัตต์	65
4.34 ผลต่างอุณหภูมิระหว่างจุดฮีตเตอร์และจุดควบแน่นของชิ้นงานตัวอย่างที่ไม่มีการไล่ก๊าซที่กำลังความร้อน 10 , 20 และ 35 วัตต์	66
4.35 ผลการ X-Ray เพื่อตรวจสอบสภาพของวัสดุพูนแบบไฟเบอร์ภายใน	68
4.36 ผลการ X-Ray ด้านข้างเพิ่มเติมเพื่อตรวจสอบช่องว่างไอ	69
4.37 แบบของชิ้นงานที่ต้องการแก้ไขโดยความหนาที่ส่วนทำระเหยเท่ากับ 2.5 มิลลิเมตร	69
4.38 ช่วงการเปลี่ยนแปลงความหนาจาก 1.9 มิลลิเมตร ไปยัง 2.5 มิลลิเมตร	70
4.39 ลักษณะของพื้นที่การรับความร้อนและความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและความกว้าง	70
4.40 ผลหลังจากการทำซ้ำแสดงจากด้านบนและด้านข้างของชิ้นงาน	71
4.41 ปัญหาเรื่องความเรียบของชิ้นงาน (Flatness) หลังจากการทำซ้ำ	71

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.42 ปัญหาเรื่องการเปลี่ยนความหนาของชิ้นงานซึ่งไม่เป็นไปตามแบบหลังจากการทำซ้ำ	71
4.43 ลักษณะชุดทดสอบเพื่อทดสอบการกระจายอุณหภูมิในแนวตั้ง	72
4.44 ตัวอย่างการแสดงผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิต่อความร้อนตามระยะทาง	73
4.45 ผลการทดสอบของแบบที่ 1 การทดสอบในแนวนอน ชิ้นงานหนา 1.9 มิลลิเมตร	74
4.46 ผลการทดสอบของแบบที่ 2 การทดสอบในแนวตั้ง ชิ้นงานหนา 1.9 มิลลิเมตร	74
4.47 ผลการทดสอบของแบบที่ 3 การทดสอบในแนวนอน ชิ้นงานหนา 2.5 มิลลิเมตร	75
4.48 ผลการทดสอบของแบบที่ 4 การทดสอบในแนวตั้งนอน ชิ้นงานหนา 2.5 มิลลิเมตร	75
4.49 ผลของตัวแปรสัมพัทธ์ใหม่ ที่การทดสอบในแนวนอน ชิ้นงานหนา 1.9 มิลลิเมตร	78
4.50 ผลของตัวแปรสัมพัทธ์ใหม่ ที่การทดสอบในแนวตั้ง ชิ้นงานหนา 1.9 มิลลิเมตร	79
4.51 ผลของตัวแปรสัมพัทธ์ใหม่ ที่การทดสอบในแนวนอน ชิ้นงานหนา 2.5 มิลลิเมตร	80
4.52 ผลของตัวแปรสัมพัทธ์ใหม่ ที่การทดสอบในแนวตั้ง ชิ้นงานหนา 2.5 มิลลิเมตร	81
4.53 ผลของตัวแปรสัมพัทธ์ใหม่ของการทดสอบทั้ง 4 แบบ	83
4.54 ผลการเปรียบเทียบค่าความต้านทานทางความร้อนระหว่างจุดทำระเหยและจุดควบแน่น	84
4.55 ชุดวัดอุณหภูมิประกอบด้วย คอมพิวเตอร์, Data acquisition และ โปรแกรมวัดอุณหภูมิ	85
4.56 เครื่องเดิมสารทำงานและเครื่องควบคุมปริมาณสารทำงาน และควบคุมสภาวะสุญญากาศ	86
4.57 การติดตั้งจุดวัดอุณหภูมิต่อความร้อน โดยกำหนดให้จุด T102 อยู่บนสุดในบริเวณของท่อลด และจุด T103 อยู่ตรงกลางต่ำลงมา จากจุด T102 ประมาณ 15 มิลลิเมตรและจุด T104 อยู่ด้านล่างสุด ต่ำลงมาจากจุด T103 ประมาณ 15 มิลลิเมตร	86

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.58 ผลการกระจายตัวของอุณหภูมิที่คาดหวังในขณะดำเนินการควบคุมปริมาณสารทำงานและสถานะสุญญากาศ	87
4.59 ผลการวัดอุณหภูมิในแต่ละจุดบนตัวท่อและอุณหภูมิน้ำร้อนที่ตั้งค่าไว้ที่ 70 °C โดยที่ กราฟ Time series 101 แสดงอุณหภูมิน้ำร้อน และกราฟ Time series 102,103 และ 104 แสดงอุณหภูมิในแต่ละจุดบนตัวท่อตามรูปที่ 4.57	88
4.60 ผลการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจริงในขณะดำเนินการควบคุมปริมาณสารทำงานและสถานะสุญญากาศ	89
4.61 ผลการควบคุมปริมาณสารทำงานในแต่ละหัว	90
4.62 ตัวอย่างของข้อต่อทั้งแบบอ่อนและแบบแข็งในระบบของเครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานและสถานะสุญญากาศ	93
4.63 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างและเงื่อนไขในการผลิตเพื่อยืนยันผลหลังการปรับปรุงเครื่องจักร	94
4.64 ผลการเติมสารทำงาน	94
4.65 ผลการทดสอบทางฮีตเตอร์	95
4.66 การทำความเข้าใจกับปัญหาและวิเคราะห์ปัญหาก่อนการวิจัยและปรับปรุง	96
4.67 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยหลักการ 4M	97
4.68 ลักษณะปั๊มสุญญากาศแบบ Oil re-circulating rotary vane	98
4.69 กระจกสูบของเครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานและสถานะสุญญากาศ	99
4.70 หัวน้ำร้อนทำหน้าที่ในการควบคุมอุณหภูมิ	99
4.71 แผนการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับหัวน้ำร้อน	100
4.72 เวลาดำเนินการแต่ละช่วงที่กำหนดโดยเครื่องตั้งเวลา	101
4.73 เวลาที่ใช้ในแต่ละช่วงการทำงานตามความสัมพันธ์ของความดันและเวลา โดยที่ ช่วงที่ 1 ดูดอากาศออกจากถัง เวลาที่ใช้ไม่แน่นอนแล้วแต่ปริมาณการเติม ช่วงที่ 2 รักษาสถานะสุญญากาศ เวลาที่ใช้ 120 วินาที ช่วงที่ 3 ทำลายสุญญากาศ เวลาที่ใช้ 20 วินาที	102

อักษรย่อและสัญลักษณ์

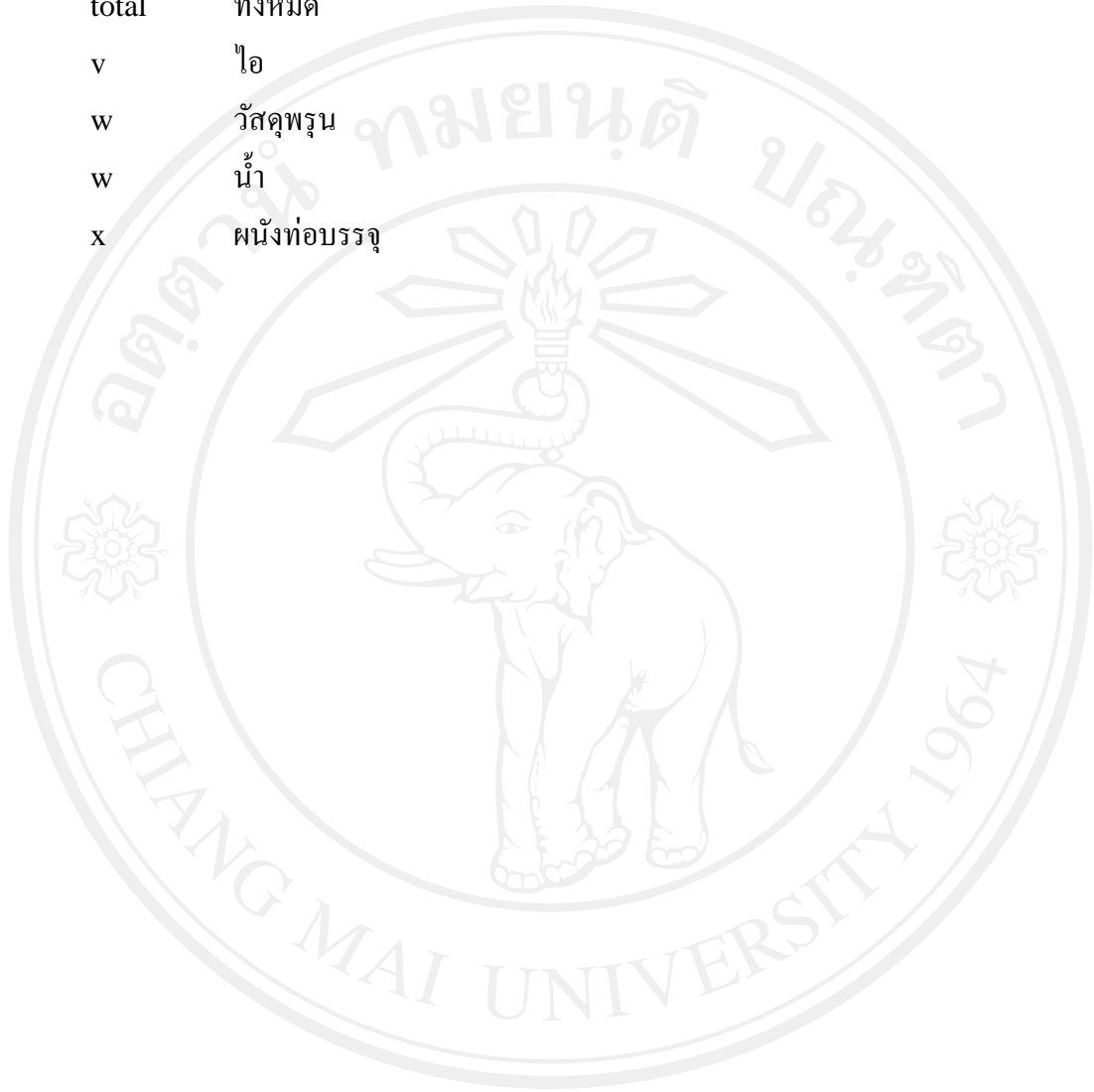
สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่หน้าตัด	m ²
B	มูลค่าเริ่มต้น	THB
B _t	มูลค่าในบัญชีหลังปีที่ t	THB
C _{pk}	ความสามารถของกระบวนการ	
D	เส้นผ่านศูนย์กลาง	m
d	เส้นผ่านศูนย์กลาง	m
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง	m/s ²
h	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน	W/m ² ·K
h _{fg}	ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ	J/kg·K
HPD	ท่อความร้อนที่ผ่านการไล่ก๊าซ	
HPND	ท่อความร้อนที่ไม่ผ่านการไล่ก๊าซ	
i	อัตราดอกเบี้ย	%
K	ค่าความสามารถในการซึมผ่าน	m ²
k	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	W/m·K
k _{eff}	ค่าการนำความร้อนประสิทธิผล	W/m·K
l	ความยาว	m
l _a	ความยาวส่วนกันความร้อน	m
l _c	ความยาวส่วนควบแน่น	m
l _e	ความยาวส่วนทำระเหย	m
l _{eff}	ความยาวประสิทธิผล	m
n	อายุการใช้งานของสินทรัพย์	yr
n _p	ระยะเวลาคืนทุน	yr
NCF	กระแสเงินสดสุทธิ	THB
P	ความดัน	Pa
P	ค่าการลงทุนเบื้องต้น	THB

Q	อัตราการส่งถ่ายความร้อน	W
r	รัศมี	m
R_{e-c}	ความต้านทานความร้อนระหว่างส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
R_{h-c}	ความต้านทานความร้อนระหว่างฮีตเตอร์และส่วนควบแน่น	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
S	พื้นที่ผิว	m^2
S	มูลค่าซากประมาณ	THB
SL	ค่าเสื่อมราคาคิดแบบเส้นตรง	THB
t	ปีที่	
T	อุณหภูมิ	$^{\circ}\text{C}$
Z	ความต้านทานทางความร้อน	K/W
Δ	ผลต่าง	
μ	ความหนืด	$\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$
ρ	ความหนาแน่น	kg/m^3
σ	แรงตึงผิว	N/m
θ	มุมสัมผัสส่วัดผ่านสถานะของเหลว	$^{\circ}$

ตัวกำกับล่าง ความหมาย

a	ส่วนกันความร้อน
c	ส่วนควบแน่น
co	ผิวด้านนอกของส่วนควบแน่น
e	ส่วนทำระเหย
eo	ผิวด้านนอกของส่วนทำระเหย
h	ฮีตเตอร์
i	ด้านใน
int	ภายใน
l	ของเหลว
o	ด้านนอก

total ทั้งหมด
 v ไอ
 w วัสดุพูน
 w น้ำ
 x ผนังท้อบรรจ



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved