แบบจำลองสหสัมพันธ์อัตราการนำทิ้งความร้อนในคอยล์เย็นระบบปรับอากาศของรถยนต์

นายพัชรวีร์ ประทุมรัตน์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2563

CORRELATION MODEL FOR HEAT REMOVAL RATE IN AUTOMOTIVE AIR CONDITIONING EVAPORATOR

Patcharawee Prathumrat

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the

Degree of Master of Engineering in Mechanical and Process

System Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2020

แบบจำลองสหสัมพันธ์อัตราการนำทิ้งความร้อนในคอยล์เย็นระบบปรับอากาศของรถยนต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.กระวี ตรีอำนรรค)
ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.กีรติ สุลักษณ์)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(รศ. ดร.บัณฑิต กฤตาคม)
กรรมการ

(อ. ดร.วิฑูรย์ เห็มสุวรรณ)
กรรมการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล

(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

พัชรวีร์ ประทุมรัตน์ : แบบจำลองสหสัมพันธ์อัตราการนำทิ้งความร้อนในคอยล์เย็นระบบปรับอากาศของรถยนต์ (CORRELATION MODEL FOR HEAT REMOVAL RATE IN AUTOMOTIVE AIR CONDITIONING EVAPORATOR) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กีรติ สุลักษณ์, 93 หน้า.

คอยล์เย็นเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับสารทำความเย็นของระบบปรับอากาศในรถยนต์ ในการออกแบบอุปกรณ์ลูกค้า (ผู้ผลิตรถยนต์) ต้องการอุปกรณ์ที่ให้อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เพียงพอและมีขนาดเหมาะสม ภายใต้เงื่อนไขการใช้งานที่กำหนด อาทิ ความดันลดของน้ำยาทำความเย็น ความเร็วลมที่ไหลผ่านคอยล์ เป็นต้น ในขณะที่ผู้ผลิตคอยล์เย็นนอกจากต้องออกแบบอุปกรณ์ให้ได้สมรรถนะตามที่ลูกค้าต้องการแล้วยังต้องควบคุมต้นทุนในการผลิตด้วย บทความนี้นำเสนอแบบจำลองสหสัมพันธ์ที่ใช้ทำนายความสัมพันธ์ระหว่างการนำทิ้งความร้อนและขนาดของคอยล์เย็นรถยนต์ ความกว้างและความสูงของแผงคอยล์เย็นถูกแปรค่าทั้งหมด 16 ขนาด แต่ละขนาดถูกทดสอบภายใต้ขอบเขตการทดสอบ 2 แบบ ก่อให้เกิดกรณีทดสอบทั้งสิ้น 32 กรณี ผลการทดสอบถูกนำไปปรับเทียบกับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เพื่อสร้างแบบจำลองสหสัมพันธ์ จากนั้นแบบจำลองที่ได้ถูกนำไปตรวจสอบความคลาดเคลื่อนกับแบบจำลองที่ได้จากผลการทดสอบพบว่า แบบจำลองสหสัมพันธ์ที่ได้มีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 1.01% สำหรับภายใต้ขอบเขตการทดสอบที่ 1 และ 0.30% สำหรับภายใต้ขอบเขตการทดสอบที่ 2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อนักศึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

PATCHARAWEE PRATHUMRAT : CORRELATION MODEL FOR HEAT REMOVAL RATE IN AUTOMOTIVE AIR CONDITIONING EVAPORATOR. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. KEERATI SULUKSNA, Ph.D., 93 PP.

CORRELATION MODEL/HEAT REMOVAL RATE/AUTOMOTIVE AIR CONDITIONING EVAPORATOR

The evaporator is the device that performs as a heat exchanger between air and refrigerant in the vehicle compartment. To design this device, the customer and manufacturer typically require its specifications containing appropriate heat removing rate and proper size under the control conditions. For example, the pressure drop of refrigerant and wind speed are the necessary conditions demanded. Besides, the manufacturer also needs regulating the cost unless the efficiency of the machine. This article represents the correlation models to predict the relation between the heat removal and the core size of the evaporator. The model has been developed utilizing experimental results of the cross-sectional area of the evaporator, which evaluated by 16 sizes. The various size was characterized under the two control conditions resulting in the amount of 32 cases in overall. All results were compared with and converted to mathematical function and correlation models, respectively. The models were verified for error with correlation equations which were 1.01% and 0.30% for condition 1 and 2, respectively.

School of Mechanical Engineering — Student's Signature Patcharawee

Academic year 2020 — Advisor's Signature Keerati

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่อง “แบบจำลองสหสัมพันธ์อัตราการนำทิ้งความร้อนในคอยล์เย็นระบบปรับอากาศของรถยนต์” เล่มนี้กำเนิดขึ้นและสำเร็จได้ เนื่องด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กีรติ สุลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ทั้งมอบหมายงานและให้คำปรึกษา คำแนะนำ แนวทางในการจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบคุณ คุณปิยบุตร นิจจำนงค์ Production Engineer ของบริษัท แอร์ อินเตอร์เนชั่นแนล เทอร์มอล ซิสเต็มส์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้คำปรึกษาและความรู้ด้านการทดสอบคอยล์เย็น

ขอขอบคุณ พนักงานแผนก Production Engineer ทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนในการสร้างและทดสอบคอยล์เย็น

ขอขอบคุณ บริษัท แอร์ อินเตอร์เนชั่นแนล เทอร์มอล ซิสเต็มส์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้โอกาสและการสนับสนุนเครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดสอบคอยล์เย็น

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลนีสุรนารี ที่มอบโอกาสในการศึกษาในระดับมหาบัณฑิต

ขอขอบคุณครอบครัวประทุมรัตน์ ที่ให้กำลังใจ การสนับสนุนและทุนการศึกษา

ขอขอบคุณข้าพเจ้าที่อดทน ยืนหยัด และยังดำรงความสัมปชัญญะครบถ้วน จนบรรลุงานวิจัยนี้ได้อย่างลุล่วง

งานวิจัยนี้หวังเพียงเป็นประโยชน์ต่อสังคม ประเทศชาติและผู้ที่สนใจศึกษาต่อไป

พัชรวีร์ ประทุมรัตน์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ซ
สารบัญรูป ..... ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฐ

บทที่

1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2
1.4 สถานที่ทำการวิจัย 3
1.5 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 การนำทิ้งความร้อน 4
2.2 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ 5
2.2.1 อุปกรณ์การทำความเย็นแบบอัดไอ 5
2.2.2 ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor Compression System) 8
2.3 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) 10
2.3.1 ส่วนประกอบการออกแบบการทดลอง 11
2.3.2 หลักการในการออกแบบการทดลอง 12
2.3.3 ขั้นตอนการทดลอง 12

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 หลักการค่ากำลังสองน้อยที่สุด 15
2.4.1 ค่ากำลังสองน้อยที่สุดฟังก์ชันกำลัง 15
2.5 หลักการหาค่าการนำทิ้งความร้อน 16
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 18
2.6.1 สหสัมพันธ์การพาความร้อนแบบบังคับ 18
2.6.2 แนวทางการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ 19
2.6.3 แนวทางการออกแบบชุดทดสอบวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ 21
2.6.4 วิธีการออกแบบการทดลอง 23
3 วิธีดำเนินการวิจัย 25
3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย 25
3.2 แผนผังการดำเนินงานวิจัย 25
3.3 ขอบเขตการทดสอบ 27
3.4 แผนผังและวิธีการทดสอบ 28
3.5 อุปกรณ์การทดลอง 29
3.6 การทำงานชุดทดสอบสมรรถนะของคอยล์เย็น 29
3.7 ขั้นตอนการวัดค่าและการเก็บข้อมูล 31
3.8 พารามิเตอร์ที่ได้จากการเก็บข้อมูล 32
3.9 การสร้างและใช้งานแบบจำลองคณิตศาสตร์ 33
4 ผลการดำเนินการวิจัย 34
4.1 ผลการทดสอบค่าการนำทิ้งความร้อนจากคอยล์เย็นทดสอบ 34
4.1.1 ผลการทดสอบค่าการนำทิ้งความร้อนภายใต้ขอบเขตการทดสอบที่ 1 34
4.1.2 ผลการทดสอบค่าการนำทิ้งความร้อนภายใต้ขอบเขตการทดสอบที่ 2 36
4.2 การเลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์โดยการปรับเทียบรายกรณีของผลการทดสอบในขอบเขตการทดสอบที่ 1 37
4.2.1 กรณีเลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นสมการเส้นตรง 37
4.2.2 กรณีเลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นสมการเอกซ์โพเนนเชียล 38

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.3 กรณีเลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นสมการลอการิทึม 39
4.2.4 กรณีเลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นสมการโพลิโนเมียลอันดับสอง 40
4.2.5 กรณีเลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นสมการโพลิโนเมียลอันดับสาม 41
4.2.6 กรณีเลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นสมการกำลัง 42
4.3 การเลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์โดยการปรับเทียบรายกรณีของผลการทดสอบในขอบเขตการทดสอบที่ 2 44
4.3.1 กรณีเลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นสมการเส้นตรง 44
4.3.2 กรณีเลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นสมการเอกซ์โพเนนเชียล 45
4.3.3 กรณีเลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นสมการลอการิทึม 46
4.3.4 กรณีเลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นสมการโพลิโนเมียลอันดับสอง 47
4.3.5 กรณีเลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นสมการโพลิโนเมียลอันดับสาม 48
4.3.6 กรณีเลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นสมการกำลัง 49
4.4 สร้างสมการทดสอบจากแผนภูมิชนิดเส้น 50
4.5 สร้างสมการจากสัมประสิทธิ์สมการทดลอง 52
4.6 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายค่าการนำทิ้งความร้อน 55
4.7 ตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างสมการทดสอบกับแบบจำลองสหสัมพันธ์ 56
5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ 59
5.1 สรุปผลการวิจัย 59
5.2 ข้อเสนอแนะ 60
รายการอ้างอิง 61

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. ผลจำลองการทดสอบค่าการนำทิ้งความร้อนของคอยล์เย็นทดสอบ
สำหรับขอบเขตการทดลองที่ 1 63

ภาคผนวก ข. ผลจำลองการทดสอบค่าการนำทิ้งความร้อนของคอยล์เย็นทดสอบ
สำหรับขอบเขตการทดลองที่ 2 65

ภาคผนวก ค. การปรับเทียบค่าการทดสอบค่าการนำทิ้งความร้อนของคอยล์เย็น
ทดสอบสำหรับขอบเขตการทดลองที่ 1 กับฟังก์ชันทางคณิตสาสตร์........ 67

ภาคผนวก ง. การปรับเทียบค่าการทดสอบค่าการนำทิ้งความร้อนของคอยล์เย็น
ทดสอบสำหรับขอบเขตการทดลองที่ 2 กับฟังก์ชันทางคณิตสาสตร์........ 71

ภาคผนวก จ. ค่าความคลาดเคลื่อนค่าการนำทิ้งความร้อนระหว่างสมการทดลอง
กับแบบจำลองสหสัมพันธ์ 75

ภาคผนวก ฉ. ตารางบันทึกผลการทดสอบค่าการนำทิ้งความร้อน 78

ภาคผนวก ช. ตารางบันทึกผลการทดสอบค่าการนำทิ้งความร้อน 82

ประวัติผู้เขียน 93

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 ขนาดของคอยล์เย็นที่ใช้ทำการทดสอบสมรรถนะทั้ง 16 กรณีทดสอบ 27
3.2 เงื่อนไขขอบเขตการทดสอบทั้ง 2 เงื่อนไข 28
4.1 ค่าการนำทิ้งความร้อนของขอบเขตการทดสอบที่ 1 35
4.2 ค่าการนำทิ้งความร้อนของขอบเขตการทดสอบที่ 2 36
4.3 ค่า R^2 ของสมการชนิดเส้นตรงทดลองขอบเขตการทดสอบที่ 1 38
4.4 ค่า R^2 ของสมการชนิดเอกซ์โพเนนเชียลทดลองขอบเขตการทดสอบที่ 1 39
4.5 ค่า R^2 ของสมการชนิดลอการิทึมทดลองขอบเขตการทดสอบที่ 1 40
4.6 ค่า R^2 ของสมการชนิดโพลิโนเมียลอันดับสองทดลองขอบเขตการทดสอบที่ 1 41
4.7 ค่า R^2 ของสมการชนิดโพลิโนเมียลอันดับสามทดลองขอบเขตการทดสอบที่ 1 42
4.8 ค่า R^2 ของสมการชนิดกำลังทดลองขอบเขตการทดสอบที่ 1 43
4.9 ค่า R^2 ของสมการชนิดเส้นตรงทดลองขอบเขตการทดสอบที่ 2 44
4.10 ค่า R^2 ของสมการชนิดเอกซ์โพเนนเชียลทดลองขอบเขตการทดสอบที่ 2 45
4.11 ค่า R^2 ของสมการชนิดลอการิทึมทดลองขอบเขตการทดสอบที่ 2 46
4.12 ค่า R^2 ของสมการชนิดโพลิโนเมียลทดลองอันดับสองขอบเขตการทดสอบที่ 2 47
4.13 ค่า R^2 ของสมการชนิดโพลิโนเมียลทดลองอันดับสามขอบเขตการทดสอบที่ 2 48
4.14 ค่า R^2 ของสมการชนิดกำลังทดลองขอบเขตการทดสอบที่ 2 49
4.15 สมการทดลองของขอบเขตการทดสอบที่ 1 51
4.16 สมการทดลองของขอบเขตการทดสอบที่ 2 51
4.17 สมการสัมประสิทธิ์จากสมการทดลองขอบเขตการทดลองที่ 1 54
4.18 ค่า R^2 ของสมการประสิทธิ์ a 54
4.19 สมการสัมประสิทธิ์จากสมการทดลองขอบเขตการทดลองที่ 2 55
4.20 ค่า R^2 ของสมการประสิทธิ์ b 55
4.21 เทียบสมการทดลองกับแบบจำลองสหสัมพันธ์ 56

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.22 เทียบค่าการนำทิ้งความร้อนระหว่างสมการทดลองกับแบบจำลองสหสัมพันธ์สำหรับขอบเขตการทดสอบที่ 1 57
4.23 เทียบค่าการนำทิ้งความร้อนระหว่างสมการทดลองกับแบบจำลองสหสัมพันธ์สำหรับขอบเขตการทดสอบที่ 2 58
ก.1 ค่าการนำทิ้งความร้อนสำหรับขอบเขตการทดสอบที่ 1 64
ข.1 ค่าการนำทิ้งความร้อนสำหรับขอบเขตการทดสอบที่ 2 66
ค.1 ค่าเฉลี่ยการนำทิ้งความร้อนสำหรับขอบเขตการทดสอบที่ 1 68
ง.1 ค่าเฉลี่ยการนำทิ้งความร้อนสำหรับขอบเขตการทดสอบที่ 2 72
จ.1 ค่าความคลาดเคลื่อนค่าการนำทิ้งความร้อนสำหรับขอบเขตการทดลองที่ 1 76
จ.2 ค่าความคลาดเคลื่อนค่าการนำทิ้งความร้อนสำหรับขอบเขตการทดลองที่ 2 77
ฉ.1 ผลการทดสอบสรรถนะของคอยล์เย็น 79

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 P-h Diagram 9
3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย 26
3.2 คอยล์เย็นทดสอบ 26
3.3 การออกแบบการทดลอง 28
3.4 ชุดทดสอบสมรรถนะคอยล์เย็น. 31
4.1 การปรับเทียบผลการทดสอบขอบเขตที่ 1 กับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดเส้นตรง 37
4.2 การปรับเทียบผลการทดสอบขอบเขตที่ 1 กับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดเอกซ์โพเนนเชียล. 38
4.3 การปรับเทียบผลการทดสอบขอบเขตที่ 1 กับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดลอการิทึม 39
4.4 การปรับเทียบผลการทดสอบขอบเขตที่ 1 กับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดโพลิโนเมียลอันดับสอง 40
4.5 การปรับเทียบผลการทดสอบขอบเขตที่ 1 กับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดโพลิโนเมียลอันดับสาม 41
4.6 การปรับเทียบผลการทดสอบขอบเขตที่ 1 กับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดกำลัง 42
4.7 การปรับเทียบผลการทดสอบขอบเขตที่ 1 กับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดเส้นตรง 44
4.8 การปรับเทียบผลการทดสอบขอบเขตที่ 1 กับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดเอกซ์โพเนนเชียล. 45
4.9 การปรับเทียบผลการทดสอบขอบเขตที่ 1 กับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดลอการิทึม. 46
4.10 การปรับเทียบผลการทดสอบขอบเขตที่ 1 กับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดโพลิโนเมียลอันดับสอง. 47
4.11 การปรับเทียบผลการทดสอบขอบเขตที่ 1 กับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดโพลิโนเมียลอันดับสาม 48
4.12 การปรับเทียบผลการทดสอบขอบเขตที่ 1 กับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดกำลัง 49
4.13 สัมประสิทธิ์ a กับความกว้างของคอยล์เย็น 53
4.14 สัมประสิทธิ์ b กับความกว้างของคอยล์เย็น. 53

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

ค.1 ปรับเทียบค่าการนำทิ้งความร้อนกับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ของคอยล์เย็น ขนาดความกว้าง 221 มิลลิเมตร 69
ค.2 ปรับเทียบค่าการนำทิ้งความร้อนกับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ของคอยล์เย็น ขนาดความกว้าง 236 มิลลิเมตร 69
ค.3 ปรับเทียบค่าการนำทิ้งความร้อนกับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ของคอยล์เย็น ขนาดความกว้าง 266 มิลลิเมตร 70
ค.4 ปรับเทียบค่าการนำทิ้งความร้อนกับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ของคอยล์เย็น ขนาดความกว้าง 297 มิลลิเมตร 70
ง.1 ปรับเทียบค่าการนำทิ้งความร้อนกับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ของคอยล์เย็น ขนาดความกว้าง 221 มิลลิเมตร 73
ง.2 ปรับเทียบค่าการนำทิ้งความร้อนกับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ของคอยล์เย็น ขนาดความกว้าง 236 มิลลิเมตร 73
ง.3 ปรับเทียบค่าการนำทิ้งความร้อนกับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ของคอยล์เย็น ขนาดความกว้าง 266 มิลลิเมตร 74
ง.4 ปรับเทียบค่าการนำทิ้งความร้อนกับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ของคอยล์เย็น ขนาดความกว้าง 297 มิลลิเมตร 74
ช.1 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 221 มิลลิเมตร 83
ช.2 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 221 มิลลิเมตร และความสูง 205 มิลลิเมตร 83
ช.3 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 221 มิลลิเมตร และความสูง 235 มิลลิเมตร 84
ช.4 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 221 มิลลิเมตร และความสูง 265 มิลลิเมตร 84
ช.5 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 221 มิลลิเมตร และความสูง 295 มิลลิเมตร 85
ช.6 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 236 มิลลิเมตร 85
ช.7 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 236 มิลลิเมตร และความสูง 205 มิลลิเมตร 86
ช.8 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 236 มิลลิเมตร และความสูง 235 มิลลิเมตร 86
ช.9 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 236 มิลลิเมตร และความสูง 265 มิลลิเมตร 87
ช.10 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 236 มิลลิเมตร และความสูง 295 มิลลิเมตร 87
ช.11 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 266 มิลลิเมตร 88

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

ช.12 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 266 มิลลิเมตร และความสูง 205 มิลลิเมตร 88
ช.13 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 266 มิลลิเมตร และความสูง 235 มิลลิเมตร 89
ช.14 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 266 มิลลิเมตร และความสูง 265 มิลลิเมตร 89
ช.15 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 266 มิลลิเมตร และความสูง 295 มิลลิเมตร 90
ช.16 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 297 มิลลิเมตร 90
ช.17 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 297 มิลลิเมตร และความสูง 205 มิลลิเมตร 91
ช.18 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 297 มิลลิเมตร และความสูง 235 มิลลิเมตร 91
ช.19 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 297 มิลลิเมตร และความสูง 265 มิลลิเมตร 92
ช.20 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 297 มิลลิเมตร และความสูง 295 มิลลิเมตร 92

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

a	=	สัมประสิทธิ์ของสมการทดลอง
b	=	เลขชี้กำลังของสมการการทดลอง
x,y,z	=	สัมประสิทธิ์ของสมการสัมประสิทธิ์
CW	=	ความกว้างของคอยล์เย็น
CH	=	ความสูงของคอยล์เย็น
R134a	=	สารทำความเย็น R134a
P_{in}	=	ความดันทางเข้า
P_{out}	=	ความดันทางออก
SH	=	สถานะของสารทำความเย็นไอร้อนยิ่งยวด
SC	=	สถานะของสารทำความเย็นของเหลวเย็นยิ่ง
Air Temp	=	อุณหภูมิของอากาศ
Air Flow	=	ปริมาณลม
Rh	=	ความชื้นของอากาศ
Q_R	=	ค่าการนำทิ้งความร้อน
T	=	อุณหภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย

ระบบทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศในรถยนต์ เริ่มจากคอมเพรสเซอร์อัดสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นไอส่งผลให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น จากนั้นจะถูกส่งไปยังแผงคอยล์ร้อนเพื่อระบายความร้อน จนกระทั่งเปลี่ยนสถานะจากไอเป็นของเหลวที่ยังคงมีความดันสูง จากนั้นส่งผ่านวาล์วปรับความดันเพื่อลดความดันลงส่งผลให้อุณหภูมิลดลงและส่งไปใช้งานยังคอยล์เย็นซึ่งจะมีพัดลมทำหน้าที่นำอากาศไหลผ่านคอยล์เย็นเข้าห้องผู้โดยสาร ความร้อนของอากาศจะถูกสารทำความเย็นดูดซับและเปลี่ยนสถานะกลายไอร้อนยิ่งยวดไหลส่งไปยังคอมเพรสเซอร์เพื่อเริ่มต้นวัฏจักรอีกครั้ง อุปกรณ์สำคัญของเครื่องปรับอากาศรถยนต์คือคอยล์เย็น ซึ่งใช้แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับอากาศ ด้านผู้บริโภคต้องการระบบปรับอากาศที่สามารถทำอุณหภูมิได้ตามที่ตนเองต้องการเพื่อตอบสนองการใช้งานในสภาวะสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ด้านผู้จัดจำหน่ายต้องการจำหน่ายคอยล์เย็นที่มีความสามารถในการทำงานได้ดังที่ผู้บริโภคต้องการจึงได้ขอให้ทางผู้ผลิตผลิตคอยล์เย็นโดยมีการกำหนดขอบเขตของการใช้งาน เช่น สภาวะแวดล้อมที่จะนำคอยล์เย็นไปใช้ทำความเย็นหรือมาตรฐานการทำความเย็น เป็นต้น ด้านผู้ผลิตจึงต้องออกแบบคอยล์เย็นที่สามารถใช้งานได้ตามความประสงค์ของลูกค้า ซึ่งการออกแบบที่ดีคือ การที่คอยล์เย็นมีความสามารถในการนำทิ้งความร้อนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาคอยล์เย็น ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อขดและมีครีบเป็นส่วนประกอบ ทำหน้าที่รับสารทำความเย็นสถานะของเหลวอุณหภูมิและความดันต่ำเข้ามาแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อให้คอยล์เย็นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพต้องมีพื้นที่สำหรับแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม รวมถึงอัตราการไหลที่ต้องสัมพันธ์กับปริมาณอากาศร้อนที่เข้ามาแลกเปลี่ยนความร้อน

การออกแบบคอยล์เย็นในรถยนต์ที่พบในปัจจุบันเกี่ยวข้องกับการออกแบบขนาดและสมรรถภาพของคอยล์เย็น ให้เป็นไปตามกับความต้องการลูกค้า ขนาดของคอยล์ได้แก่ ความยาว ความสูง จำนวนชั้นครีบแลกเปลี่ยนความร้อน คอยล์เย็นที่ออกแบบ จำเป็นต้องทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพก่อนนำไปสร้างใช้งาน อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลที่จะช่วยในการทำนายขนาดก่อนการสร้างชุดต้นแบบเพื่อนำไปทดสอบ การสร้างชุดต้นแบบเพื่อทดสอบจึงเป็นลักษณะลองผิดลองถูกหลายครั้ง จึงเสียเวลาและสิ้นเปลืองต้นทุน หากมีแบบจำลองสหสัมพันธ์ที่สามารถใช้

ทำนายขนาดของคอยล์เย็นที่มีสมรรถนะสอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าก่อนการสร้างต้นแบบได้จะช่วยประหยัดต้นทุนได้อย่างมาก

งานวิจัยนี้ศึกษาความสัมพันธ์ของค่าการนำทิ้งความร้อนกับขนาดของคอยล์เย็น ผลการทดสอบจะถูกนำไปสร้างแบบจำลองสหสัมพันธ์สำหรับทำนายขนาดของคอยล์เย็นให้มีความสัมพันธ์กับค่าการนำทิ้งความร้อน เพื่อนำไปใช้ออกแบบคอยล์เย็นต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อทดสอบหาผลกระทบของตัวแปรออกแบบที่มีผลต่อค่าการนำทิ้งความร้อนในคอยล์เย็นรถยนต์

1.2.2 เพื่อสร้างแบบจำลองสหสัมพันธ์อัตราการนำทิ้งความร้อนในคอยล์เย็นระบบปรับอากาศของรถยนต์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ขนาดความกว้างของคอยล์เย็น 221, 236, 266 และ 297 มิลลิเมตร

1.3.2 ขนาดความสูงของคอยล์เย็น 205, 235, 265 และ 295 มิลลิเมตร

1.3.3 ระยะห่างระหว่างครีบระบายความร้อน 1.3 มิลลิเมตร

1.3.4 ความสูงของครีบระบายความร้อน 5 มิลลิเมตร

1.3.5 สารทำความเย็นชนิด R134a

1.3.6 ความดันทางเข้า/ทางออกของสารทำความเย็น

1) ขอบเขตการทดสอบที่ 1 ได้แก่ 1,530 kPa / 193 kPa

2) ขอบเขตการทดสอบที่ 2 ได้แก่ 1,400 kPa / 200 kPa

1.3.7 อุณหภูมิของของสารทำความเย็นขณะมีสถานะเป็นไอร้อนยิ่งยวด/ของเหลวเย็นยิ่ง

1) ขอบเขตการทดสอบที่ 1 ได้แก่ 7.5 ^{o}C / 5 ^{o}C

2) ขอบเขตการทดสอบที่ 2 ได้แก่ 5 ^{o}C / 5 ^{o}C

1.3.8 ปริมาณลมเท่ากับ 400 CMH

1.3.9 อุณหภูมิของอากาศ

1) ขอบเขตการทดสอบที่ 1 ได้แก่ 27 ^{o}C

2) ขอบเขตการทดสอบที่ 2 ได้แก่ 40 ^{o}C

1.3.10 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

1) ขอบเขตการทดสอบที่ 1 ได้แก่ 50%Rh

2) ขอบเขตการทดสอบที่ 2 ได้แก่ 40%Rh

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.4 สถานที่ทำการวิจัย

1.4.1 บริษัท แอร์ อินเตอร์เนชั่นแนล เทอร์มอล ซิสเต็มส์ (ประเทศไทย) จำกัด (AITS)

1.4.2 สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.5 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1.5.1 คอยล์เย็นกรณีทดสอบตามขอบเขตการทดสอบกำหนด 16 กรณี

1.5.2 เครื่องทดสอบประเมินสมรรถภาพคอยล์เย็นของบริษัท AITS

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้ผลการทดสอบค่าการนำทิ้งความร้อนสำหรับคอยล์เย็นรถยนต์

1.6.2 ได้แบบจำลองสหสัมพันธ์อัตราการนำทิ้งความร้อนในคอยล์เย็นระบบปรับอากาศของรถยนต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การนำทิ้งความร้อน

หลักการทิ้งความร้อนเกี่ยวกับการพาความร้อน (Convection) คือ เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการเคลื่อนที่ของโมเลกุลผ่านของแข็งหรือผ่านของไหลที่อยู่กับที่ เป็นผลมาจากอุณหภูมิที่แตกต่างกันการนำความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลาจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$Q_v = h \times A \times (T_1 - T_2) \quad (2.1)$$

โดยที่ Q_v คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน (kW)
H คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W/m^2.k$)
A คือ พื้นที่ผิวของวัตถุที่สัมผัสกับของไหล (m^2)
T_1 คือ อุณหภูมิที่ผิวของวัตถุ (K)
T_2 คือ อุณหภูมิที่ของสิ่งแวดล้อม (K)

การพาความร้อนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ การพาความร้อนตามธรรมชาติ (Natural convection) และการพาความร้อนโดยการบังคับ (Forced convection) งานวิจัยนี้ใช้หลักการการพาความร้อนแบบบังคับ เนื่องจากสารทำความเย็นที่ไหลผ่านตัวคอยล์เย็นมีการบังคับการเคลื่อนที่ด้วยการอัดจากคอมเพรสเซอร์และมีการเป่าลมเย็นจากเครื่องทดสอบสมรรถนะ

1. การพาความร้อนแบบบังคับ

การพาความร้อนแบบบังคับ คือ การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยที่ของไหลถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวของของแข็งโดยกลไกภายนอก เช่น พัดลมหรือปั๊มน้ำ ในงานวิจัยนี้คือคอมเพรสเซอร์ โดยการเคลื่อนที่ของของไหลจะเกิดการรับหรือคายความร้อนด้วย

2.2 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

2.2.1 อุปกรณ์การทำความเย็นแบบอัดไอ

1. คอมเพรสเซอร์ (Compressor)

คอมเพรสเซอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ดูดสารทำความเย็นจากคอยล์เย็นที่มีสถานะเป็นไอความดันต่ำ เมื่อสารทำความเย็นเข้าสู่คอมเพรสเซอร์จะถูกอัดความดันส่งผลให้สารทำความเย็นมีความดันเพิ่มขึ้น จนถึงค่าหนึ่งที่สารทำความเย็นสามารถควบแน่นเปลี่ยนสถานะจากไอกลายเป็นของเหลวแล้วจึงเคลื่อนที่เข้าสู่คอนเดนเซอร์ ในงานวิจัยนี้จะใช้คอมเพรสเซอร์ประเภทลูกสูบ โดยมีการทำงานดังนี้ ภายในคอมเพรสเซอร์ชนิดนี้จะมีชุดของลิ้นสำหรับปิดเปิดทางเข้าและทางออกของสารทำความเย็น เมื่อมีสารทำความเย็นไหลเข้าคอมเพรสเซอร์ชุดของลิ้นทางเข้าจะเปิดออก ระหว่างนี้ลูกสูบที่อยู่ภายในคอมเพรสเซอร์จะเคลื่อนที่ลง ดูดรับสารทำความเย็นเข้ามายังคอมเพรสเซอร์ จากนั้นเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่สู่จุดต่ำสุดชุดของลิ้นทางเข้าจะปิด ขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นส่งผลให้ความดันภายในคอมเพรสเซอร์เพิ่มขึ้นอย่างฉับพลัน ลิ้นทางออกจะเปิดออกสารทำความเย็นที่อยู่ภายในคอมเพรสเซอร์จะเคลื่อนที่ไหลออกทางลิ้นทางออกมีสถานะเป็นไอความดันสูง โดยคอมเพรสเซอร์จะทำงานเป็นวัฏจักรเช่นนี้

2. คอนเดนเซอร์ (Condenser)

คอนเดนเซอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับสิ่งแวดล้อมโดยรอบคอนเดนเซอร์ สารทำความเย็นก่อนไหลเข้าคอนเดนเซอร์จะมีสถานะเป็นไอความดันสูง และอุณหภูมิสูง เมื่อสารทำความเย็นเคลื่อนที่เข้าสู่คอนเดนเซอร์ความร้อนที่สะสมอยู่จะถูกระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม ส่งผลให้สารทำความเย็นมีอุณหภูมิลดลงกลั่นตัวเปลี่ยนสถานะกลายเป็นของเหลวความดันสูง งานวิจัยนี้คอนเดนเซอร์จะมีตัวกลางที่ใช้ระบายความร้อน 2 แบบ คือ คอนเดนเซอร์ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air - Cooled) และคอนเดนเซอร์ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water - Cooled)

คอนเดนเซอร์ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air - Cooled)

คอนเดนเซอร์ชนิดนี้ใช้อากาศเป็นตัวกลางสำหรับแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมรอบคอนเดนเซอร์ โดยอากาศอาจเป็นอากาศที่หมุนเวียนทางธรรมชาติโดยการทำงานคือ อากาศโดยรอบคอนเดนเซอร์จะมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศสิ่งแวดล้อจึงลอยตัวสูงขึ้น ระหว่างนั้นอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจะเข้าแทนที่ทำให้คอนเดนเซอร์ถูกระบายความร้อนออกไปจากบริเวณผิว แต่เนื่องจากอากาศดังกล่าวมีปริมาณน้อยบางครั้งไม่เพียงพอต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนต่อคอนแดนเซอร์ จึงจำเป็นสร้างคอนเดนเซอร์ให้มีขนาดใหญ่เพื่อให้มีพื้นที่เพียงพอต่อการระบายความร้อนทำให้ต้องใช้พื้นที่มาก ดังนั้นจึงใช้พัดลมเข้ามาเป็นตัวช่วยในการเพิ่มปริมาณลมสำหรับแลกเปลี่ยนความร้อนของสารทำความเย็น

และสามารถสร้างคอนเดนเซอร์ให้มีขนาดเล็กลงได้ โดยพัดลมจะติดตั้งอยู่กับคอนเดนเซอร์มีหน้าที่คอยดูดอากาศผ่านคอนเดนเซอร์

คอนเดนเซอร์ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water - Cooled)

คอนเดนเซอร์ชนิดนี้จะมีน้ำเป็นตัวกลางสำหรับแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับน้ำ การทำงานของคอนเดนเซอร์ชนิดนี้ คือ จะมีท่อขนาดใหญ่อยู่ภายนอกเป็นท่อที่มีสารทำความเย็นไหลผ่าน ภายในจะมีท่อขนาดเล็กที่ภายในท่อจะมีน้ำไหลเวียนอยู่ ทิศทางการไหลของของเหลวภายในท่อจะสวนทางกัน เมื่อน้ำกับสารทำความเย็นไหลสวนทางกันจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดขึ้น สารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำเย็น โดยการจัดตำแหน่งของท่อของเหลว จะจัดให้ท่อสารทำความเย็นอยู่บริเวณภายนอกเนื่องจากต้องการให้ด้านหนึ่งที่ท่อสารทำความเย็นอยู่ติดกับท่อน้ำเย็นเพื่อที่ให้สารทำความเย็นสามารถแลกเปลี่ยนความร้อนกันได้ และอีกด้านหนึ่งของท่อสารทำความเย็นสัมผัสกับอากาศบริเวณโดยรอบคอนเดนเซอร์เพื่อที่จะสามารถแลกเปลี่ยนความร้อนกันได้เช่นกัน ทั้งนี้เมื่อน้ำเย็นที่มีรับความร้อนจากน้ำมาแล้วจะมีอุณหภูมิสูงจะต้องทำให้น้ำกลับมามีอุณหภูมิต่ำอีกครั้ง เพื่อนำกลับมาใช้แลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำความเย็นอีกครั้ง วิธีการคือจะต้องนำน้ำร้อนเข้าหอระบายน้ำเย็น (Cooling Tower) วิธีการทำงานคือ น้ำร้อนจะถูกส่งเข้าหอระบายน้ำเย็นบริเวณด้านบนจากนั้นจะถูกหัวฉีดสเปร์ยน้ำให้เป็นละอองฝอย ละอองน้ำบางส่วนระเหยไปกับอากาศที่ต้องการความร้อนแฝงที่หมุนวนอยู่ภายในหอระบายน้ำเย็น เมื่ออากาศอิ่มตัวจะต้องไม่ต้องการไอน้ำเพิ่มอีกน้ำอีกส่วนหนึ่งจะตกลงสู่ด้านล่างของหอระบายน้ำเย็นเป็นน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำและนำไปใช้แลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำความเย็นต่อไป แต่เนื่องจากน้ำบางส่วนระเหยไปกับอากาศจึงต้องมีการเติมน้ำเข้าไป (Make-Up Water) เพื่อให้ระดับน้ำในหอระบายความเย็นมีระดับเท่าเดิมโดยการติดตั้งลูกลอยควบคุม (Float Control) ระดับน้ำให้ได้ปริมาณตลอดเวลา

3. วาล์วลดความดัน (Expansion Valve)

วาล์วลดความดัน เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการไหลและความดันของสารทำความเย็น (Refrigerant Flow Controls) ก่อนที่จะเข้าคอยล์เย็น โดยเป็นการความดันของสารทำความเย็นให้ต่ำลง จนมีจุดเดือดต่ำพอให้สารทำความเย็นสามารถเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอได้ในสภาวะอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากวาล์วลดความดันในงานวิจัยเกี่ยวข้องกับการควบคุมอุณหภูมิ จึงเลือกใช้วาล์วลดความดันชนิดเทอร์โมสแตติกเอกซ์แพนชันวาล์ว (Thermostatic Expansion Valve)

วาล์วลดความดันชนิดนี้จะทำหน้าที่ควบคุมความดันและอัตราการไหลของสารทำความเย็นโดยอาศัยหลักการควบคุมอุณหภูมิของคอยล์เย็นนั้นให้คงที่อยู่เสมอ สถานะของสารทำความเย็นผ่านเข้าวาล์วลดความดันจะเป็นของเหลว 100 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่สารทำความเย็น

อยู่ภายในวาล์วลดความดัน สารทำความเย็นบางส่วนจะระเหยกลายเป็นไอเพื่อรับความร้อนบางส่วนส่งผลให้อุณหภูมิของสารทำความเย็นลดลงหรือมีค่าประมาณอุณหภูมิที่อยู่ภายในคอยล์เย็นด้วย ทั้งนี้เพื่อที่สารทำความเย็นขณะอยู่ในคอยล์เย็นจะได้มีความสามารถในการรับความร้อนจากสิ่งแวดล้อมได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ หน้าที่หลักของวาล์วความดันคือควบคุมให้สารทำความเย็นสามารถแลกเปลี่ยนความร้อนให้ได้มากที่สุด ดังนั้นสถานะของสารทำความเย็นขณะที่ออกจากคอยล์เย็นจึงเป็นไอ 100 เปอร์เซ็นต์ ถ้าระบบมีปริมาณของสารทำความเย็นน้อยเกินไป ของเหลวที่จะทำหน้าที่รับความร้อนจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอมีน้อยเกินไป ส่งผลให้ความร้อนถูกสารทำความเย็นดูดซับได้น้อย ทำให้บริเวณที่ต้องการทำความเย็นนั้นมีความเย็นน้อยลง หากสารทำความเย็นในระบบมีมากเกินไป คอมเพรสเซอร์ไม่สามารถอัดสารทำความเย็นให้ถึงจุดที่สารทำความเย็นมีจุดเดือด เมื่อสารทำความเย็นเข้าสู่คอยล์เย็นมีอุณหภูมิไม่ถึงจุดเดือด ทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอได้น้อยเองจากรับความร้อนไม่ได้มาก อากาศบริเวณโดยรอบจึงมีความเย็นน้อยลง การติดตั้งวาล์วลดความดันควรจะติดตั้งให้ใกล้กับคอยล์เย็นมากที่สุดเพื่อให้สารทำความเย็นมีการเปลี่ยนของอุณหภูมิให้น้อยที่สุดก่อนเข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนในคอยล์เย็น

4. คอยล์เย็น (Evaporator)

คอยล์เย็นเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสารทำความเย็นจากวาล์วลดความดันที่มีสถานะเป็นของเหลวความดันต่ำ อุณหภูมิต่ำ จากนั้นรับความร้อนจากอากาศในสิ่งแวดล้อมหรือบริเวณที่เราต้องการทำความเย็น เข้ามาแลกเปลี่ยนอุณหภูมิกับสารทำความเย็นที่ไหลเข้ามา โดยบริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนคือ บริเวณพื้นผิวของท่อนำสารทำความเย็นเมื่อสารทำความเย็นรับความร้อนเข้ามาแล้วจะปลี่ยนสถานะจากของเหลวความดันต่ำ อุณหภูมิต่ำกลายเป็นไอความดันต่ำ อุณหภูมิสูง โดยทั่วไปคอยล์เย็นที่นิยมใช้จะมีอยู่ 2 แบบ คือ คอยล์เย็นแบบแห้ง (Dry-Expansion Evaporator) และคอยล์เย็นแบบเปียก (Flooded Evaporator) ในงานวิจัยนี้จะใช้คอยล์เย็นอยู่ 2 แบบ คือ คอยล์เย็นแบบแห้งใช้สำหรับทดสอบเพื่อสร้างแบบจำลองกับคอยล์เย็นแบบเปียกสำหรับระบายความร้อนของสารทำความเย็น R404a

คอยล์เย็นแบบแห้ง (Dry-Expansion Evaporator) เป็นคอยล์เย็นชนิดที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับอากาศในสิ่งแวดล้อมโดยตรงมีการทำงานดังนี้ ก่อนที่สารทำความเย็นจะเข้าสู่คอยล์เย็น ส่วนหนึ่งจะมีสถานะเป็นไอและอีกส่วนหนึ่งจะมีสถานะเป็นของเหลวอุณหภูมิต่ำ เมื่อสารทำความเย็นไหลเข้าสู่คอยล์เย็นผ่านทางท่อนำสารทำความเย็น ตลอดระยะทางที่ไหลผ่านนั้นสารทำความเย็นจะรับความร้อนจากสิ่งแวดล้อมบริเวณโดยรอบคอยล์เย็นเข้ามาจนเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ความร้อนที่แลกเปลี่ยนนั้นเป็นปริมาณความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของสารทำความเย็น ดังนั้นจนกว่าที่สารทำความเย็น

จะเคลื่อนที่ออกจากคอยล์เย็นจะไม่มีอุณหภูมิที่สูงขึ้นเลยและจะเปลี่ยนกลายเป็นไอทั้งหมดก่อนที่จะเคลื่อนที่ไปยังคอมแพรสเซอร์ โดยในงานวิจัยนี้จะใช้คอยล์เย็นแบบแห้งชนิดแบบท่อครีบ (Finned-Tube Coil Evaporator) มีลักษณะเป็นท่อนำสารทำความเย็นเรียงต่อกันเป็นแถวและมีทางเข้าและทางออกจองสารทำความเย็นอยู่บริเวณด้านบน ภายในช่องทางเข้าสารทำความเย็นจะกั้นผนัง เพื่อแบ่งช่องทางเดินและบังคับทิศทางการไหลเข้าออกของสารทำความเย็น บริเวณระหว่างท่อนำสารทำความเย็นจะมีครีบระบายความร้อนติดตั้งอยู่เพื่อช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสสำหรับแลกเปลี่ยนความร้อนกับสิ่งแวดล้อม คอยล์เย็นชนิดนี้ก่อนใช้นำมาใช้งานจะต้องทดสอบรอยรั่ว ทั้งบริเวณภายในและภายนอกเนื่องจากหากมีรอยรั่วขณะทำงานอาจทำให้ระบบเกิดความเสียหายได้

คอยล์เย็นแบบเปียกนิยมใช้กันมากกับระบบการทำความเย็นแบบชิลเลอร์ (Chiller) คือภายในระบบจะเป็นวัฏจักรการไหลของน้ำร้อนกับสารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิและความดันต่ำไหลเวียนอยู่ โดยน้ำจะรับความร้อนมาจากบริเวณการทำความเย็นอีกที่หนึ่งมากลายเป็นน้ำร้อน จากนั้นน้ำร้อนจะไหลเข้าสู่ชิลเลอร์ที่บริเวณภายในจะมีสารทำความเย็นไหลเวียนอยู่ ความร้อนจากน้ำจะถูกระบายไปยังสารทำความเย็น น้ำจึงเปลี่ยนจากอุณหภูมิสูงกลายเป็นอุณหภูมิต่ำแล้วจะถูกปั๊มไปใช้งานที่บริเวณที่ต้องการทำความเย็นอื่นต่อไป ส่วนสารทำความเย็นจะถูกนำไประบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ของวัฏจักรของสารทำความเย็นต่อไป

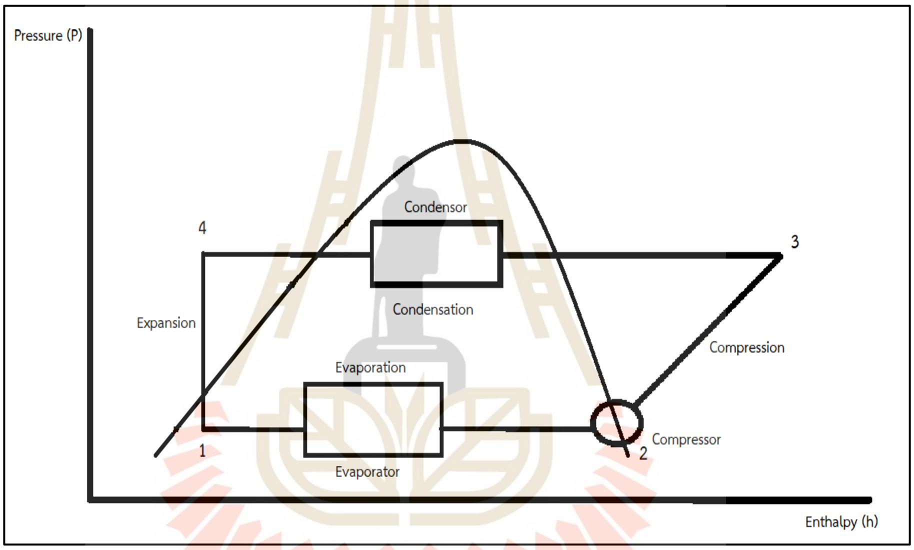
5. สารทำความเย็น (Refrigerant)

สารทำความเย็น เป็นตัวกลางที่ใช้สำหรับแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำหรืออากาศในบริเวณที่ต้องการทำความเย็น เมื่อสารทำความเย็นอยู่ในสภาวะที่มีความดันและอุณหภูมิเหมาะสม จะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอหรือจากไอกลายเป็นของเหลว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความร้อนแฝงโดยการเลือกชนิดของสารทำความเย็นคำนึงเรื่องสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีด้วยโดยเฉพาะสมบัติของความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ สารทำความเย็นที่ดีจะต้องมีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูง เนื่องจากจะส่งผลให้ปริมาณของสารทำความเย็นที่ใช้น้อยลงและลดภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์ด้วย อีกทั้งสมบัติของความร้อนจำเพาะในสภาวะเป็นของเหลวมีค่าต่ำและสภาวะเป็นไอมีค่าสูง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนขณะที่สารทำความเย็นมีสถานะเป็นของเหลวเย็นยิ่งกับไอร้อนยิ่งยวด ในงานวิจัยนี้ใช้สารทำความเย็น 2 ชนิด คือ R404a และ R134a

2.2.2 ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor Compression System)

ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอมีหลักการทำงานดังนี้ คอมเพรสเซอร์จะดูดสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นไอความดันต่ำจากคอยล์เย็นและอัดสารทำความเย็นทำให้สารทำความเย็นมีสถานะเป็นไอความดันสูงจนถึงจัดที่สารทำความเย็นพร้อมจะควบแน่นและ

เคลื่อนที่เข้าสู่คอนเดนเซอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกระบบ จนกระทั่งสารทำความเย็นมีอุณหภูมิลดลงและเปลี่ยนสถานะจากไอกลายเป็นของเหลวความดันสูง จากนั้นสารทำความเย็นจะถูกส่งต่อไปยังวาล์วลดความดัน เพื่อทำการลดความดันและควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นและส่งต่อไปยังคอยล์เย็น ซึ่งจะทำหน้าที่ในการดูดซับความร้อนบริเวณที่ที่ต้องการทำความเย็นเข้ามา ส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นจนเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ จากนั้นสารทำความเย็นจะถูกส่งต่อไปยังคอมเพรสเซอร์เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการอัดไอ โดยวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไออธิบายได้ (สมศักดิ์ สุโมตยกุล, 2559) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 P-h Diagram

เริ่มต้นที่กระบวนการจาก 2-3 เป็นกระบวนการอัดไอแบบไอเซนโทรปิค (Isentropic Compression Process) ดังนั้นจึงได้เส้นเอนทาลปีคงที่ งานที่คอมเพรสเซอร์สามารถคำนวณได้จาก

$$W_{comp} = m \times (h_3 - h_2) \quad (2.2)$$

กระบวนการจาก 3-4 เป็นกระบวนการควบแน่น (Condensing Process) เป็นการระบายความร้อนออกโดยความดันคงที่และเกิดการควบแน่นเป็นของเหลว ความร้อนที่ถูกระบายออกคือ

$$Q_{cond} = m \times (h_3 - h_4) \tag{2.3}$$

กระบวนการจาก 4-1 เป็นกระบวนการขยายตัว (Expansion Process) คือ การที่สารทำความเย็นถูกลดความดันอย่างรวดเร็ว โดยไม่มีการสูญเสียความร้อนหรือเอนทาลปีคงที่ ดังนั้น

$$h_4 = h_1 \tag{2.4}$$

กระบวนการจาก 1-2 เป็นกระบวนการกลายเป็นไอ (Vaporization Process) โดยความดันคงที่ความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอที่ถ่ายเทให้กับสารทำความเย็นในกระบวนการนี้ คือ

$$Q_{evap} = m \times (h_2 - h_1) \tag{2.5}$$

โดยที่ W_{comp} คือ งานที่ให้คอมเพรสเซอร์ (kW)
m คือ อัตราการไหลเชิงมวลของสารทำความเย็น (kg/s)
h_1 คือ เอนทาลปีก่อนเข้าคอยล์เย็น (kJ/kg)
h_2 คือ เอนทาลปีก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (kJ/kg)
h_3 คือ เอนทาลปีก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (kJ/kg)
h_4 คือ เอนทาลปีออกจากคอนเดนเซอร์ (kJ/kg)
Q_{cond} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์ (kW)
Q_{evap} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากคอยล์เย็น (kW)

ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการทดลองคอยล์เย็นในรถยนต์ โดยคอยล์เย็นมีลักษณะแผงและมีท่อโลหะเรียงตัวในลักษณะขดไปมา และมีครีบระบายความเย็น โดยมีพัดลมทำหน้าที่คอยดูดอากาศภายในห้องผู้โดยสารให้ผ่านตัวคอยล์เย็น

2.3 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

ในงานวิจัยนี้อาศัยหลักการออกแบบการทดลอง เพื่อตรวจสอบหาปัจจัย (Factor) หรือตัวแปร (Input variable) ใดที่ส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ของการทดลอง การออกแบบการทดลอง

มีจุดมุ่งหมายเพื่อยืนยันข้อเท็จจริงที่กล่าวเกี่ยวกับกระบวนการ และถึงอิทธิพลของเงื่อนไขที่มีผลต่อกระบวนการ การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดมีผลต่อกระบวนการต้องทำการเปลี่ยนแปลงปัจจัยอย่างน้อย 2 ปัจจัย แล้วจึงทำการทดลองและวิเคราะห์ผล

2.3.1 ส่วนประกอบการออกแบบการทดลอง

มีส่วนประกอบดังนี้

ทรีทเมนต์ (Treatment) คือ วิธีที่ใช้ทดลอง เพื่อวัดผลเปรียบเทียบเพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง ในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการทดสอบสมรรถนะของคอยล์เย็นรถยนต์ทั้งหมด 16 ขนาด โดยวัดค่าความสามารถในการนำทิ้งความร้อน เพื่อนำไปสร้างเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับทำนาย

หน่วยที่ใช้ในการทดลอง (Experiment Unit) เป็นมาตรฐานซึ่งใช้วัดอิทธิพลของทรีทเมนต์ อาจแปรผันได้ตามลักษณะการทดลอง ดังนั้นในการทำการทดลองแต่ละครั้งจึงต้องให้คำจำกัดความของหน่วยทดลองให้ชัดเจน ในงานวิจัยนี้ใช้หน่วยการทดลองเป็นค่าการนำทิ้งความร้อนที่คอยล์เย็นทดสอบสามารถทำได้ คือ กิโลวัตต์ (kW)

ปัจจัย (Factor) หรือตัวแปรอิสระ คือ กลุ่มของทรีทเมนต์ที่มีความเกี่ยวข้องกัน ปัจจัยนั้นอาจเป็นได้ข้อมูลเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ สามารถแบ่งออกได้เป็น

1. ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าได้ในการดำเนินการทดลอง ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่าปัจจัยที่ต้องควบคุม ได้แก่ ขนาดความกว้างและความสูงของคอยล์เย็นทดสอบ ปริมาณอากาศที่ไหลเข้าเครื่องทดสอบสมรรรถนะ อุณหภูมิของอากาศ ความชื้นของอากาศ ความดันของอากาศทางเข้าและทางออก อุณหภูมิของสารทำความเย็นของที่อยู่ในสภาวะเป็นไอร้อนยิ่งยวดและของเหลวเย็นยิ่ง

2. ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าได้ อาจเนื่องมาจากมีข้อจำกัดทางด้านเทคโนโลยีหรือปัจจัยภายนอกเข้ามารบกวน สามารถแบ่งออกได้เป็นอีก 2 ตัวแปร คือ

- ตัวแปรรบกวน (Noise Variable) หมายถึง ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) ในการทดลองแต่ไม่ใช่ตัวแปรที่กำลังทำการศึกษา ในงานวิจัยนี้ได้แก่การอ่านค่าของชุดตรวจวัดอุณหภูมิและปริมาณการไหลของอากาศ เนื่องจากค่าที่ตรวจวัดได้มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

- ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Nuisance Variable) ตัวแปรชนิดนี้เป็นตัวแปรที่ไม่ทราบมาก่อน

- ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) คือ ตัวแปรที่ถูกวัดค่าในการทดลองเรียกตัวแปรนี้ว่า “ตัวแปรตาม” เป็นตัวแปรที่แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระ

ในแต่ละการทดลอง อาจวัดค่าตัวแปรตามมากกว่า 1 ตัวแปร ดังนั้นการเลือกตัวแปรตาม ควรพิจารณาจากความว่องไว (Sensitivity) ความเชื่อถือได้ (Reliability) การแจกแจงของตัวแปรนั้น และความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ ในงานวิจัยนี้เลือกวัดค่าการนำทิ้งความร้อนที่คอยล์เย็นทดสอบสามารถทำได้ เนื่องจากใช้ผลการทดลองนี้ไปสร้างเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับทำนาย เมื่อได้ข้อมูลผลการทดลองค่าการนำทิ้งความร้อนแล้ว นำมาสร้างแผนภูมิเส้นด้วยโปรแกรม Microsoft Office Excel จากนั้นปรับเทียบฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์สร้างเป็นสมการทดลอง

2.3.2 หลักการในการออกแบบการทดลอง

การทำแบบสุ่ม (Randomization) คือ การจัดหน่วยทดลองให้แก่ทรีทเมนต์ โดยให้แต่ละหน่วยทดลองมีโอกาสที่จะได้รับทรีทเมนต์เท่า ๆ กัน ในงานวิจัยนี้ทดสอบคอยล์เย็นทดสอบทั้ง 16 กรณี ทุกกรณีจะทดสอบภายใต้ขอบเขตการทดลองทั้ง 2 ขอบเขต ทดสอบซ้ำขอบเขตละ 3 ครั้ง เพื่อให้ได้ค่าการนำทิ้งความที่จะนำมาหาเฉลี่ยเท่ากันทุกกรณีทดสอบ

การทำซ้ำ (Replication) คือ การที่ทรีทเมนต์หนึ่งกระทำต่อหน่วยทดลองมากกว่า 1 หน่วยโดยการการทำซ้ำมีจุดประสงค์คือ

การทำซ้ำทำให้สามารถประมาณค่าความคลาดเคลื่อนในการทดลองได้ ในงานวิจัยนี้แต่ละกรณีทดสอบได้ทดสอบการนำทิ้งความร้อนซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของผลการทดลอง

เพิ่มความเที่ยงตรง (Precision) ของการทดลองโดยการลดขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย เนื่องจากการทดสอบสมรรถนะของคอยล์เย็นทดสอบมุ่งเน้นไปที่สร้างแบบจำลองสำหรับการทำนายค่าการนำทิ้งความร้อนเท่านั้น จึงไม่ได้ทดสอบค่าสมรรถนะอื่นเพื่อเพิ่มความเที่ยงตรงสำหรับการสร้างแบบจำลอง

2.3.3 ขั้นตอนการทดลอง

การนิยามปัญหา (Recognition and Statement of the problem) เป็นการระบุว่าความต้องการในการผลิตคืออะไรและต้องการรู้อะไรในการผลิต ซึ่งการนิยามปัญหานี้จะเกี่ยวโยงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลอง เนื่องจากปัจจุบันวิธีการผลิตคอยล์เย็นให้สามารถทำค่าการนำทิ้งความร้อนได้ตามที่ลูกค้าต้องการนั้น ยังใช้วิธีการสุ่มขนาดสร้างคอยล์เย็นแล้วนำไปทดสอบดูสมรรถนะ ปัญหาที่เกิดขึ้นคือหากขนาดที่สุ่มขึ้นมา แล้วคอยล์เย็นสามารถทำค่าการนำทิ้งความร้อนได้ตรงที่ตามลูกค้าต้องการก็จะสามารถนำขนาดของคอยล์เย็นไปสร้างและส่งออกให้กับลูกค้าได้เลย แต่ถ้าหากการสุ่มขนาดคอยล์เย็นไม่สามารถสร้างคอยล์เย็นที่ทำค่าการนำทิ้งความร้อนได้ตามที่ลูกค้าต้องการ จะต้องทำการสุ่มขนาดแล้ว จึงนำไปทดสอบสมรรถนะใหม่ ปัญหาที่เกิดขึ้นคือ สิ้นเปลืองต้นทุนการผลิต วัสดุ และเวลา หากมีเครื่องมือที่ใช้สำหรับทำนายค่าการนำทิ้งความร้อนได้ จะลดปัญหาที่เกิดขึ้นได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้ต้องการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ที่ใช้สำหรับทำนายค่าการนำทิ้งความร้อน เพื่อใช้สำหรับทำนายขนาดของคอยล์เย็นรถยนต์ที่สามารถทำค่าการนำทิ้งความร้อนให้ได้ตามที่ลูกค้าต้องการ (สมชาย วรกิจเกษมสกุล, 2553)

การเลือกปัจจัยและระดับของปัจจัย (Choice of Factors) เป็นการใช้หลักการและทฤษฎีจากงานวิจัยต่างๆ เพื่อระบุว่าปัจจัยใดบ้างที่จะมีผลต่อการทดลองและในแต่ละปัจจัยนั้นควรมีช่วงการทดลองอย่างไร และระบุได้ว่าระดับที่ใช้เป็นแบบกำหนด แบบสุ่มหรือแบบผสม

- แบบกำหนด (Fixed Effect) ระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าที่แน่นอนได้ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้หลักการพาความร้อนที่เกิดจากอากาศเคลื่อนที่ผ่านคอยล์เย็นทดสอบ อากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะถ่ายเทความร้อนให้กับสารทำความเย็นที่ไหลผ่านอยู่ในท่อนำสารทำความเย็น การแลกเปลี่ยนความร้อนจะเกิดขึ้นที่บริเวณผิวของท่อนำสารทำความเย็น หลักการการพาความร้อนเป็นแนวทางในการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องการนำทิ้งความร้อน
- แบบสุ่ม (Random Effect) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าที่แน่นอนได้ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการกำหนดขนาดของคอยล์เย็นที่จะนำไปทดสอบมาจากข้อมูลที่ลูกค้าเคยต้องการให้ผลิต โดยกำหนดจากขนาดที่เล็กที่สุดจนถึงขนาดที่ใหญ่ที่สุด 2 ขนาด และกำหนดขนาดให้อยู่ระหว่างขนาดใหญ่และเล็กที่สุดอีก 14 ขนาด กำหนดจากขนาดความกว้าง 221, 236, 266 และ 297 มิลลิเมตร และกำหนดความสูง 205, 235, 265 และ 295 มิลลิเมตร
- แบบผสม (Mixed Effect) หมายถึง การผสมผสานระดับของปัจจัยที่เป็นแบบกำหนดและแบบสุ่ม ในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลค่าการนำทิ้งความร้อนมาสร้างเป็นแผนภูมิชนิดเส้น จากนั้นจะปรับเทียบการกระจายตัวของข้อมูลกับเส้นแนวโน้มของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เพื่อสร้างเป็นสมการทดลอง โดยการปรับเทียบจะอยู่ภายใต้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด สมการทดลองที่สร้างขึ้นจะเป็นสมการที่มีปัจจัยของทางด้านความสูงเพียงเดียว จึงยังไม่สามารถนำไปใช้ได้อย่างมีนัยทั่วไป จึงต้องนำสัมประสิทธิ์ของสมการทดลองมาสร้างแผนภูมิชนิดเส้นอีกครั้ง จากนั้นปรับเทียบกับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เพื่อสร้างเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับทำนายที่สามารถใช้ได้อย่างมีนัยทั่วไป

การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Selection of the Response Variable) ในการเลือกตัวแปรตอบสนอง จะต้องเลือกตัวแปรที่สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษา และการวัดค่านั้นจะต้องมีความแม่นยำและถูกต้องด้วย ในงานวิจัยนี้เลือกค่าการนำทิ้งความร้อนเป็นตัวแปรตอบสนองเพื่อนำไปสร้างเป็นแบบจำลอง โดยการวัดค่าการนำทิ้งความร้อนจะติดตั้งชุดตรวจวัดอุณหภูมิของอากาศเข้ากับคอยล์เย็นทดสอบ เมื่ออากาศเคลื่อนที่ผ่านคอยล์เย็นทดสอบ ชุดตรวจวัดอุณหภูมิจะแสดงผลค่าการนำทิ้งความร้อนทันที จากนั้นเก็บค่าการทดลองทุก ๆ 15 นาที เพื่อเพิ่มความแม่นยำสำหรับการตรวจวัด

การเลือกแบบการทดลอง (Choice of Experiment Design) เมื่อกำหนดทรีทเมนต์และตัวแปรตอบสนองแล้ว ต้องทำการตัดสินใจเกี่ยวกับการขนาดของการทดลอง ซึ่งหมายถึงจำนวนรอบการทำซ้ำของการทดลอง หรือข้อจำกัดในการสุ่ม ในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบสมรรถนะของคอยล์เย็นทดสอบทั้ง 2 ขอบเขตการทดลอง ในแต่ละกรณีซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาความแม่นนำไปการบันทึกค่าการนำทิ้งความร้อน จากนั้นหาค่าเฉลี่ยแล้วนำไปสร้างเป็นสมการทดลอง โดยคอยล์เย็นที่นำไปทดสอบสมรรถนะจะเป็นคอยล์ทดสอบทั้ง 16 กรณี

ดำเนินการทดลอง (Performing the Experiment) ในระหว่างการดำเนินการทดลองจะต้องศึกษาอย่างละเอียด ปฏิบัติตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้ ข้อควรระวังในขณะทำการทดลองก็คือความถูกต้องของเครื่องมือวัดและความสม่ำเสมอในการทดลอง เพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด ในงานวิจัยนี้จะมีการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบชุดเดียวกันตลอดการทดสอบ มีเพียงคอยล์เย็นที่ใช้สำหรับทดสอบสมรรถนะเท่านั้นที่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อทดสอบเสร็จแล้ว เมื่อทำการเปลี่ยนคอยล์เย็นสำหรับทดสอบตัวต่อไป จะมีการเปิดเครื่องทดสอบสมรรถนะเฉพาะวัฏจักรการไหลของอากาศเท่านั้น ในขณะที่ยังไม่เปิดการไหลเวียนของสารทำความเย็น เพื่อเป็นการทดสอบว่าระบบการทำงานของชุดทดสอบมีความผิดปกติหรือไม่

การวิเคราะห์ข้อมูล (Statistical Analysis of Data) ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้ความรู้ทางด้านสถิติมาวิเคราะห์และสรุปผล รวมทั้งตัดสินความถูกต้องของข้อมูลที่เกิดขึ้น แต่การวิเคราะห์ข้อมูลเป็นเพียงวิธีวิเคราะห์ภายใต้ความเชื่อมั่นเป็นเปอร์เซ็นต์ในการสรุปผล ในงานวิจัยนี้ใช้แผนภูมิชนิดเส้นนำเสนอข้อมูลผลการทดสอบค่าการนำทิ้งความร้อนและการปรับเทียบการกระจายข้อมูลกับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel จากนั้นตรวจสอบค่าความเคลื่อนของแบบจำลองที่สร้างขึ้น โดยเทียบกันระหว่างค่าการนำทิ้งความร้อนที่แบบจำลองสามารถทำนายได้กับสมการทดลองสามารถคำนวณได้ นำเสนอออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อน

สรุปผลและข้อเสนอแนะ (Conclusions and Recommendations) เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูล แล้วจะต้องสรุปการวิเคราะห์ อาจแสดงผลออกมาในรูปแบบของการนำเสนอต่าง ๆ และให้ข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้น ในงานวิจัยได้ระบุข้อเสนอแนะดังนี้ แบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถทำนายได้เพียงค่าการนำทิ้งความร้อนสำหรับคอยล์เย็นรถยนต์เท่านั้น หากต้องการแบบจำลองที่สามารถทำนายค่าอื่น ๆ ที่เป็นสมรรถนะของคอยล์เย็นจะต้องทำการศึกษาเพิ่มเติม แบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถทำนายได้เฉพาะกับคอยล์เย็นที่ทำการทดสอบภายใต้ขอบเขตการทดสอบที่กำหนดขึ้นสำหรับในงานวิจัยนี้เท่านั้น และแบบจำลองที่สร้างขึ้นจะใช้กับคอยล์เย็นรุ่น High Performance ที่มีขนาดอยู่ในช่วงความกว้าง 221 ถึง 297 มิลลิเมตร และความสูง 205 ถึง 295 มิลลิเมตร เท่านั้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.4 หลักการค่ากำลังสองน้อยที่สุด

หลักการค่ากำลังสองน้อยที่สุดเป็นหลักการที่ใช้สร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวแปรขึ้นไป โดยใช้เทคนิคการปรับเทียบเส้นแนวโน้มของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ให้เข้ากับการกระจายตัวของข้อมูล โดยการเลือกเส้นแนวโน้มของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์จะต้องลากผ่านชุดข้อมูลให้ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างเส้นแนวโน้มกับชุดข้อมูลมีค่าน้อยที่สุด อีกทั้งยังต้องการให้เส้นแนวโน้มสามารถคาดการณ์ความเป็นไปได้ของข้อมูลนอกช่วงการทดสอบได้อย่างสมเหตุสมผลด้วย หลักการที่ใช้ปรับเทียบฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์กับชุดข้อมูลคือหลักค่ากำลังน้อยที่สุด (Method of Least Square : MLS) มีหลักการดังนี้

2.4.1 ค่ากำลังสองน้อยที่สุดฟังก์ชันกำลัง

กำหนดให้ชุดข้อมูลของการทดสอบมี n จำนวน โดยที่ ณ ตำแหน่งจุดข้อมูล (x_i, y_i) จะมี i = 1, 2, 3, ..., n ฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดกำลังจะมีรูปแบบของสมการเป็น $y_i = a x_i^b$ โดยรูปแบบของฟังก์ชันคณิตศาสตร์นี้จะให้ค่าความเคลื่อนได้ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{n} E_i^2 = \sum_{i=1}^{n} [y_i - a x_i^b]^2 \qquad (2.6)$$

เมื่อค่า E คือ ค่าความเคลื่อนของจุดข้อมูลใด ๆ ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองที่น้อยที่สุดจะหาได้จากการกำหนดให้ $\partial E/\partial a_i$ และ $\partial E/\partial b_i$ มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อค่า i = 1, 2, 3, ..., n ดังนั้นจะได้ค่า a และ b เท่ากับ

$$a = \frac{a\sum(\ln y) - b\sum(\ln x)}{n}$$

$$b = \frac{n\sum(\ln x \ln y) - \sum(\ln x)\sum(\ln y)}{n\sum[(\ln x)^2] - (\sum \ln x)^2}$$

นำ a และ b แทนค่าลงในสมการที่ 3.6 จะได้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังน้อยที่สุดของฟังก์ชันของคณิตศาสตร์ชนิดกำลัง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.5 หลักการหาค่าการนำทิ้งความร้อน

ค่าการนำทิ้งความร้อน $R_{Removal}$ คือ ค่าความร้อนที่คอยล์เย็นสามารถแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศได้ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.7

$$Q_{Removal} = \dot{m}_{Air} \times (h_{Air,in} - h_{Air,out}) \tag{2.7}$$

เมื่อ $Q_{Removal}$ คือ ค่าความร้อนของอากาศ (kW)

$\dot{m}_{Air}$ คือ ค่าอัตราการไหลโดยมวลของอากาศ (kg/s)

$h_{Air,in}$ คือ ค่าเอนทาลปีของอากาศก่อนเคลื่อนที่ผ่านคอยล์เย็น (kJ/kg)

$h_{Air,out}$ คือ ค่าเอนทาลปีของอากาศหลังเคลื่อนที่ผ่านคอยล์เย็น (kJ/kg)

จากสมการที่ 2.7 ค่าอัตราการไหลโดยมวลของอากาศ ($\dot{m}$) สามารถคำนวณได้จาก

$$\dot{m}_{Air} = \rho AV \tag{2.8}$$

เมื่อ $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลโดยมวล (kg/s)

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

V คือ ความเร็วของอากาศ (m/s)

A คือ พื้นที่หน้าตัดทางเดินอากาศ (m^2)

ค่าความเร็วของอากาศในการทดสอบโดย Nozzle ที่ติดตั้งอยู่บริเวณทางเข้าและทางออกของอากาศ โดยNozzle จะวัดเป็นค่าความดันลดของอากาศ ดังนั้นการคำนวณความเร็วของอากาศจะคำนวณได้โดยสมการ

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2 + \rho g h_2 \tag{2.9}$$

จัดรูปสมการที่ 2.9 จะได้

$$V_2 = \sqrt{\frac{2\times\Delta P}{\rho\left[(A_1/A_2)^2+1\right]}} \tag{2.10}$$

เมื่อ ΔP คือ ความดันลดของอากาศก่อนเคลื่อนที่ผ่าน Nozzle (kPa)

V_2 คือ ความเร็วของอากาศหลังเคลื่อนที่ผ่าน Nozzle (m/s)

A_1 คือ พื้นที่หน้าตัด Nozzle บริเวณอากาศเคลื่อนที่เข้า (m^2)

A_2 คือ พื้นที่หน้าตัด Nozzle บริเวณอากาศเคลื่อนที่ออก (m^2)

จากนั้นนำ V_2 ไปแทนค่าในสมการที่ 2.8 จะสามารถหาค่าอัตราการไหลโดยมวลของอากาศได้จากสมการที่ 2.7 ค่าเอนทาลปีของอากาศสามารถคำนวณได้จาก

$$h_{air} = h_a + \omega h_v \tag{2.11}$$

เมื่อ h_{air} คือ ค่าเอนทาลปีของอากาศ (kJ/kg)

h_a คือ ค่าเอนทาลปีของอากาศแห้ง (kJ/kg)

ω คือ อัตราส่วนของความชื้น

h_v คือ ค่าเอนทาลปีของไอน้ำ (kJ/kg)

จากสมการที่ 2.11 ค่าเอนทาลปีของอากาศแห้ง (h_a) สามารถคำนวณได้จาก

$$h_a = C_p T \tag{2.12}$$

เมื่อ C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ (kJ/kg.°C)

T คือ ค่าอุณหภูมิของอากาศแห้ง (°C)

จากสมการที่ 2.11 ค่าเอนทาลปีของอากาศไอน้ำ (h_v) สามารถคำนวณได้จาก

$$h_v = 2500.9 + 1.82T \tag{2.13}$$

เมื่อ T คือ ค่าอุณหภูมิของอากาศแห้ง (°C)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากสมการที่ 2.11 ค่าอัตราส่วนความชื้น (ω) สามารถคำนวณได้จาก

$$\omega = \frac{0.622P_v}{P - P} \tag{2.14}$$

เมื่อ P_v คือ ความดันของไอน้ำ (kPa)

P คือ ความดันบรรยากาศ ≈ 100 kPa

จากสมการที่ 2.14 ค่าความดันของไอน้ำ (P_v) สามารถคำนวณได้จาก

$$P_v = \phi P_g \tag{2.15}$$

เมื่อ ϕ คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (%)

P_g คือ ความดันของไอน้ำ (kPa)

จากนั้นนำค่า h_{air} แทนค่าลงในสมการที่ 2.7 จากนั้นจะได้ค่าการนำทิ้งความร้อน

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 สหสัมพันธ์การพาความร้อนแบบบังคับ

อุทัย ประสพชิงชนะ (2553) ได้ศึกษาหาสหสัมพันธ์การพาความร้อนด้วยอากาศบนระนาบเรียบพบว่า สหสัมพันธ์ของการพาความร้อนแบบบังคับ มีความสัมพันธ์ในรูปแบบดังนี้ *อุณหภูมิที่พื้นผิวระนาบ* (T_s)

$$q = kA\frac{T_{th} - T_s}{TH} \tag{2.16}$$

$$T_s = T_{th} - q\frac{TH}{kA} \tag{2.17}$$

ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบบังคับระหว่างผิวของระนาบกับอากาศจะได้

$$Q = \overline{h}_L A(T_s - T_\infty) \tag{2.18}$$

$$\overline{h}_L = \frac{q}{A(T_s - T_\infty)} \tag{2.19}$$

เมื่อ q คือ อัตราการพาความร้อน

k คือ ค่าสภาพนำความร้อน

A คือ พื้นที่ผิว

T_∞ คือ อุณหภูมิของอากาศ

T_{th} คือ อุณหภูมิที่ได้จาก Thermocouple

T_s คือ อุณหภูมิที่แผ่นระนาบ

TH คือ ความหนาของแผ่นระนาบ

$\overline{h}_L$ คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน

2.6.2 แนวทางการสร้างแบบจำลองสหสัมพันธ์

ยอด สุขะมงคล (2554) งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการคาดเดาสมรรถนะและประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ (PV/T) โดยใช้อากาศร้อนที่ผลิตได้จากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับความร้อนทิ้งจากระบบปรับอากาศเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในห้องปรับอากาศ สมการคณิตศาสตร์ของแต่ละส่วนประกอบจะถูกพัฒนาและตรวจสอบความถูกต้องในการทำนายค่าตัวแปรต่าง ๆ โดยการเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ กับค่าที่วัดได้จากการทดลองกับระบบที่ทำการติดตั้งจริงในสภาวะแวดล้อมสภาวะภูมิอากาศ และสภาวะการทำงานเดียวกัน ผลการทดลองพบว่าแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบ PV/T สามารถผลิตอากาศร้อนที่ 53 ^{o}C ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ 23% และสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 8.16 MJ ทำให้ประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์นี้มีค่า 65% นอกจากนั้นการนำอากาศร้อนที่ผลิตได้จากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบ PV/T มาใช้ร่วมกับความร้อนทิ้งจากระบบปรับอากาศในการทำให้สารดูดความชื้นคายน้ำเพื่อนำกลับไปใช้ในการดูดความชื้นในห้องปรับอากาศได้ใหม่นั้นสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศได้ 18%

ณัทกร ทุริสุทธิ์ และคณะ (2555) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทำนายผล เครื่องอบแป้งปั๊มความร้อนแทนการทดลองจริง โดยเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนในเครื่องอบแห้งโดยใช้ข้าวเปลือก แล้วทำการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างสมรรถนะจากการทดลองจริงกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

โดยการทดลองทำการสร้างตู้อบแห้งขนาด 8×8×8 เมตร ใช้สารทำความเย็น R-22 วัดค่า COP_h เทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จากการเปรียบเทียบพบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำนายค่าคลาดเคลื่อนจากสมการทดลองประมาณ 3.6 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าให้เห็นว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์สามารถนำไปใช้ทำนายค่า COP_h ในการทดลองได้

จักรวาล บุญหวาน และคณะ (2020) ได้ศึกษาการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำนายอุณหภูมิดินเพาะกล้าไม้เบญจมาศเปรียบเทียบกับผลการทดลอง โดยทำการเพาะกล้าไม้สูง 10 เซนติเมตร เพาะลงในภาชนะบรรจุดินขนาด 1 ตารางเซนติเมตร มีแผ่นรับรังสีอาทิตย์ขนาด 55×220 เซนติเมตร ทำการวัดอุณหภูมิของดินทั้งหมด 3 ชั้น ชั้นที่หนึ่งอยู่ติดกับแผ่นให้ความร้อนด้านล่าง ดินชั้นที่สองจะสูงกว่าดินชั้นที่หนึ่ง 5 เซนติเมตร และดินชั้นที่สามสูงกว่าดินชั้นที่หนึ่ง 10 เซนติเมตร วัดอุณหภูมิจากน้ำที่ออกจากแบบรับรังสีอาทิตย์และน้ำในถึงสะสมความร้อนเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างผลการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาตร์ที่พัฒนาขึ้นพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 0.17 เปอร์เซ็นต์

วรวีร์ ปัญญาคำ และธนา ราษฎร์ภักดี (2015) ได้ศึกษาวิธีการลดการใช้พลังงานสำหรับกระบวนการผลิตของภาคอุตสาหกรรมการผลิตปุ๋ยในส่วนของกระบวนการอบใช้ท่ออบแห้งแบบหมุน โดยทำการทดลองลงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อลดค่าความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการจริง เมื่อได้ค่าควบคุมอัตราการทำงานที่เหมาะสมแล้วจึงนำค่าใช้ในกระบวนการจริง จากผลการทดลองพบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิของของแข็งมีค่าเท่ากับ 1.79 เปอร์เซ็นต์ ค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิของแก๊สร้อนมีค่าเท่ากับ 4.72 เปอร์เซ็นต์ ค่าความชื้นของของแข็งมีค่าเท่ากับ 3.54 เปอร์เซ็นต์

กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์ ณรงค์ อึ้งกิมบ้วน และสิทธิชัย รุ่งสว่าง (2562) ได้ศึกษาการอบแห้งเห็ดหอมด้วยเทคนิคสุญญาการร่วมกับอินฟราเรด โดยการอบแห้งเห็ดหอมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 4-5 เซนติเมตร อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความดันสมบูรณ์ 10, 15 และ 20 kPa เพื่อแบบจำลองทางคณิคศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้ง และสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น จากผลการทดลองพบว่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมีค่าอยู่ระหว่าง 4.003×10^{-9} ถึง 6.630×10^{-9} m^2/s โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แอมพิริคัลจากสมการของ Mildlli สามารถทำนายจลนพลศาสตร์การแอบแห้งได้ดีที่สุด โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.99689

จิราวัฒน์ วงษ์มาศจันทร์ อภิชาติ อาจนาเสียว และฉัตรชัย เบญจปิยะพร (2555) ได้ศึกษาพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับระบบการทำน้ำเย็น โดยใช้ความเย็นทิ้งจากกระบวนการอบแห้งสุญญากาศแบบสูบความร้อน เพื่อให้ใช้งานและออกแบบเครื่องอบแห้งแบบสุญญกาศให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากผลการพัฒนาแบบจำลองพบว่าแบบจำลอง

คณิตศาสตร์ได้นำมาเขียนเป็นโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ ที่เส้นผ่านศูนย์กลางของคอยล์เย็นขนาด 3/8 นิ้ว และยาว 10 เมตร สามารถให้ทำอุณหภูมิของน้ำได้ตามที่กำหนด จึงสรุปได้ว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถทำนายผลการทดลองได้จริง

จงยศ เทียนดำ (2562) ได้ศึกษาค่าความดันลดของน้ำมันเกียร์ขณะไหลครีบแลกเปลี่ยนความร้อน โดยการออกแบบตัวแปรดังนี้ ระยะห่างระหว่างครีบ ความสูง มุมเอียงของครีบระบายความร้อน อัตราการไหลและอุณหภูมิของน้ำมันเกียร์ จากนั้นใช้โปรแกรมความพิวเตอร์ช่วยคำนวณจำลองผลการทดลอง จากการทดลองพบว่า ค่าความดันลดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำมันเกียร์เพิ่มขึ้น อุณหภูมิของน้ำมันเกียร์ลดลง และอิทธิพลของระยะห่างระหว่างครีบความสูง มุมเอียงของครีบระบายความร้อนจะส่งผลต่อค่าความดันลดตามลำดับ และเมื่อนำผลการทดลองไปสร้างสหสัมพันธ์พบว่ามีความแม่นยำเฉลี่ย 94 เปอร์เซ็นต์

2.6.3 แนวทางการออกแบบชุดทดสอบวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

อานนท์ สายคำฟู และคณะ(2560) ได้ออกแบบและพัฒนาระบบปรับอากาศและระบบทำความเย็นเพื่อลดต้นทุนในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชให้มีคุณภาพที่ดี ระบบทำความเย็นที่ออกแบบนี้สามารถควบคุมได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยใช้วิธีทำความเย็นเพื่อควบแน่น (Condensing) แล้วอุ่นอากาศให้ร้อนขึ้นโดยใช้พลังงานความร้อนจากสารทำความเย็นเพื่อปรับสภาวะอากาศให้เหมาะกับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช ต้นแบบห้องเย็นเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชมีขนาด 2.2×4.0×2.2 เมตร (กว้าง×ยาว×สูง) ใช้โฟมโพลียูรีเทน (Polyurethane) หนา 50 มิลลิเมตร เป็นฉนวนห้องเย็น ระบบทำความเย็นประกอบด้วยสารทำความเย็น R-22 มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ขนาด 4 hp (380V/3Ph/50Hz) และมีความสามารถในการทำความเย็น 5.85 kW ขณะที่พัดลมคอยล์เย็นมีอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศเท่ากับ 0.6 kg/s และติดตั้งคอยล์ร้อนสำหรับลดความชื้นสัมพัทธ์ขนาด 6 kW ในการทดสอบสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็น (Coefficient of Performance, COP) จากการทดลองพบว่าสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.95 ± 0.55 °C และ 45.81 ± 0.82%RH เครื่องทำความเย็นมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็นสูงที่สุด เท่ากับ 4.02 และการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh) เฉลี่ยเท่ากับ 0.46

นิกร เนื่องอุตม์, ปิยากร จันทะนะ, สมนึก เครือสอน และณรงค์ฤทธิ์ พิมพ์คำวงศ์ (2016) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยใช้พัดลมระบายอากาศจากห้องปรับอากาศมาช่วยระบายความร้อนที่เครื่องควบแน่น โดยทำการสร้างห้องทดสอบขนาด 120×120×200 เซนติเมตร จำนวน 2 ห้อง ห้องแรกทำการติดตั้งเครื่องระเหยห้องที่สองติดตั้งเครื่องควบแน่น ติดตั้งพัดลมระบายอากาศบริเวณส่วนล่างของห้องทดสอบเพื่อต้องการให้ลมเย็นจากเครื่องระเหยมาช่วยระบายความร้อนที่ห้องที่ติดตั้งเครื่องควบแน่น

แล้วทำการทดสอบ จากนั้นนำผลการทดสอบระหว่างเปิดและปิดพัดลมระบายอากาศมาเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพพลังงานและปริมาณไฟฟ้า จากการทดสอบพบว่า จากการเปิดพัดลมระบายอากาศ ทดสอบที่ภาระการกระทำร้อยละ 0, 30, 60 และ 100 อุณหภูมิรอบเครื่องควบแน่น 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากษศเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.94 ถึง 5.92 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าลดลงร้อยละ 4.56 ถึง 12.5

มานพ พิพัฒหัตถกุล (2013) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ในการทดลองใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 35,400 BTU สารทำความเย็น R22 โดยสร้างอุปกรณ์อุ่นอากาศขนาด 28,000 BTU ให้ทำงานร่วมกับระบบปรับอากาศ สภาวะในการทดลองคือ อุณหภูมิภายนอกห้องอยู่ระหว่าง 28-30 ^{o}C ความชื้นสัมพัทธ์ 68-76%RH ทำการความคุมอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองอยู่ระหว่าง 22-27 ^{o}C ความชื้นสัมพัทธ์ 35-45%RH โดยอุปกรณ์อุ่นอากาศนำพลังงานความร้อนของสารทำความเย็นในคอนเดนเซอร์มาใช้เพื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ การทดลองแบ่งออกเป็น 2 สภาวะ คือ ระบบปรับอากาศแบบปกติ และระบบปรับอากาศปกติทำงานร่วมกับอุปกรณ์อุ่นอากาศ จากผลการทดลองพบว่า ระบบปรับอากาศแบบปกติสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการ แต่ไม่สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ได้ตามต้องการ ส่วนระบบปรับอากาศแบบปกติที่ทำงานร่วมกับอุปกรณ์อุ่นอากาศนั้นสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำความเย็น (COP) ค่า COP ของระบบปรับอากาศแบบปกติมีค่าเท่ากับ 2.67 ส่วน COP ของระบบปรับอากาศแบบปกติที่ทำงานร่วมกับอุปกรณ์อุ่นอากาศมีค่าเท่ากับ 2.57

นิรันดร์ วัชโรดม (2561) ศึกษาสัมประสิทธิ์สมรรถนะและการประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน งานวิจัยนี้ได้แสดงการออกแบบถังเก็บความร้อนที่มีน้ำเป็นของเหลวส่งผ่านความร้อนให้กับสารทำความเย็นก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์เพื่อเพิ่มอุณหภูมิและความดันส่งผลให้การทำงานของคอมเพรสเซอร์ลดลง จึงได้สร้างกล่องเก็บพลังงานความร้อนเหลือทิ้งมาให้ความร้อนโดยใช้น้ำเป็นสื่อนำความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิและแรงดันให้กับสารทำความเย็นก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์และเป็นการลดภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์ เนื่องจากความร้อนเหลือทิ้ง ที่จะไปเก็บไว้ในถังเก็บความร้อนมีอุณหภูมิไม่คงที่และอัตราการไหลของอากาศไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงใช้ ฮีทเตอร์ (Heater) เป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนร่วมกับความร้อนเหลือทิ้งที่ได้จากคอนเดนเซอร์เพื่อควบคุมให้อุณหภูมิคงที่และอัตราการไหลของอากาศสม่ำเสมอ โดยใช้น้ำเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ จากผลการทดสอบพบว่าขณะปรับอุณหภูมิในห้องที่ 25 ^{o}C ภายในห้องมีภาระโหลดเท่ากับ 4,000 W แสดงให้เห็นว่าระบบปรับอากาศใหม่มีค่า COP สูงกว่า 10% เมื่อเทียบกับระบบปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ และ 50% เมื่อเทียบกับระบบปรับอากาศแบบทั่วไปที่หากภาระการทำงานเพิ่มมากขึ้นค่า COP จะมีค่าต่ำลง

สิริสวัสดิ์ จึงเจริญนิรชร และทวีวัฒน์ สุภารส (2019) ศึกษาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพระบบปรับอากาศโดยใช้วิธีการลดอุณหภูมิของสารทำความเย็นก่อนไหลเข้าสู่คอนเดนเซอร์ด้วยการสร้างถังแลกเปลี่ยนความร้อน ทำการทดลองด้วยระบบการทำความเย็นแบบอัดไอขนาด 3.52 kW สารทำความเย็น R-22 คอนเดนเซอร์แบบระบายควาามร้อนด้วยอากาศ การทดลองแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง แบบที่ 1 ระบบทำความเย็นแบบไม่ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อน และแบบที่ 2 ระบบทำความเย็นแบบติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อน ผลการทดลองพบว่า เมื่อติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อน ส่งผลให้อุณหภูมิของสารทำความเย็นขณะไหลผ่านถึงแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง 11.03 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของสารทำความเย็นขณะออกจากคอยล์เย็นสูงขึ้น 5.63 องศาเซลเซียส ระบบทำความเย็นสามารถถ่ายเทความร้อนได้มากขึ้น 12.11 เปอร์เซ็นต์ ใช้กำลังไฟฟ้าลดลง 3.10 เปอร์เซ็นต์ ระบบทำความเย็นมีค่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 15.38 เปอร์เซ็นต์

ชญานนท์ และวุฒิชัย สิทธิวงษ์ (2563) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบสมรรถะของสัมประสิทธิ์และการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ โดยทำการทดลอง 3 กรณี คือ ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอมาตรฐาน ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอติดตั้งอุปกรณ์อิเจ๊คเตอร์ที่ทางออกของคอนเดนเซอร์ และระบบการทำความเย็นแบบอัดไอติดตั้งอุปกรณ์อิเจ๊คเตอร์ที่ทางออกของคอมเพรสเซอร์ ทดลองกับเครื่องปรับอากาศขนาด 12,000 BTU/hr สารทำความเย็นคือ R32 จากผลการทดลองพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะของกรณีที่ 1 มีค่าเท่ากับ 3.85 กรณีที่ 2 มีค่าเท่ากับ 7 กรณีที่ 3 มีค่าเท่ากับ 5.95 ผลการเปรียบเทียบของการใช้ไฟฟ้าพบว่า กรณีที่ 1 อัตราการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 1.3 kW/hr กรณีที่ 2 อัตราการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 0.956 kW/hr กรณีที่ 3 อัตราการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 0.756 kW/hr จึงสรุปได้ว่า การติดตั้งระบบการทำความเย็นแบบอัดไอทำงานร่วมกับอิเจ๊คเตอร์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพและลดอัตราการใช้ไฟฟ้าลงได้

2.6.4 วิธีการออกแบบการทดลอง

ปวีณ์สุดา ปานอำไพ และดำรง ทวีแสงสกุลไทย (2011) ได้ทำการศึกษาวิธีการแก้ไขปรับปรุงและลดของเสียที่เกิดจากความผิดพลาดในกระบวนการผลิตคอยล์สำหรับอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ใช้แนวทางการแก้ไขปัญหาแบบซิกซ์ ซิกมา DMAIC (Define-Measure-Analysis-Improve-Control) ในการวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องและผลกระทบ มีการประเมินค่าความรุนแรงและโอกาสที่จะเกิดข้อบกพร่อง จากนั้นคำนวณความเสี่ยงเพื่อเลือกสาเหตุหลักมาแก้ไข จากนั้นเปรียบเทียบข้อมูลอัตราการเกิดของเสีย พบว่าจากการใช้แนวทางการดำเนินงานของซิกซ์ ซิกมา DMAIC สามารถลดของเสียได้จาก 0.216 เปอร์เซ็นต์ลดลงเหลือ 0.107 เปอร์เซ็น ลดลง 50.46 เปอร์เซ็นต์

บุญชัย แซ่สิ้ว และณัฐธยานน์ โสกุล (2559) ได้ศึกษาวิธีการลดของเสียจากกระบวนการบรรจุที่เกิดจากอาการซองรั่ว โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง 2^k factorial ในการออกแบบ แล้วทำกาวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 4 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบ อุณหภูมิ แรงกด และเวลาสำหรับการซีล ทำการทดลองในแต่ละปัจจัยซ้ำ 3 ครั้ง มีกรณีทดลองทั้งสิ้น 48 กรณี จากผลการทดลองพบว่า ปัจจัยสำหรับการปรับตั้งเครื่องจักรมีดังนี้ ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 157 องศาเซลเซียส แรงกด 6 บาร์ เวลาในการซีล 0.5 วินาที ส่งผลให้มูลค่าของเสียลดลงได้ 30.29 เปอร์เซ็นต์

ปฐมพงษ์ หอมศรี และจักรพรรณ คงธนะ (2560) ได้ศึกษาวิธีการลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากกการผลิตสำหรับงานฉีดพลาสติกแบบ Injection Molding โดยนำหลักการทางสถิติมาใช้ในการค้นหาปัญหา วิเคราะห์สาเหตุและปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลถึงกระทบถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ วิธีการค้นหาปัญญาคือใช้แผนภาพและปัญญาที่พบคือของเสียมีขนาดโตกว่ากำหนด โดยสาเหตุของปัญญามาจากปัจจัย 3 อันดับแรกคือ แรงดันย้ำ อุณหภูมิของแม่พิมพ์และรอบการทำงาน จากนั้นนำปัญหามาแก้ไขด้วยการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยด้วยการออกแบบ 2k factorial จากผลการทดลองพบว่าปัจจัยทั้งสามมีผลต่อขนาดของชิ้นงานแบบ Main Effect จากนั้นดำเนินการแก้ไขปัญหาเรื่องของเสียประเภทขนาดไม่ได้มาตรฐาน (มีขนาดโตกว่ากำหนด) พบว่าสามารถลดปริมาณของเสียได้จากเดิม 39.05 เปอร์เซ็นต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ความต้องการของลูกค้า คือ ขนาดของคอยล์เย็นที่สามารถทำความเย็นได้ตามที่ต้องการ ปัจจัยในการทำความเย็นคือ ค่าการนำทิ้งความร้อน (Heat Removal) ที่คอยล์เย็นสามารถทำได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของคอยล์เย็ ปัญหาที่พบคือ ไม่สามารถคาดเดาขนาดของคอยล์เย็นที่มีสมรรถนะทำความเย็นได้ตามค่าการนำทิ้งความร้อนที่ต้องการ วิธีที่ใช้ในปัจจุบันยังเป็นการคาดเดาขนาดแบบสุ่มแล้วจึงทำการทดสอบสมรรถนะ หากขนาดของคอยล์เย็นที่สุ่มขึ้นสามารถสร้างค่าการนำทิ้งความร้อนได้ตามที่ต้องการก็จะสามารถนำเข้าสู่กระบวนการผลิตได้ แต่หากขนาดของคอยล์เย็นที่สุ่มขึ้นไม่สามารถสร้างค่าการนำทิ้งความร้อนได้ตามที่ต้องการ จะต้องทำการสุ่มขนาดของคอยล์เย็นใหม่ และนำไปทำการทดสอบวนซ้ำ ซึ่งก่อให้การเกิดสิ้นเปลืองการใช้วัสดุ เวลาและงบประมาณขาดดุล งานวิจัยนี้จึงสร้างแบบจำลองสหสัมพันธ์เพื่อทำนายขนาดของคอยล์เย็นรถยนต์โดยใช้วิธีการทดสอบสมรรถนะการทำความเย็นของคอยล์เย็นรถยนต์ 16 ขนาด แล้วนำผลการทดสอบไปสร้างสมการทำนายขนาดของคอยล์เย็นที่มีสมรรถนะทำความเย็นตามที่ลูกค้าต้องการ

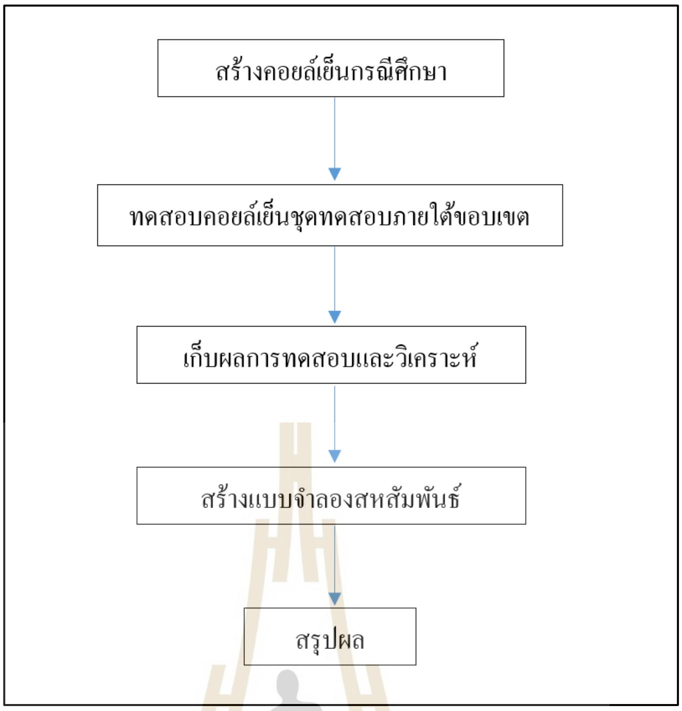
3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยเป็นการทดสอบสมรรถนะคอยล์เย็นรถยนต์โดยการสร้างคอยล์เย็นชุดทดสอบทั้งหมด 16 กรณีศึกษา ทดสอบสมรรถนะภายใต้ขอบเขตด้วยเครื่องทดสอบของ บริษัท แอร์ อินเตอร์เนชั่นแนล เทอร์มอล ซิสเต็มส์ (ประเทศไทย) จำกัด นำผลการทดสอบที่ได้มาสร้างแผนภูมิชนิดเส้นด้วยโปรแกรม Microsoft 365 Business Standard : Excel สร้างสมการแบบจำลองสหสัมพันธ์จากความเป็นธรรมชาติของข้อมูลการทดสอบแล้วจึงทำการปรับเทียบความสัมพันธ์ของความเป็นธรรมชาติของข้อมูลกับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่อยู่ภายใต้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด (R Least Square Method Definition) จากนั้นเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของสมการแบบจำลองสหสัมพันธ์กับสมการที่ได้จากการทดลองภายใต้การกำหนดความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10%

3.2 แผนผังการดำเนินงานวิจัย

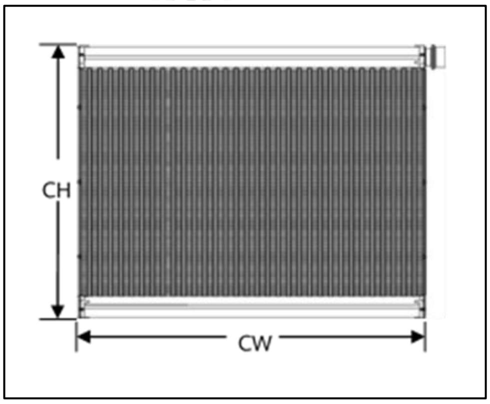
ในการดำเนินงานวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้สามารถแสดงขั้นตอนเป็นแผงผังการดำเนินงานวิจัยดังรูปที่ 3.1

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย

คอยล์เย็นทดสอบแบ่งเป็นกรณีทดสอบด้านความกว้าง 4 กรณีศึกษา และ กรณีทดสอบด้านความสูงอีก 4 กรณีศึกษา รวมเป็น $4 \times 4 = 16$ กรณี ดังรูปที่ 3.2
กรณีทดสอบ ดังตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการทดสอบ มี 2 เงื่อนไขดังตารางที่ 3.2 จึงมีกรณีทดสอบที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขทั้งหมด $16 \times 2 = 32$ กรณี ในแต่ละกรณีศึกษาจะทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง รวมเป็นกรณีที่ต้องทดสอบทั้งสิ้น $32 \times 3 = 96$ ครั้ง ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 คอยล์เย็นทดสอบ

3.3 ขอบเขตการทดสอบ

คอยล์เย็นที่ใช้ทดสอบเป็นคอยล์เย็นอะลูมิเนียม (Microchannel Heat Exchangers : MCHE) มีส่วนประกอบเป็นท่ออลูมิเนียมทำหน้าที่เป็นท่อทางเดินสารทำความเย็น มีลักษณะแบน ความกว้าง 17 มิลลิเมตร ความสูง 2.6 มิลลิเมตร ความยาวขึ้นอยู่กับขนาดความสูงของคอยล์เย็นที่ใช้ทดสอบในแต่ละขนาด ภายในท่ออลูมิเนียมมีช่องว่างเล็กๆ หลายช่องอยู่ภายใน มีครีบระบายความร้อนอลูมิเนียมติดตั้งอยู่บริเวณด้านข้างของท่ออลูมิเนียมมีระยะห่างระหว่าง 1.3 มิลลิเมตร และมีท่อทางเข้า-ออกของสารทำความเย็นประกอบอยู่บริเวณปลายทั้งสองด้านของท่ออลูมิเนียม ขนาดของคอยล์เย็นที่ใช้ในการทดสอบมีค่าดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ขนาดของคอยล์เย็นที่ใช้ทำการทดสอบสมรรถนะทั้ง 16 กรณีทดสอบ

ความกว้าง (มิลลิเมตร)	ความสูง (มิลลิเมตร)
221	205
221	235
221	265
221	295
236	205
236	235
236	265
236	295
266	205
266	235
266	265
266	295
297	205
297	235
297	265
297	295

เงื่อนไขที่ใช้สำหรับการทดสอบกำหนดใช้ทั้งหมด 2 ขอบเขต สำหรับขอบเขตการทดสอบที่ 1 เป็นมาตรฐาน ISO (International Organization for Standardization) สำหรับขอบเขตการทดสอบที่ 2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

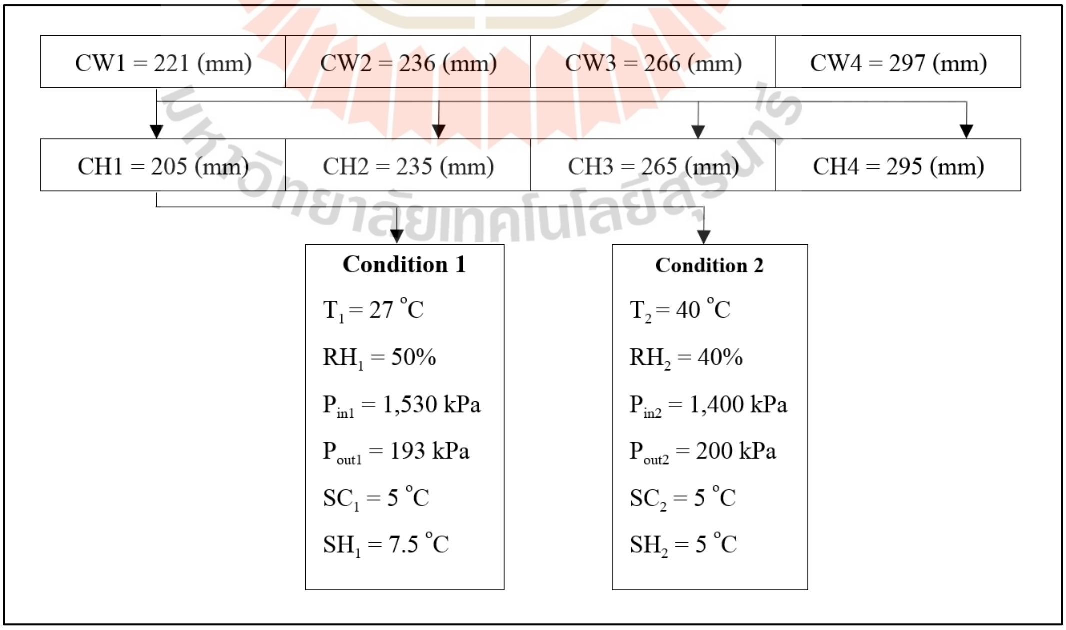
เป็นมาตรฐาน SASO (Saudi Standards, Metrology and Quality Organization) โดยกำหนดขอบเขตการทดสอบทั้ง 2 มาตรฐานดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขขอบเขตการทดสอบทั้ง 2 เงื่อนไข

Boundary	**Condition 1**	**Condition 2**
Airflow (CMH)	400	400
Humidity (%)	50	40
Air Temperature (^{o}C)	27	40
P_{in} (kPa)	1530	1400
P_{out} (kPa)	193	200
Sub Cool Temperature (^{o}C)	5	5
Super Heat Temperature (^{o}C)	7.5	5

3.4 แผนผังและวิธีการทดสอบ

การทดสอบค่าการนำทิ้งความร้อนของคอยล์เย็นจะทดสอบภายใต้ขอบเขตการทดสอบ 2 เงื่อนไข ดังนี้



รูปที่ 3.3 การออกแบบการทดลอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1. ปริมาณลม 400 CMH ความชื้นสัมพัทธ์ (RH_1) 50% อุณหภูมิอากาศ (T_1) 27 °C ความดันทางเข้า (Pin_1) 1,530 kPa ความดันทางออก ($Pout_1$) 193 kPa อุณหภูมิของเหลวเย็นยิ่ง (SC_1) 5 °C อุณหภูมิไอร้อนยิ่งยวด (SH_1) 7.5 °C

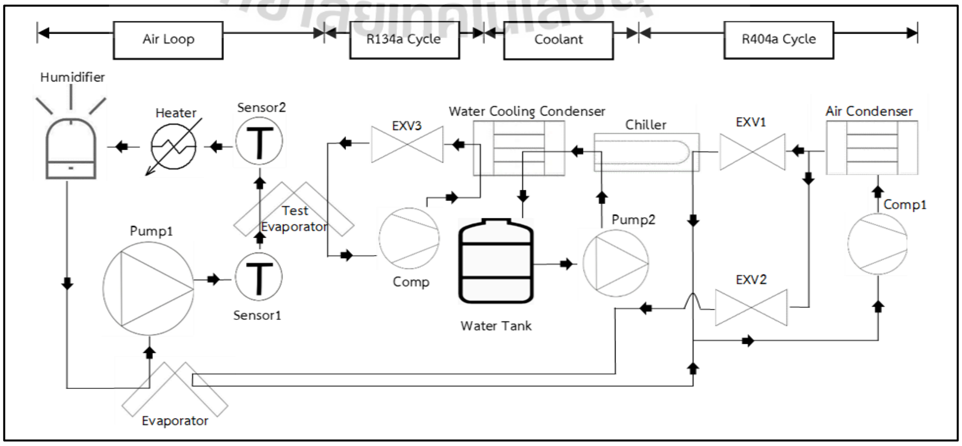
2. ปริมาณลม 400 CMH ความชื้นสัมพัทธ์ (RH_2) 40% อุณหภูมิอากาศ (T_2) 40 °C ความดันทางเข้า (Pin_2) 1,400 kPa ความดันทางออก ($Pout_2$) 200 kPa อุณหภูมิของเหลวเย็นยิ่ง (SC_2) 5 °C อุณหภูมิไอร้อนยิ่งยวด (SH_2) 5 °C เมื่อแจกแจงทำให้ได้กรณีทดสอบทั้งสิ้น 16 กรณี ดังรูปที่ 3.3

3.5 อุปกรณ์การทดลอง

การทดสอบใช้อุปกรณ์ทำความเย็นแบบอัดไอของสารทำความเย็น R404a และ R134a ชุดระบายความร้อนแบบน้ำและชุดควบคุมการไหลของอากาศ ประกอบด้วย คอมเพรสเซอร์ วาล์วลดความดันแบบอิเล็คทรอนิคส์ คอยล์เย็นของอากาศและใช้สำหรับทดสอบ คอยล์ร้อน ชิลเลอร์ คอยล์ร้อนชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (WCC : Water-cooled condenser) ถังน้ำ อุปกรณ์ควบคุมความชื้น (Humidifier) ปั๊มน้ำและปั๊มอากาศ กลุ่มอุปกรณ์ตรวจวัด ได้แก่ อุปกรณ์วัดอัตราการไหลโดยมวลของอากาศ (Nozzle) เทอร์โมคัปเปิ้ล (Thermocouple) สำหรับวัดอุณหภูมิของอากาศ อุปกรณ์วัดความชื้นของอากาศ (Humidity sensor) เครื่องทำความร้อน (Heater) อุปกรณ์วัดอุณหภูมิของสารทำความเย็น (RTD Sensor) อุปกรณ์วัดความดันของสารทำความเย็น (Resistance Temperature Detectors : RTD Sensor)

3.6 การทำงานชุดทดสอบสมรรถนะของคอยล์เย็น

การทำงานชุดทดสอบประกอบด้วยระบบการทำงานทั้งหมด 4 วัฏจักร ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ชุดทดสอบสมรรถนะคอยล์เย็น

การทำงานของชุดสอบค่าการนำทิ้งความร้อนแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่เป็นระบบการไหลของอากาศผ่านคอยเย็นทดสอบ ระบบส่วนนี้จะเป็นการทดสอบค่าความสามารถในการนำทิ้งความร้อนของคอยล์เย็นทดสอบ โดยจะติดตั้งตัววัดอุณหภูมิและความเร็วของอากาศ 2 ตำแหน่ง คือบริเวณก่อน-หลังอากาศเคลื่อนที่ผ่านคอยล์เย็นทดสอบ ซึ่งอากาศก่อนที่ผ่านคอยล์เย็น (ตำแหน่งsensor 1) นั้น จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิของอากาศที่ไหลผ่านคอยล์เย็น (ตำแหน่ง sensor 2) แล้ว จากนั้นอากาศจะถูกนำไปอุ่นที่เครื่องทำความร้อน (Heater) เพื่อให้อุณหภูมิของอากาศกลับมาสูงขึ้นและถูกส่งต่อไปเพิ่มความชื้น เนื่องจากขณะที่อากาศแคลื่อนที่ผ่านคอยล์เย็นทดสอบอากาศจะสูญเสียความชื้นไปด้วย ดังนั้นอากาศต้องถูกปรับค่าความชื้นที่อุปกรณ์ควบคุมความชื้น (Humidifier) ด้วย จากนั้นอากาศถูกนำไปปรับค่าอุณหภูมิให้เป็นตามที่ขอบเขตการทดสอบกำหนดที่คอยล์เย็นของอากาศ (Evaporator) ที่ใช้สารทำความเย็นจากวัฏจักรการทำความเย็นของสารทำความเย็น R404a หลังจากที่อากาศถูกปรับอุณหภูมิแล้ว จะถูกปั๊ม (Pump 1) อัดอากาศผ่านไปยังคอยล์เย็นทดสอบอีกครั้งด้วยความเร็วอากาศตามที่ขอบเขตการทดสอบกำหนด อีกส่วนของการทดสอบค่าการนำทิ้งความร้อนคือ ระบบของสารทำความเย็นที่ไหลผ่านภายในคอยล์เย็นทดสอบ ซึ่งถูกแบ่งย่อยออกเป็นอีก 3 วัฏจักร ได้แก่ วัฏจักรแรกสารทำความเย็น R134a เคลื่อนที่อยู่ภายในคอยล์เย็นทดสอบมีหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านคอยล์เย็นทดสอบ เริ่มจากสารทำความเย็น R134a รับความร้อนจากอากาศไหลผ่านคอยล์เย็นแล้วเคลื่อนที่ไปยังคอมเพลสเซอร์(Comp 1) ทำหน้าที่ในการอัดสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นไอ ก่อให้เกิดความดันสูงให้เคลื่อนที่ไปยังคอนเดนเซอร์ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (WCC) เพื่อทำการระบายความร้อน สารทำความเย็นจะเปลี่ยนสถานะจากไอกลายเป็นของเหลวอุณหภูมิต่ำ จากนั้นถูกส่งไปลดความดันที่วาล์วลดความดัน(EXV3) แล้วจึงไปรับความร้อนที่คอยล์เย็นทดสอบอีกครั้ง โดยความร้อนที่รับมาจากคอยล์เย็นทดสอบจะถูกส่งไปยังวัฏจักรการระบายความร้อนด้วยน้ำที่คอนเดนเซอร์ WCC ส่งความร้อนจากสารทำความเย็น R134a มายังน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านคอนเดนเซอร์ WCC น้ำเคลื่อนที่มาพักที่ถังเก็บน้ำ (Tank) จากนั้นจะถูกปั๊ม (Pump 2) ปั๊มน้ำไประบายความร้อนที่ชิลเลอร์ (Chiller) ภายในชิลเลอร์จะมีสารทำความเย็น R404a ไหลผ่าน โดยจะทำหน้าที่รับความร้อนจากน้ำเพื่อให้อุณหภูมิของน้ำลดลงเพื่อกลับไปรับความร้อนที่คอนเดนเซอร์ WCC อีกครั้งเป็นวัฏจักรต่อไป สารทำความเย็น R404a รับความร้อนจากน้ำที่คอนเดอนเซอร์ WCC อีกทั้งยังรับความร้อนของอากาศจากคอนเดนเซอร์อากาศที่ระบบการไหลของอากาศด้วย จากนั้นสารทำความเย็น R404a ที่มีสถานะเป็นไอจะถูกคอมเพรสเซอร์ (Comp 1) อัดไอส่งไประบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Condenser) สถานะของสารทำความเย็น R404a จะเปลี่ยนจากไอกลายเป็นของเหลวที่มีอุณหภูมิต่ำ จากนั้นจะเคลื่อนที่แยกออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเคลื่อนที่ผ่านวาล์วลดความดันตัวที่ 1 (EXV 1) เพื่อปรับ

ความดันและเคลื่อนที่ไปรับความร้อนจากน้ำที่ชิลเลอร์ ส่วนที่สองจะเคลื่อนที่ไปรับความร้อนที่เป็นคอยล์เย็นที่ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของอากาศที่ระบบการไหลของกาศแล้วจึงเคลื่อนที่กลับมายังคอมเพรสเซอร์เหมือนเดิม การทำงานของชุดทดสอบจะทำงานหมุนเวียนเป็นวัฏจักรเช่นนี้

จากนั้นนำคอยล์เย็นชุดทดสอบไปทำการทดสอบรอยรั่ว โดยวิธีการทดสอบรอยรั่วมีดังนี้

1. Helium Test คือ การทดสอบรั่วภายนอก โดยทำให้ภายในห้องเครื่องวัดเป็นสุญญากาศ จากนั้นทำการอัดก๊าซไนโตรเจน 20 bar เข้าไปภายในคอยล์เย็นเพื่อขับไล่ก๊าซออกซิเจนออกไป จากนั้นอัดก๊าซฮีเลียม เข้าไปเพื่อตรวจสอบหาจุดรั่วซึม หากภายในห้องเครื่องวัดมีก๊าซฮีเลียมรั่วซึมออกมา จะเกิดการแจ้งเตือนของเครื่องวัด หมายความว่าคอยล์เย็นมีจุดรั่วซึม

2. Surface Treatment คือ การเคลือบสารไฮโดรฟิลลิก (Hydrophilic) บริเวณผิวภายนอกของคอยล์เย็น

3. Dry Off Oven คือ การอบแห้งชิ้นงานหลังการเคลือบสารไฮโดรฟิลลิก

4. Internal Leak Test (ILT) คือ การทดสอบรั่วภายใน โดยทำการอัดก๊าซไนโตรเจน 20 bar เข้าไปในคอยล์เย็น แบบเดียวกับการทดสอบภายนอก จากนั้นอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5 bar เข้าไป จากนั้นจับเวลาตั้งแต่เริ่มทำการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไป จนถึงเวลาที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกที่บริเวณทางออก ว่าอยู่ในช่วงระยะเวลาที่กำหนดหรือไม่ โดยคอยล์เย็นแต่ละขนาดจะมีช่วงระยะเวลาที่กำหนดไม่เท่ากัน

3.7 ขั้นตอนการวัดค่าและการเก็บข้อมูล

1) ติดตั้งคอยล์เย็นทดสอบเข้ากับท่อทางเดินสารทำความเย็น R134a โดยตำแหน่งที่ติดตั้งอยู่บริเวณระหว่างทางเดินลม

2) ตั้งค่าขอบเขตการทดสอบที่ 1 ลงในโปรแกรมทดสอบ

3) เปิดวงจรการทำงานของวัฏจักรของการไหลของอากาศเป็นเวลา 10 นาที

4) เปิดวงจรการทำงานของวัฏจักรของสารทำความเย็น ผลการทดสอบที่โปรแกรมทดสอบจะแสดงเป็นแผนภูมิชนิดเส้น รอจนกว่าผลการทดสอบจะคงที่แล้วจึงทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 10 นาที ทำการทดสอบซ้ำ 3 รอบ แล้วหาค่าเฉลี่ย

5) เปลี่ยนค่าขอบเขตการทดสอบเป็นเงื่อนไขที่ 2 โดยที่ไม่หยุดการทำงานของชุดทดสอบแล้วแบบเดียวกับขั้นตอนที่ 4)

6) หยุดการทำงานของชุดทดสอบ เปลี่ยนขนาดของคอยล์เย็นทดสอบและเริ่มต้นขั้นตอนที่ 1

7) นำข้อมูลผลการทดสอบทั้ง 2 เงื่อนไขการทดสอบ มาสร้างกราฟระหว่างค่าการนำทิ้งความร้อนกับความสูงของคอยล์เย็นทดสอบ ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel

8) ใช้โปรแกรม Microsoft Excel สร้างเส้นแนวโน้มและสมการทดลอง จากนั้นทำการปรับเทียบระหว่างเส้นแนวโน้มกับฟังก์ชันของคณิตศาสตร์โดยอยู่ภายใต้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด

9) นำค่าสัมประสิทธิ์ของสมการทดลองมาสร้างแผนภูมิชนิดเส้นระหว่างสัมประสิทธิ์กับค่าความกว้างของคอยล์เย็นทดสอบด้วยโปรแกรม Microsoft Excel จากนั้นทำซ้ำในขั้นตอนที่ 8 เป็นสมการสัมประสิทธิ์

10) นำสมการสัมประสิทธิ์มาสร้างเป็นสมการทำนายค่าการนำทิ้งความร้อน โดยการจัดรูปสมการประสิทธิ์ให้อยู่ในฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เดียวกันกับสมการทดสอบ

11) นำสมการทดลองและสมการทำนายมาแทนค่าขนาดของคอยล์เย็นทดสอบทั้ง 16 กรณี แล้วทำการเปรียบเทียบค่า

3.8 พารามิเตอร์ที่ได้จากการเก็บข้อมูล

ในการเก็บค่าพารามิเตอร์จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 คือ พารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดค่าจากอุปกรณ์ ได้แก่

1) Product Air Drop คือ ค่าความดันลดของอากาศ วัดโดยอุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการไหล (Nozzle) ใช้สำหรับคำนวณค่าการนำทิ้งความร้อนมีหน่วยเป็นปาสคาล (Pa)

2) Air Inlet/Outlet Temp avg. คือ ค่าอุณหภูมิของอากาศ ขณะก่อนและหลังเคลื่อนที่ผ่านคอยล์เย็นทดสอบ วัดโดยอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิ้ล (Thermocouple) ใช้เป็นปัจจัยในการหาค่าเอนทาลปีอากาศ มีหน่วยเป็นองศาสเซลเซียส (^{o}C)

3) Air inlet/Outlet Humidity คือค่าความชื้นของอากาศ ขณะก่อนและหลังเคลื่อนที่ผ่านคอยล์เย็นทดสอบ วัดโดยอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นของอากาศ (Humidity Sensor) ใช้เป็นปัจจัยในการหาค่าเอาทาลปีของอากาศ มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็น (%)

4) Evaporator In/Out Temp คือค่าอุณหภูมิของสารทำความเย็น ขณะก่อนและเย็นหลังเคลื่อนที่ผ่านคอยล์เย็น วัดโดยอุปกรณ์วัดอุณหภูมิของสารทำความเย็น (Resistance Temperature Detectors Sensor : RTD Sensor)

5) Evaporator In/Out Pressure คือค่าความดันของสารทำความเย็น ขณะก่อนและเย็นหลังเคลื่อนที่ผ่านคอยล์เย็น วัดโดยอุปกรณ์วัดความดันของสารทำความเย็น (Pressure Transmitter Sensor)

ส่วนที่ 2 คือ พารามิเตอร์ที่ได้จากโปรแกรมทดสอบคำนวณจากพารามิเตอร์ที่ทำการวัดและคำนวณโดยโปรแกรมทดสอบ ได้แก่

6) Air Mass Flow คือ ค่าอัตราการไหลโดยมวลของอากาศที่ได้จากวัดค่าความดันลดการและคำนวณด้วยสมการที่ 2.8 มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อนาที (kg/min)

7) Air inlet/Outlet Enthalpy คือ ค่าเอนทาลปีของอากาศที่ได้จากการวัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ และคำนวณของสมการที่ 2.11 มีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อกิโลกรัม (kJ/kg)

8) Air Capacity คือ ค่าการนำทิ้งความร้อน (Heat Removal) ได้จากการคำนวณโดยใช้ปัจจัยของค่าเอนทาลปีของอากาศกับปัจจัยของอัตราการไหลโดยมวลอากาศดังสมการที่ 2.7 มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

3.9 การสร้างและใช้งานแบบจำลองสหสัมพันธ์

การสร้างแบบจำลองสหสัมพันธ์จะใช้ข้อมูลผลการทดสอบ มาสร้างเป็นสมการทดลอง โดยจะใช้โปรแกรม Microsoft Office : Excel ในการสร้างแผนภูมิชนิดเส้นโดยใช้ค่าการนำทิ้งความร้อนเทียบกับขนาดความสูงของคอยล์เย็นทดสอบ เพื่อดูแนวโน้มของการกระจายตัวของข้อมูลผลการทดสอบ จากนั้นใช้เส้นแนวโน้มของข้อมูลปรับเทียบกับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ให้มีความสอดคล้องกันมากที่สุด โดยใช้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด(Method of Least Squares : MLS) เมื่อได้ฟังก์ชันคณิตศาสตร์มาเป็นสมการทดลองแล้ว สมการที่ได้ยังขาดปัจจัยด้านความกว้างของคอยล์เย็น เนื่องจากขณะที่ทำการทดสอบได้กำหนดขนาดด้านความกว้างให้คงที่ แล้วทำการเปลี่ยนค่าความสูงของคอยล์เย็น ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องสร้างสมการที่มีปัจจัยด้านความกว้างด้วย โดยนำสัมประสิทธิ์ของสมการทดลองมาสร้างเป็นแผนภูมิชนิดเส้นโดยเทียบกับขนาดความกว้างของคอยล์เย็นทดสอบ จากนั้นปรับเทียบกับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ภายใต้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด แล้วนำสมการที่ได้มากลับไปจัดรูปให้อยู่ในฟังก์ชันคณิตศาสตร์ของสมการทดลอง ทั้งนี้จะได้สมการคณิตศาสตร์ที่มีส่วนประกอบของปัจจัยด้านความสูงและความกว้างของคอยล์เย็นทดสอบ กลายเป็นแบบจำลองสหสัมพันธ์ที่ใช้สำหรับทำนายค่าการนำทิ้งความร้อนจากขนาดของคอยล์เย็นรถยนต์ จากนั้นนำแบบจำลองสหสัมพันธ์ที่ได้มาตรวจสอบความคลาดเคลื่อน โดยเทียบค่าการนำทิ้งความร้อนระหว่างสมการทดลองกับแบบจำลองสหสัมพันธ์ที่สร้างขึ้นจากทั้ง 2 ขอบเขตการทดสอบ

บทที่ 4
ผลการดำเนินการวิจัย

จากการทดสอบค่าการนำทิ้งความร้อนของคอยล์เย็นทดสอบทั้งหมด 32 กรณี ในแต่ละกรณีทำการทดสอบซ้ำอีก 3 รอบ ได้ผลการทดสอบทั้ง 96 ชุดข้อมูล จากนั้นนำข้อมูลผลการทดสอบในแต่ละกรณีมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่าการนำทิ้งความร้อนของคอยล์เย็นทดสอบในแต่ละขนาด ค่าผลการทดสอบที่ได้ ถูกนำมาสร้างเป็นแผนภูมิชนิดเส้นเพื่อปรับเทียบแนวโน้มของการกระจายตัวของข้อมูลผลการทดสอบกับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นสมการจากผลการทดลอง

จากสมการทดลองสำหรับการทำนายค่าความการทิ้งความร้อนนั้น มีเพียงปัจจัยด้านความสูงของคอยล์เย็นที่เป็นส่วนประกอบเท่านั้น นอกจากปัจจัยที่เกี่ยวข้อง คือ ขนาดความสูงของคอยล์เย็นแล้ว ยังมีขนาดความกว้างของคอยล์เย็นอีกด้วย ดังนั้นการทดลองที่ได้มาต้องนำสัมประสิทธิ์ของสมการมาสร้างเป็นแผนภูมิชนิดเส้นเทียบกับขนาดความกว้างของคอยล์เย็นและทำการปรับเทียบกับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์อีกครั้ง จากนั้นนำสมการสัมประสิทธิ์มาจัดรูปให้อยู่ในรูปแบบของสมการทดลอง สมการที่ได้จากการจัดรูปจะถูกนำไปใช้เป็นแบบจำลองคณิตศาสาตร์อัตราการนำทิ้งความร้อน โดยผลการทดสอบสมรรถนะของคอยล์เย็นมีดังนี้

4.1 ผลการทดสอบค่าการนำทิ้งความร้อนจากคอยล์เย็นทดสอบ

ผลการทดสอบจะถูกแบ่งผลการทดสอบออกเป็น 2 กรณี โดยแบ่งตามขอบเขตการทดสอบดังนี้

4.1.1 ผลการทดสอบค่าการนำทิ้งความร้อนภายใต้ขอบเขตการทดสอบที่ 1

การทดสอบค่าการนำทิ้งความร้อนภายใต้ขอบเขตการทดสอบที่ 1 ปริมาณลม 400 CMH ความชื้นสัมพัทธ์ (RH_1) 50% อุณหภูมิอากาศ (T_1) 27 ^{o}C ความดันทางเข้า (P_{in1}) 1,530 kPa ความดันทางออก (P_{out1}) 193 kPa อุณหภูมิของเหลวเย็นยิ่ง (SC_1) 5 ^{o}C อุณหภูมิไอร้อนยิ่งยวด (SH_1) 7.5 ^{o}C ผลการทดสอบได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองค่าการนำทิ้งความร้อนของขอบเขตการทดสอบที่ 1

CW × CH (mm)	**Heat Removal Condition 1 (kW)**
221 ×205	4.202
221 ×235	4.236
221 ×265	4.577
221 ×295	4.741
236 × 205	4.350
236 × 235	4.454
236 × 265	4.805
236 × 295	4.927
266 × 205	4.473
266 × 235	4.712
266 × 265	5.047
266 × 295	5.124
297 × 205	4.579
297 × 235	4.975
297 × 265	5.140
297 × 295	5.371

จากตารางที่ 4.1 พบว่า ที่ขนาดความกว้างคอยล์เย็นใด ๆ แล้วมีการเปลี่ยนแปลงของขนาดความสูงของคอยล์เย็น เมื่อคอยล์เย็นมีขนาดความสูงมากขึ้น ค่าการนำทิ้งความร้อนจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย ทั้งนี้เป็นเพราะพื้นที่ที่คอยล์เย็นใช้สำหรับแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มมากขึ้น

พิจารณาค่าการนำทิ้งความร้อนที่ขนาดความกว้างของคอยล์เย็น ณ ช่วงใด ๆ เมื่อค่าความสูงของคอยล์เย็นเพิ่มขึ้นจาก 205 มิลลิเมตร เป็น 235 มิลลิเมตร ค่าการนำทิ้งความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นและมีการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งความสูงของคอยล์เย็นมีค่าสูงสุงที่ 295 มิลลิเมตร ค่าการนำทิ้งความร้อนจะมีค่ามากที่สุด

เมื่อค่าความกว้างของคอยล์เย็นมีการเปลี่ยนแปลงค่าจาก 211 มิลลิเมตร เป็น 236 มิลลิเมตร และค่าความสูงของคอยล์เย็นวนกลับมาที่ค่า 205 มิลลิเมตร ค่าการนำทิ้งความร้อนจะมีค่าลดลงอีกครั้ง เนื่องจากความสูงของคอยล์เย็นลดลง แต่จะมีค่าการนำทิ้งความร้อนมากกว่า ณ ตอนที่ความกว้างคอยล์เย็นเท่ากับ 221 มิลลิเมตร เนื่องจากความกว้างของคอยล์เย็นมีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้คอยล์เย็นมีขนาดใหญ่ขึ้นจึงมีพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนมากขึ้น

4.1.2 ผลการทดสอบค่าการนำทิ้งความร้อนภายใต้ขอบเขตการทดสอบที่ 2

การทดสอบค่าการนำทิ้งความร้อนภายใต้ขอบเขตการทดสอบที่ 2 ปริมาณลม 400 CMH ความชื้นสัมพัทธ์ (RH_1) 40% อุณหภูมิอากาศ (T_1) 40 ^{o}C ความดันทางเข้า (P_{in1}) 1,400 kPa ความดันทางออก (P_{out1}) 200 kPa อุณหภูมิของเหลวเย็นยิ่ง (SC_1) 5 ^{o}C อุณหภูมิไอร้อนยิ่งยวด (SH_1) 5 ^{o}C ผลการทดสอบได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองค่าการนำทิ้งความร้อนของขอบเขตการทดสอบที่ 2

CW × CH (mm)	**Heat Removal Condition 2 (kW)**
221 × 205	7.283
221 × 235	7.468
221 × 265	7.618
221 × 295	7.776
236 × 205	7.363
236 × 235	7.626
236 × 265	7.745
236 × 295	7.961
266 × 205	7.495
266 × 235	7.822
266 × 265	8.089
266 × 295	8.286
297 × 205	7.567
297 × 235	7.975
297 × 265	8.216
297 × 295	8.432

จากตารางที่ 4.2 พบว่า ชุดข้อมูลผลการทดสอบมีค่าการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับการทดสอบภายใต้ขอบเขตการทดสอบที่ 1 เพียงแต่ค่าการนำทิ้งความร้อนที่ทดสอบในขอบเขตการทดสอบที่ 2 มีค่าสูงกว่า สาเหตุเป็นเพราะขอบเขตการทดสอบที่ 2 มีความเหมาะสมกับขนาดของคอยล์เย็นทดสอบ จึงทำให้คอยล์เย็นทดสอบสามารถให้ค่านำทิ้งความร้อนได้มากกว่าขอบเขตการทดสอบที่ 1

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.2 การเลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์โดยการปรับเทียบรายกรณีของผลการทดสอบในขอบเขตการทดสอบที่ 1

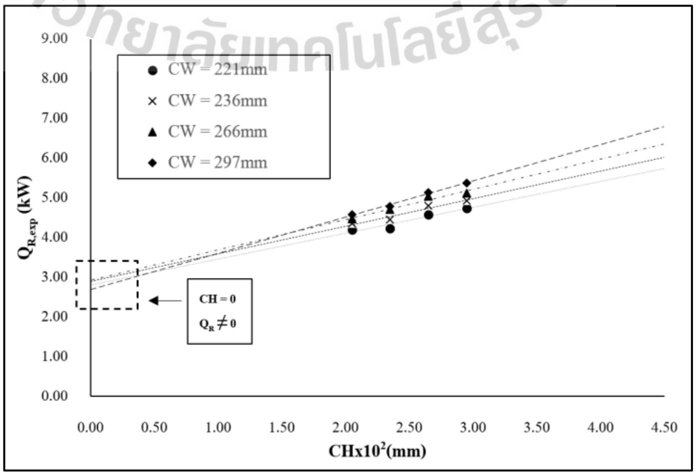
จากผลการทดสอบค่าการนำทิ้งความร้อน เนื่องจากการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ต้องมีการปรับเทียบผลการทดสอบกับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ แต่ในการปรับเทียบนั้นจะต้องเลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่เข้ากับการกระจายตัวของผลการทดสอบได้ดีที่สุด โดยอยู่ภายใต้เงื่อนไขดังนี้

1. ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ต้องให้เส้นแนวโน้มที่ผ่านจุด (0, 0) เพราะเมื่อขนาดของคอยล์มีค่าเป็น 0 จะต้องไม่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดขึ้น
2. ค่า R^2 จะต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลไม่ต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์
3. ฟังก์ชันต้องสามารถใช้คาดการณ์ข้อมูลนอกช่วงผลการทดสอบได้อย่างสมเหตุสมผล เพราะการใช้งานจริงมีความเป็นไปได้ที่จะถูกนำไปใช้ทำนายเพื่อการออกแบบนอกช่วงผลการทดลอง

จากเงื่อนไขดังกล่าวจึงทำการทดลองปรับเทียบข้อมูลผลการทดสอบกับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel โดยใช้ผลการทดสอบภายใต้ขอบเขตการทดสอบที่ 1 ในการปรับเทียบ ผลการปรับเทียบได้ดังนี้

4.2.1 กรณีเลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นสมการเส้นตรง

จากการปรับเทียบผลการทดสอบกับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดเส้นตรงพบว่าเส้นแนวโน้มของฟังก์ชันผ่านการกระจายตัวของข้อมูลผลการทดสอบ แต่ไม่ผ่านจุด (0, 0) อธิบายได้ว่ามีผลการแลกเปลี่ยนความร้อนอยู่แม้คอยล์เย็นมีความสูงเป็น 0 ซึ่งเป็นไปไม่ได้ จึงเป็นผลให้เส้นแนวโน้มของฟังก์ชันคณิตศาสตร์ไม่สามารถใช้คาดการณ์ข้อมูลนอกช่วงได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และเมื่อหาค่า R^2 ในแต่ละเส้นแนวโน้มมีค่าดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.1 การปรับเทียบผลการทดสอบขอบเขตที่ 1 กับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดเส้นตรง

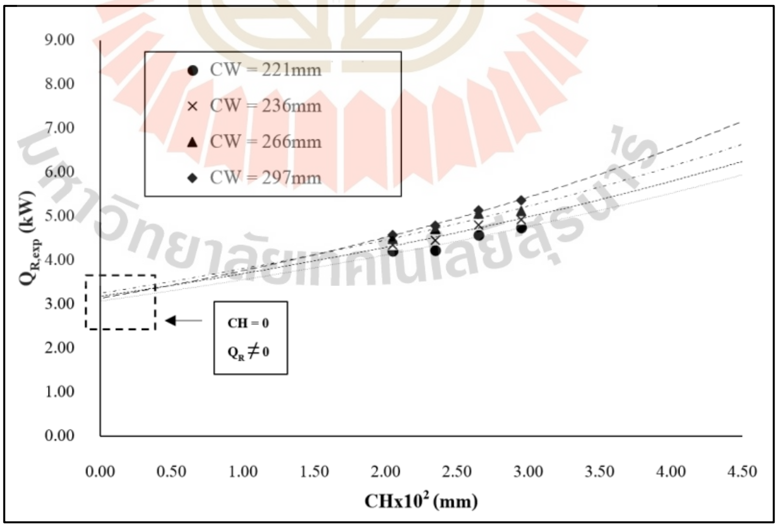
ตารางที่ 4.3 ค่า R^2 ของสมการชนิดเส้นตรงทดลองขอบเขตการทดสอบที่ 1

Core Width	R^2
221 มิลลิเมตร	0.9232
236 มิลลิเมตร	0.9505
266 มิลลิเมตร	0.9529
297 มิลลิเมตร	0.9881

จากการหาค่า R^2 พบว่า แต่ละเส้นแนวโน้มมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ จากการปรับเทียบข้อมูลผลการทดสอบกับฟังก์ชันคณิตศาสตร์พบว่า ฟังก์ชันชนิดเส้นตรงไม่เข้าเงื่อนไขการเลือกฟังก์ชันคณิตศาสตร์

4.2.2 กรณีเลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นสมการเอกซ์โพเนนเชียล

จากการปรับเทียบผลการทดสอบกับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดเอกซ์โพเนนเชียลง พบว่า เส้นแนวโน้มของฟังก์ชันผ่านการกระจายตัวของข้อมูลผลการทดสอบ แต่ไม่ผ่านจุด (0, 0) จึงเป็นผลให้เส้นแนวโน้มของฟังก์ชันคณิตศาสตร์ไม่สามารถใช้คาดการณ์ข้อมูลนอกช่วงได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และเมื่อหาค่า R^2 ในแต่ละเส้นแนวโน้มมีค่าดังตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.2 การปรับเทียบผลการทดสอบขอบเขตที่ 1 กับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดเอกซ์โพเนนเชียล

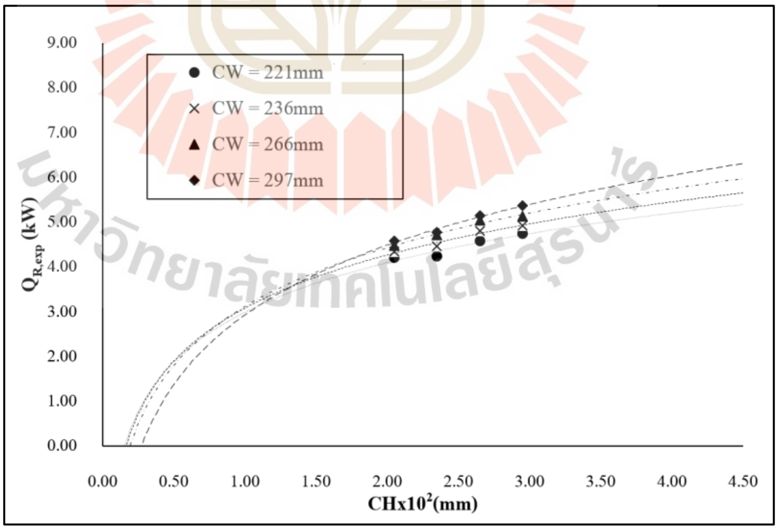
ตารางที่ 4.4 ค่า R^2 ของสมการชนิดเอกซ์โพเนนเชียลทดลองขอบเขตการทดสอบที่ 1

Core Width	R^2
221 มิลลิเมตร	0.9282
236 มิลลิเมตร	0.9508
266 มิลลิเมตร	0.9460
297 มิลลิเมตร	0.9887

จากการหาค่า R^2 พบว่า แต่ละเส้นแนวโน้มมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ จากการปรับเทียบข้อมูลผลการทดสอบกับฟังก์ชันคณิตศาสตร์พบว่า ฟังก์ชันชนิดเอกซ์โพเนนเชียลไม่เข้าเงื่อนไขการเลือกฟังก์ชันคณิตศาสตร์

4.2.3 กรณีเลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นสมการลอการิทึม

จากการปรับเทียบผลการทดสอบกับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดลอการิทึมพบว่า เส้นแนวโน้มของฟังก์ชันผ่านการกระจายตัวของข้อมูลผลการทดสอบ แต่ไม่ลู่เข้าจุดเริ่มต้นอยู่ จึงเป็นผลให้เส้นแนวโน้มของฟังก์ชันคณิตศาสตร์ไม่สามารถใช้คาดการณ์ข้อมูลนอกช่วงได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และเมื่อหาค่า R^2 ในแต่ละเส้นแนวโน้มมีค่าดังตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.3 การปรับเทียบผลการทดสอบขอบเขตที่ 1 กับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดลอการิทึม

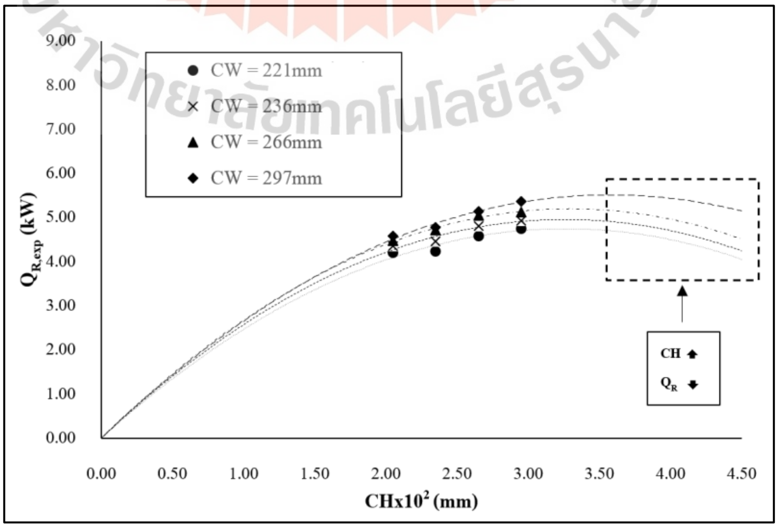
ตารางที่ 4.5 ค่า R^2 ของสมการชนิดลอการิทึมทดลองขอบเขตการทดสอบที่ 1

Core Width	R^2
221 มิลลิเมตร	0.9282
236 มิลลิเมตร	0.9508
266 มิลลิเมตร	0.9460
297 มิลลิเมตร	0.9887

จากการหาค่า R^2 พบว่า แต่ละเส้นแนวโน้มมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ จากการปรับเทียบข้อมูลผลการทดสอบกับฟังก์ชันคณิตศาสตร์พบว่า ฟังก์ชันชนิดลอการิทึมไม่เข้าเงื่อนไขการเลือกฟังก์ชันคณิตศาสตร์

4.2.4 กรณีเลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นสมการโพลิโนเมียลอันดับสอง

จากการปรับเทียบผลการทดสอบกับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดโพลิโนเมียลอันดับสองพบว่า เส้นแนวโน้มของฟังก์ชันผ่านการกระจายตัวของข้อมูลผลการทดสอบ แต่ลู่เข้าจุดเริ่มต้นอยู่ แต่เส้นแนวโน้มของข้อมูลนอกช่วงบริเวณขนาดคอยล์เย็นตั้งแต่ความสูง 295 มิลลิเมตร มีลักษณะลู่ลง กล่าวคือ ถ้าขนาดของคอยล์เย็นมีค่าเพิ่มขึ้นแต่มีค่าการนำทิ้งความร้อนลดลง ซึ่งเป็นการคาดการณ์นอกช่วงที่ไม่สมเหตุสมผล จึงเป็นผลให้เส้นแนวโน้มของฟังก์ชันคณิตศาสตร์ไม่สามารถใช้คาดการณ์ข้อมูลนอกช่วงได้ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และเมื่อหาค่า R^2 ในแต่ละเส้นแนวโน้มมีค่าดังตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.4 การปรับเทียบผลการทดสอบขอบเขตที่ 1 กับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดโพลิโนเมียลอันดับสอง

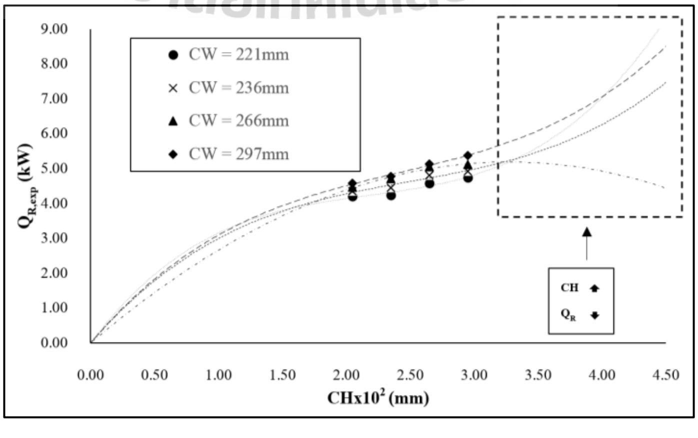
ตารางที่ 4.6 ค่า R^2 ของสมการชนิดโพลิโนเมียลอันดับสองทดลองขอบเขตการทดสอบที่ 1

Core Width	R^2
221 มิลลิเมตร	0.8486
236 มิลลิเมตร	0.9157
266 มิลลิเมตร	0.9758
297 มิลลิเมตร	0.9669

จากการหาค่า R^2 พบว่า แต่ละเส้นแนวโน้มของคอยล์เย็นขนาดความกว้าง 221มิลลิเมตร มีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ จากการปรับเทียบข้อมูลผลกับฟังก์ชันคณิตศาสตร์พบว่า ฟังก์ชันชนิดโพลิโนเมียลอันดับสองไม่เข้าเงื่อนไขการเลือกฟังก์ชันคณิตศาสตร์

4.2.5 กรณีเลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นสมการโพลิโนเมียลอันดับสาม

จากการปรับเทียบผลการทดสอบกับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดโพลิโนเมียลอันดับสามพบว่า เส้นแนวโน้มของฟังก์ชันผ่านการกระจายตัวของข้อมูลผลการทดสอบ แต่ลู่เข้าจุดเริ่มต้นอยู่ แต่เส้นแนวโน้มของข้อมูลนอกช่วงบริเวณขนาดคอยล์เย็นตั้งแต่ความกว้าง 211, 236 และ 297 มิลลิเมตร ที่ข้อมูลนอกช่วงที่ความสูงของคอยล์เย็นมีขนาดมากกว่า 295 มิลลิเมตร มีลักษณะไม่เข้าใกล้ค่าคงที่และเส้นแนวโน้มที่ขนาดความกว้าง 266 มิลลิเมตร เส้นแนวโน้มนอกช่วงที่ความสูงของคอยล์เย็นมีขนาดมากกว่า 295 มิลลิเมตร มีลักษณะลู่ลงไม่เข้าพวกจึงทำให้ไม่สามารถทำนายข้อมูลนอกช่วงได้ ซึ่งเป็นการคาดการณ์นอกช่วงที่ไม่สมเหตุสมผล จึงเป็นผลให้เส้นแนวโน้มของฟังก์ชันคณิตศาสตร์ไม่สามารถใช้คาดการณ์ข้อมูลนอกช่วงได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และเมื่อหาค่า R^2 ในแต่ละเส้นแนวโน้มมีค่าดังตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.5 การปรับเทียบผลการทดสอบขอบเขตที่ 1 กับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดโพลิโนเมียลอันดับสาม

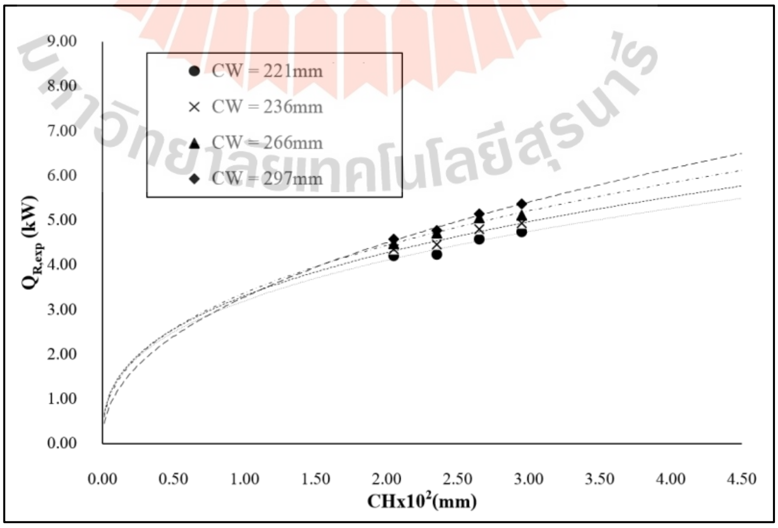
ตารางที่ 4.7 ค่า R^2 ของสมการชนิดโพลิโนเมียลอันดับสองทดลองขอบเขตการทดสอบที่ 1

Core Width	R^2
221 มิลลิเมตร	0.9310
236 มิลลิเมตร	0.9440
266 มิลลิเมตร	0.9768
297 มิลลิเมตร	0.9861

จากการหาค่า R^2 พบว่า แต่ละเส้นแนวโน้มของคอยล์เย็นขนาดความกว้าง 221 มิลลิเมตร มีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ จากการปรับเทียบข้อมูลผลการทดสอบกับฟังก์ชันคณิตศาสตร์พบว่า ฟังก์ชันชนิดโพลิโนเมียลอันดับสองไม่เข้าเงื่อนไขการเลือกฟังก์ชันคณิตศาสตร์

4.2.6 กรณีเลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นสมการกำลัง

จากการปรับเทียบผลการทดสอบกับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดกำลังพบว่า เส้นแนวโน้มของฟังก์ชันผ่านการกระจายตัวของข้อมูลผลการทดสอบ แต่ลู่เข้าจุดเริ่มต้นอยู่ แต่เส้นแนวโน้มของข้อมูลนอกช่วง สามารถคาดการณ์นอกช่วงได้อย่างสมเหตุสมผล จึงเป็นผลให้เส้นแนวโน้มของฟังก์ชันคณิตศาสตร์สามารถใช้คาดการณ์ข้อมูลนอกช่วงได้ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และเมื่อหาค่า R^2 ในแต่ละเส้นแนวโน้มมีค่าดังตารางที่ 4.8



รูปที่ 4.6 การปรับเทียบผลการทดสอบขอบเขตที่ 1 กับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดกำลัง

ตารางที่ 4.8 ค่า R^2 ของสมการชนิดกำลังทดลองขอบเขตการทดสอบที่ 1

Core Width	R^2
221 มิลลิเมตร	0.9120
236 มิลลิเมตร	0.9476
266 มิลลิเมตร	0.9614
297 มิลลิเมตร	0.9856

จากการหาค่า R^2 พบว่า แต่ละเส้นแนวโน้มมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ จากการปรับเทียบข้อมูลผลการทดสอบกับฟังก์ชันคณิตศาสตร์พบว่า ฟังก์ชันชนิดกำลังเข้าเงื่อนไขการเลือกฟังก์ชันคณิตศาสตร์

จากนั้นนำผลการทดสอบภายใต้ขอบเขตการทดสอบที่ 1 มาสร้างแผนภูมิชนิดเส้นเพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูล เพื่อทำการปรับเทียบฟังก์ชันคณิตศาสตร์เพื่อสร้างสมการทดลอง

จากแผนภูมิชนิดเส้นพบว่า แนวโน้มการกระจายตัวของข้อมูลผลการทดสอบค่าการนำทิ้งความร้อนของคอยล์เย็นภายใต้ขอบเขตการทดสอบที่ 1 เมื่อคอยล์เย็นมีขนาดความกว้างและความยาวมากขึ้น ค่าการนำทิ้งความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย พิจารณา ณ ตำแหน่งข้อมูลความกว้างของคอยล์เย็น 221 มิลลิเมตร ค่าการนำทิ้งความร้อนมีค่าต่ำที่สุด และ ณ ตำแหน่งข้อมูลกว้างของคอยล์เย็น 297 มิลลิเมตร ค่าการนำทิ้งความร้อนมีค่าสูงที่สุด

พิจารณา ณ ตำแหน่งความกว้าง 221 มิลลิเมตร ความสูง 205 มิลลิเมตร จะมีค่าการนำทิ้งความร้อนต่ำที่สุด เนื่องจากความยาวของท่อนำสารทำความเย็นมีระยะน้อยที่สุด ครีบระบายความร้อนมีจำนวนชั้นน้อยที่สุด ส่งผลให้พื้นที่ในแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าน้อยที่สุด ความสามารถในการนำทิ้งความร้อนจึงมีค่าน้อยที่สุด

พิจารณา ณ ตำแหน่งความกว้าง 297 มิลลิเมตร ความสูง 295 มิลลิเมตร จะมีค่าการนำทิ้งความร้อนมากที่สุด สาเหตุเนื่องจากเมื่อครีบระบายความร้อนมีชั้นจำนวนมากที่สุด ความยาวท่อทางเดินสารทำความเย็นมากที่สุด ทำให้คอยล์เย็นมีพื้นที่สำหรับแลกเปลี่ยนความร้อนมากที่สุด ส่งผลให้ความสามารถในการนำทิ้งความร้อนมีค่ามากที่สุดด้วย

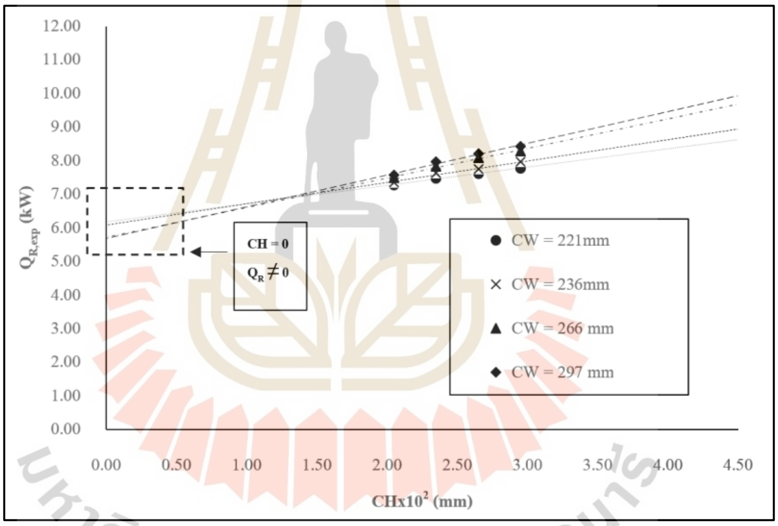
จากนั้นนำผลการทดสอบภายใต้ขอบเขตการทดสอบที่ 2 มาสร้างแผนภูมิชนิดเส้นเพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลและเลือกฟังก์ชันคณิตศาสตร์โดยใช้เงื่อนไขการเลือกฟังก์ชันแบบเดียวกันขอบเขตการทดสอบที่ 1

4.3 การเลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์โดยการปรับเทียบรายกรณีของผลการทดสอบในขอบเขตการทดสอบที่ 2

จากเงื่อนไขจึงทำการทดลองปรับเทียบข้อมูลผลการทดสอบกับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel โดยใช้ผลการทดสอบภายใต้ขอบเขตการทดสอบที่ 2 ในการปรับเทียบผลการปรับเทียบได้ดังนี้

4.3.1 กรณีเลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นสมการเส้นตรง

จากการปรับเทียบผลการทดสอบกับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดเส้นตรงพบว่าเส้นแนวโน้มของฟังก์ชันผ่านการกระจายตัวของข้อมูลผลการทดสอบ แต่ไม่ผ่านจุด (0, 0) เส้นแนวโน้มของฟังก์ชันคณิตศาสตร์ไม่สามารถใช้คาดการณ์ข้อมูลนอกช่วงได้ดังรูปที่ 4.7 และเมื่อหาค่า R^2 มีค่าดังตารางที่ 4.9



รูปที่ 4.7 การปรับเทียบผลการทดสอบขอบเขตที่ 2 กับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดเส้นตรง

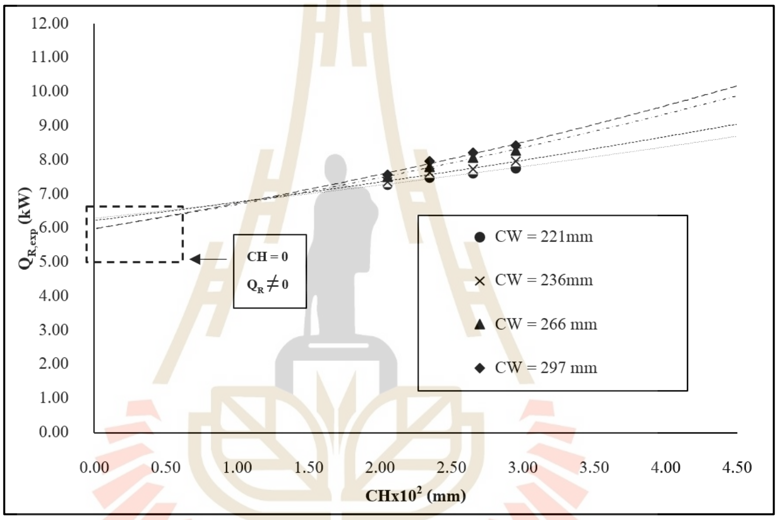
ตารางที่ 4.9 ค่า R^2 ของสมการชนิดเส้นตรงทดลองขอบเขตการทดสอบที่ 2

Core Width	R^2
221 มิลลิเมตร	0.9979
236 มิลลิเมตร	0.9816
266 มิลลิเมตร	0.9879
297 มิลลิเมตร	0.9753

จากการหาค่า R^2 พบว่า แต่ละเส้นแนวโน้มมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ จากการปรับเทียบข้อมูลพบว่า ฟังก์ชันชนิดเส้นตรงไม่เข้าเงื่อนไขการเลือกฟังก์ชันคณิตศาสตร์

4.3.2 กรณีเลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นสมการเอกซ์โพเนนเชียล

จากการปรับเทียบผลการทดสอบกับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดเอกซ์โพเนนเชียล พบว่า เส้นแนวโน้มของฟังก์ชันผ่านการกระจายตัวของข้อมูลผลการทดสอบ แต่ไม่ลู่เข้าจุดเริ่มต้น เส้นแนวโน้มของฟังก์ชันคณิตศาสตร์ไม่สามารถใช้คาดการณ์ข้อมูลนอกช่วงได้ดังแสดงใน รูปที่ 4.8 และเมื่อหาค่า R^2 มีค่าดังตารางที่ 4.10



รูปที่ 4.8 การปรับเทียบผลการทดสอบขอบเขตที่ 2 กับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดเอกซ์โพเนนเชียล

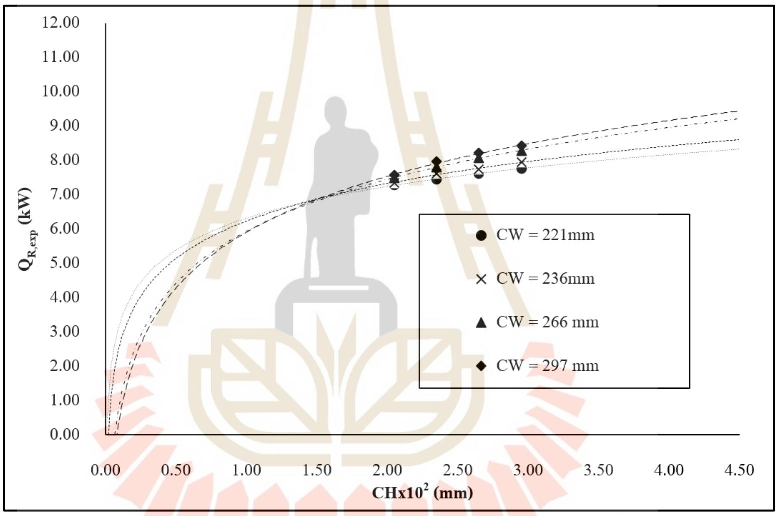
ตารางที่ 4.10 ค่า R^2 ของสมการชนิดเอกซ์โพเนนเชียลทดลองขอบเขตการทดสอบที่ 2

Core Width	R^2
221 มิลลิเมตร	0.9971
236 มิลลิเมตร	0.9844
266 มิลลิเมตร	0.9879
297 มิลลิเมตร	0.9704

จากการหาค่า R^2 พบว่า แต่ละเส้นแนวโน้มมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ จากการปรับเทียบข้อมูลพบว่า ฟังก์ชันชนิดเอกซ์โพเนนเชียลไม่เข้าเงื่อนไขการเลือกฟังก์ชันคณิตศาสตร์

4.3.3 กรณีเลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นสมการลอการิทึม

จากการปรับเทียบผลการทดสอบกับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดลอการิทึมพบว่า เส้นแนวโน้มของฟังก์ชันผ่านการกระจายตัวของข้อมูลผลการทดสอบและลู่เข้าจุดเริ่มต้น เส้นแนวโน้มของฟังก์ชันคณิตศาสตร์สามารถใช้คาดการณ์ข้อมูลนอกช่วงได้ แต่รูปสมการของฟังก์ชันชนิดนี้มีปัจจัยค่าคงที่ประกอบด้วยจึงไม่เข้าเงื่อนไขการเลือกฟังก์ชันข้อที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และเมื่อหาค่า R^2 มีค่าดังตารางที่ 4.11



รูปที่ 4.9 การปรับเทียบผลการทดสอบขอบเขตที่ 2 กับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดลอการิทึม

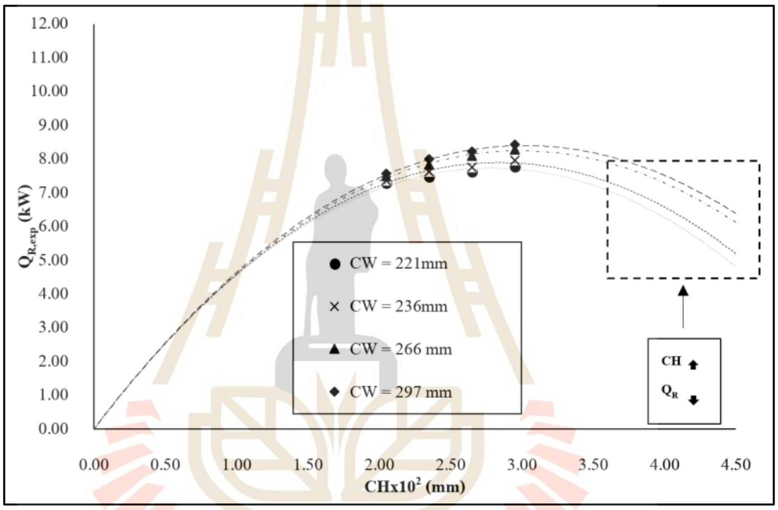
ตารางที่ 4.11 ค่า R^2 ของสมการชนิดลอการิทึมทดลองขอบเขตการทดสอบที่ 2

Core Width	R^2
221 มิลลิเมตร	0.9992
236 มิลลิเมตร	0.9852
266 มิลลิเมตร	0.9968
297 มิลลิเมตร	0.9887

จากการหาค่า R^2 พบว่า แต่ละเส้นแนวโน้มมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ จากการปรับเทียบข้อมูลพบว่า ฟังก์ชันชนิดลอการิทึมไม่เข้าเงื่อนไขการเลือกฟังก์ชันคณิตศาสตร์

4.3.4 กรณีเลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นสมการโพลิโนเมียลอันดับสอง

จากการปรับเทียบผลการทดสอบกับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดโพลิโนเมียลอันดับสองพบว่า เส้นแนวโน้มของฟังก์ชันผ่านการกระจายตัวของข้อมูลผลการทดสอบ แต่ไม่ลู่เข้าจุดเริ่มต้นอยู่ จึงเป็นผลให้เส้นแนวโน้มของฟังก์ชันคณิตศาสตร์ไม่สามารถใช้คาดการณ์ข้อมูลนอกช่วงได้ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และเมื่อหาค่า R^2 ในแต่ละเส้นแนวโน้มมีค่าดังตารางที่ 4.12



รูปที่ 4.10 การปรับเทียบผลการทดสอบขอบเขตที่ 2 กับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดโพลิโนเมียลอันดับสอง

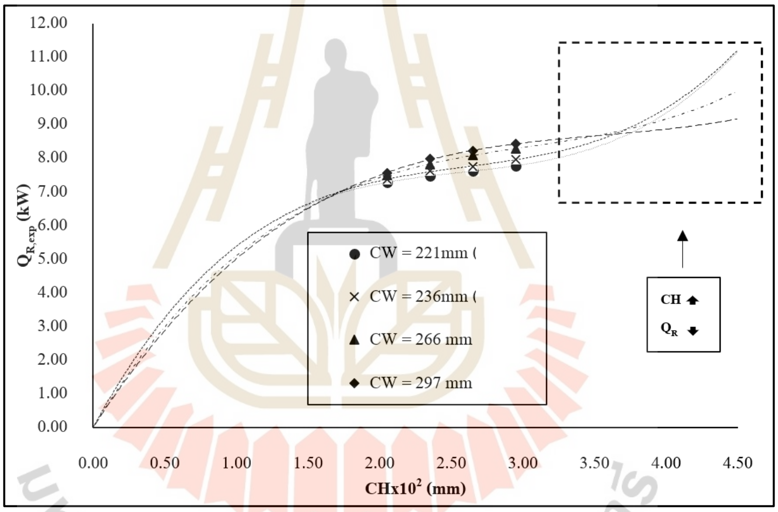
ตารางที่ 4.12 ค่า R^2 ของสมการชนิดโพลิโนเมียลทดลองอันดับสองขอบเขตการทดสอบที่ 2

Core Width	R^2
221 มิลลิเมตร	0.8472
236 มิลลิเมตร	0.8855
266 มิลลิเมตร	0.9746
297 มิลลิเมตร	0.9869

จากการหาค่า R^2 พบว่า มีเส้นแนวโน้มบางข้อมูลมีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ จากการปรับเทียบข้อมูลพบว่า ฟังก์ชันชนิดโพลิโนเมียลอันดับสองไม่เข้าเงื่อนไขการเลือกฟังก์ชันคณิตศาสตร์

4.3.5 กรณีเลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นสมการโพลิโนเมียลอันดับสาม

จากการปรับเทียบผลการทดสอบกับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดโพลิโนเมียลอันดับสามพบว่า เส้นแนวโน้มของฟังก์ชันผ่านการกระจายตัวของข้อมูลผลการทดสอบลู่เข้าจุดเริ่มต้น แต่เส้นแนวโน้มไม่สามารถใช้คาดการณ์ข้อมูลนอกช่วงที่คอยล์เย็นมีขนาดมากกว่า 295 มิลลิเมตรได้ เนื่องจากเส้นแนวโน้มมีลักษณะเพิ่มขึ้นไม่เข้าใกล้ค่าคงที่ จึงเป็นผลให้เส้นแนวโน้มของฟังก์ชันคณิตศาสตร์ไม่สามารถใช้คาดการณ์ข้อมูลนอกช่วงได้ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และเมื่อหาค่า R^2 ในแต่ละเส้นแนวโน้มมีค่าดังตารางที่ 4.13



รูปที่ 4.11 การปรับเทียบผลการทดสอบขอบเขตที่ 2 กับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดโพลิโนเมียลอันดับสาม

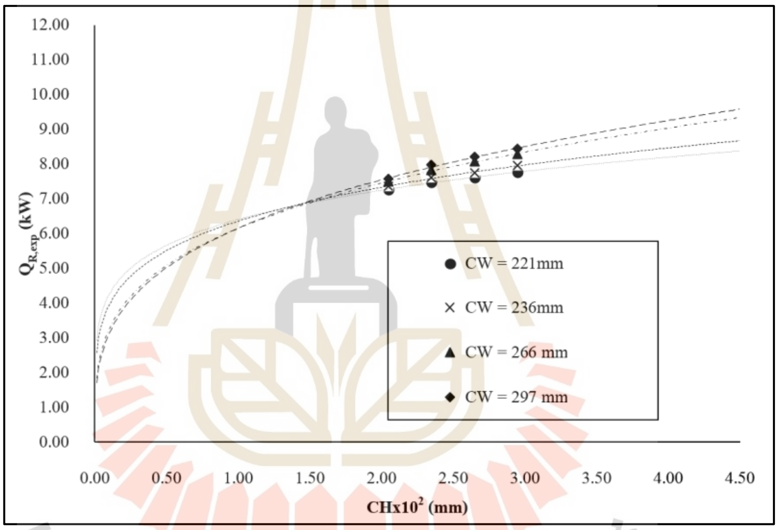
ตารางที่ 4.13 ค่า R^2 ของสมการชนิดโพลิโนเมียลทดลองอันดับสามขอบเขตการทดสอบที่ 2

Core Width	R^2
221 มิลลิเมตร	0.9999
236 มิลลิเมตร	0.9910
266 มิลลิเมตร	0.9997
297 มิลลิเมตร	0.9983

จากการหาค่า R^2 พบว่า มีเส้นแนวโน้มบางข้อมูลมีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ จากการปรับเทียบข้อมูลพบว่า ฟังก์ชันชนิดโพลิโนเมียลอันดับสองไม่เข้าเงื่อนไขการเลือกฟังก์ชันคณิตศาสตร์

4.3.6 กรณีเลือกฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นสมการกำลัง

จากการปรับเทียบผลการทดสอบกับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดกำลังพบว่า เส้นแนวโน้มของฟังก์ชันผ่านการกระจายตัวของข้อมูลผลการทดสอบ แต่ลู่เข้าจุดเริ่มต้นอยู่ แต่เส้นแนวโน้มของข้อมูลนอกช่วง สามารถคาดการณ์นอกช่วงได้อย่างสมเหตุสมผล จึงเป็นผลให้เส้นแนวโน้มของฟังก์ชันคณิตศาสตร์สามารถใช้คาดการณ์ข้อมูลนอกช่วงได้ดังแสดงในรูปที่ 4.12 และเมื่อหาค่า R^2 ในแต่ละเส้นแนวโน้มมีค่าดังตารางที่ 4.14



รูปที่ 4.12 การปรับเทียบผลการทดสอบขอบเขตที่ 1 กับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ชนิดกำลัง

ตารางที่ 4.14 ค่า R^2 ของสมการชนิดกำลังทดลองขอบเขตการทดสอบที่ 2

Core Width	**R^2**
221 มิลลิเมตร	0.9994
236 มิลลิเมตร	0.9849
266 มิลลิเมตร	0.9949
297 มิลลิเมตร	0.9853

จากการหาค่า R^2 พบว่า แต่ละเส้นแนวโน้มมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ จากการปรับเทียบข้อมูลผลการทดสอบกับฟังก์ชันคณิตศาสตร์พบว่า ฟังก์ชันชนิดกำลังเข้าเงื่อนไขการเลือกฟังก์ชันคณิตศาสตร์

เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลผลการทดสอบค่าการนำทิ้งความร้อนของคอยล์เย็นภายใต้ขอบเขตการทดสอบที่ 2 ขณะที่คอยล์เย็นมีการเปลี่ยนแปลงของขนาดความกว้างและความสูงมากขึ้น ความสามารถในการนำทิ้งความร้อนของคอยล์เย็นมีค่ามากขึ้นด้วย พิจารณา ณ ตำแหน่งความกว้างใด ๆ ที่ความสูง 205 มิลลิเมตร จะมีค่าการนำทิ้งความร้อนน้อยที่สุด และเมื่อความสูงเพิ่มขึ้นที่ความสูง 295 มิลลิเมตร ค่าการนำทิ้งความร้อนจะมีค่ามากที่สุด สาเหตุเป็นเพราะขนาดของคอยล์เย็นเพิ่มขึ้น พื้นที่สำหรับแลกเปลี่ยนความร้อนมีเพิ่มขึ้น ทำให้คอยล์เย็นสามารถนำทิ้งความร้อนได้มากขึ้นด้วย แนวโน้มการกระจายตัวของข้อมูลการทดสอบในขอบเขตการทดสอบที่ 2 จะมีลักษณะคล้ายกับการกระจายตัวของข้อมูลการทดสอบในขอบเขตการทดสอบที่ 1

จากผลการทดสอบค่าการนำทิ้งความร้อนของคอยล์เย็นทดสอบทั้ง 2 ขอบเขตสามารถวิเคราะห์ผลการทดสอบได้ดังนี้ จากผลการทดสอบพบว่าที่ความกว้างคอยล์เย็น (CW) ค่าใด ๆ เมื่อความสูงของคอยล์เย็น (CH) มีค่ามากขึ้นส่งผลให้ค่าการนำทิ้งความร้อนมีค่ามากขึ้น จากแนวโน้มการกระจายตัวของข้อมูลที่ขนาดความสูงคอยล์เย็น 205 มิลลิเมตรและค่าความกว้าง 221 มิลลิเมตรให้ค่าการนำทิ้งความร้อนน้อยที่สุด โดยข้อเท็จจริงเมื่อความสูงของคอยล์เย็นมีค่าเท่ากับ 0 (CH = 0) ค่าการนำทิ้งความร้อนจะมีค่าเท่ากับ 0 เนื่องจากไม่มีพื้นที่ผิวสำหรับแลกเปลี่ยนความร้อน และเมื่อความสูงของคอยล์เย็นมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ค่าการนำทิ้งความร้อนจะเข้าสู่ค่าคงที่ เพราะมีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนเกินความจำเป็น โดยที่ขนาดความสูงของคอยล์ 295 มิลลิเมตร และที่ขนาดความกว้างของคอยล์ 297 มิลลิเมตร ให้ค่าการนำทิ้งความร้อนสูงสุด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.4 สร้างสมการทดสอบจากแผนภูมิชนิดเส้น

จากการนำผลการทดสอบคอยล์เย็นทั้งหมด 32 กรณี มาสร้างแผนภูมิชนิดเส้น จากนั้นนำผลการทดสอบทั้ง 2 ขอบเขตการทดสอบมาตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูล จากนั้นทำการปรับเทียบการกระจายตัวของข้อมูลกับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel ได้ดังตารางที่ 4.15 และ 4.16

ตารางที่ 4.15 สมการทดลองของขอบเขตการทดสอบที่ 1

Core Width (mm)	Experimental Equations
221	$Q_R = 3.2009CH^{0.359}$ (4.1)
236	$Q_R = 3.3094CH^{0.3696}$ (4.2)
266	$Q_R = 3.3757CH^{0.3953}$ (4.3)
297	$Q_R = 3.2859CH^{0.4534}$ (4.4)

ตารางที่ 4.16 สมการทดลองของขอบเขตการทดสอบที่ 2

Core Width (mm)	Experimental Equations
221	$Q_R = 6.4093CH^{0.1783}$ (4.5)
236	$Q_R = 6.3606CH^{0.2064}$ (4.6)
266	$Q_R = 6.1585CH^{0.2769}$ (4.7)
297	$Q_R = 6.1575CH^{0.2942}$ (4.8)

จากผลการทดสอบแนวโน้มการกระจายตัวของข้อมูลทดสอบขอบเขตการทดสอบที่ 1 สามารถปรับเทียบความสัมพันธ์เข้ากับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ประเภทชนิดกำลัง (Power Function) หรือ $Q_R = a(CH)^b$ เมื่อ Q_R คือ ค่าการนำทิ้งความร้อน (Heat Removal, kW) a และ b คือ สัมประสิทธิ์ทางคณิตศาสตร์ และ H คือ ขนาดความสูงของคอยล์เย็น (mm)

พิจารณาจากสมการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ b ของขนาดความกว้างของคอยล์ทดสอบ 221 มิลลิเมตร จนถึงขนาดความกว้าง 297 มิลลิเมตรมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้ค่าการนำทิ้งความร้อนมีค่ามากขึ้น สอดคล้องกับแนวโน้มการกระจายตัวของข้อมูลผลการทดสอบจากแผนภูมิชนิดเส้นที่สร้างขึ้น

ทั้งนี้ชนิดของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ เป็นการปรับเทียบเข้ากับการกระจายตัวของข้อมูลการทดสอบเพียงเท่านั้น เพื่อความแม่นยำในการเลือกปรับเทียบฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์จึงใช้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดเป็นตัวช่วยตรวจสอบความแม่นยำของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ ด้วยเนื่องจากการปรับเทียบชุดข้อมูลการทดสอบเข้ากับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ต้องใช้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of Determination) ที่ได้จากการประเมินสมการถดถอย (Linear Regression) ด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด (Method of Least Squares : R^2) ค่า R^2 ของสมการทดลองของขอบเขตการทดสอบที่ 1

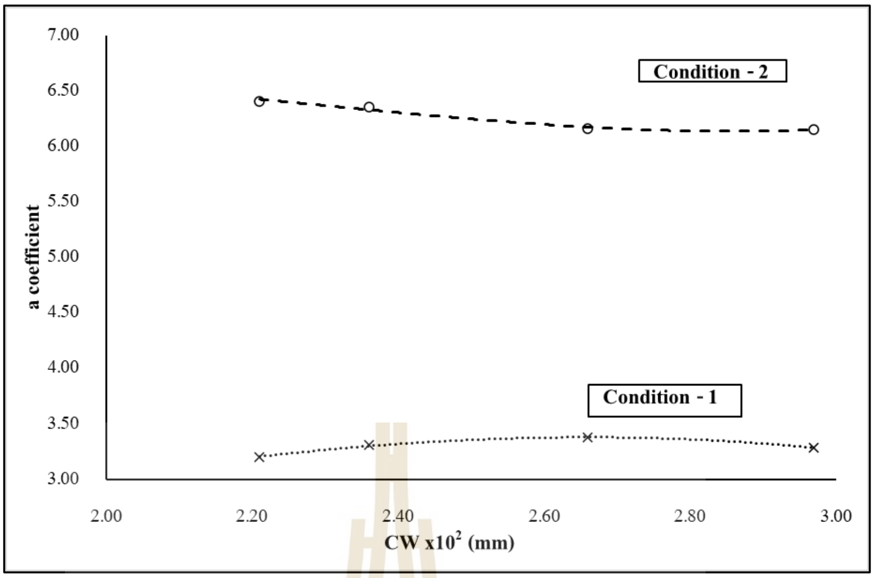
จากผลการทดสอบจากผลการทดสอบแนวโน้มการกระจายตัวของข้อมูลทดสอบขอบเขตการทดสอบที่ 2 สามารถปรับเทียบความสัมพันธ์เข้ากับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ประเภทชนิดกำลังแบบเดียวผลการทดสอบขอบเขตที่ 1 โดยการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์ b เพิ่มขึ้นตามลำดับขนาดความกว้างของชนิดคอยล์เย็นทดสอบ

จากการปรับเทียบแนวโน้มผลการทดสอบทั้ง 2 ขอบเขตการทดสอบกับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์พบว่า แต่ละสมการสามารถเขียนให้อยู่ในรูปทั่วไปได้เป็น $Q_R = a(CH)^b$ เมื่อ CH คือความสูงของคอยล์เย็นทดสอบ โดยที่ a เป็นสัมประสิทธิ์ของสมการ Q_R และ b เป็นเลขชี้กำลังของสมการ Q_R

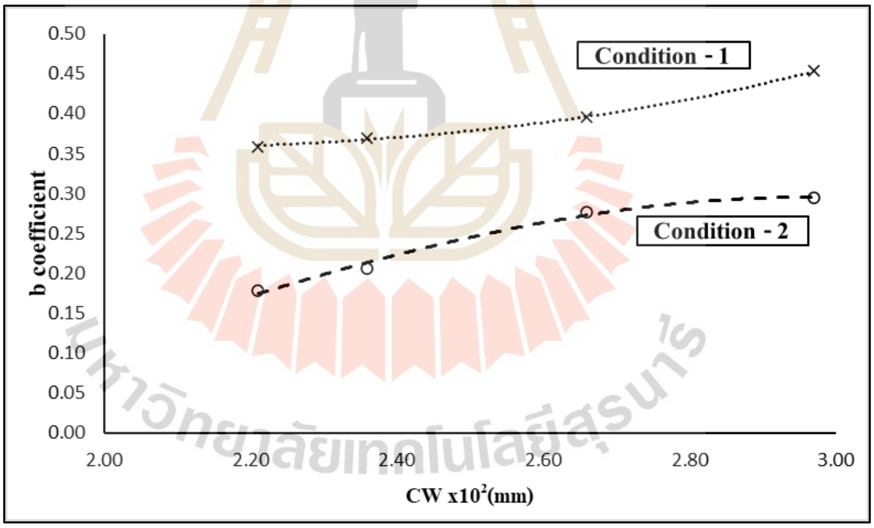
พิจารณาจากสมการที่ 4.1-4.8 เป็นสมการทดลองที่มีฟังก์ชันของ CH เป็นส่วนประกอบเพียงฟังก์ชันเดียวเท่านั้น ไม่สามารถนำมาใช้ทำนายค่าการนำทิ้งความร้อนของคอยล์เย็นที่จำเป็นต้องมีฟังก์ชันของ CW เป็นส่วนประกอบด้วย เนื่องจากการทำนายค่าการนำทิ้งความร้อนจำเป็นต้องใช้ขนาดด้านความกว้างและความสูงของคอยล์เย็น ดังนั้นเพื่อให้ได้สมการทำนายค่าการนำทิ้งความร้อนที่สามารถนำไปใช้อย่างมีนัยทั่วไป โดยมีสมการที่เป็นฟังก์ชันของทั้ง CH และ CW จึงได้ทำการสร้างสมการที่รวมความสัมพันธ์ทั้งด้านความกว้างและด้านความสูงของคอยล์เย็น โดยใช้สมการทดลองจากสมการที่ 4.1-4.8 นำค่า a มาสร้างแผนภูมิชนิดเส้นที่แกนตั้งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ Q_R และ b มาสร้างแผนภูมิชนิดเส้นที่แกนตั้งเป็นค่าเลขชี้กำลังของสมการ Q_R และแกนนอนเทียบกับค่า CW

4.5 สร้างสมการจากสัมประสิทธิ์สมการทดลอง

ด้วยสมการทดสอบ $Q_R = a(CH)^b$ มีปัจจัยสำหรับการทำนายค่าการนำทิ้งความร้อนที่ยังไม่สามารถไปใช้ได้อย่างมีนัยทั่วไป จึงต้องสร้างสมการที่ใช้อัตราการนำทิ้งความร้อนโดยมีปัจจัยของขนาดความกว้างของคอยล์เย็นประกอบอยู่ในสมการทำนายด้วย ซึ่งสามารถทำได้โดยนำค่าสัมประสิทธิ์ของสมการทดลอง a และ b จากทั้ง 2 ขอบเขตการทดสอบมาสร้างเป็นแผนภูมิชนิดเส้น โดยเทียบขนาดความกว้างของคอยล์เย็นทดสอบดังรูปที่ 4.13 และ 4.14



รูปที่ 4.13 สัมประสิทธิ์ a กับความกว้างของคอยล์เย็น



รูปที่ 4.14 สัมประสิทธิ์ b กับความกว้างของคอยล์เย็น

จากแผนภูมิชนิดเส้นค่าสัมประสิทธิ์ b มีแนวโน้มการกระจายตัวมากขึ้นตามลำดับจากความกว้างของคอยล์เย็น 221 มิลลิเมตร มีค่าสัมประสิทธิ์น้อยที่สุด และที่ความกว้างของคอยล์เย็น 297 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์มากที่สุดซึ่งมีความสอดคล้องกับค่าการนำทิ้งความร้อนที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเพิ่มขึ้นจากขนาดของความกว้างของคอยล์เย็นจากน้อยไปมากที่สุด จากแนวโน้มการกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์ a ทั้ง 2 ขอบเขตการทดสอบ ทำการปรับเทียบ

ค่าสัมประสิทธิ์ a เข้ากับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เพื่อสร้างสมการสัมประสิทธิ์ โดยได้เป็นสมการสัมประสิทธิ์จากสมการทดลองดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 สมการสัมประสิทธิ์จากสมการทดลองขอบเขตการทดลองที่ 1

Condition	Coefficient a
1	$a = -0.1752CW^3 + 0.4539CW^2 + 1.3031CW$ (4.9)
2	$a = 0.6533CW^3 - 4.4838CW^2 + 9.6262CW$ (4.10)

จากการปรับเทียบข้อมูลสัมประสิทธิ์ a บนแผนภูมิชนิดเส้นกับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ พบว่า แนวโน้มการกระจายตัวของข้อมูลสมการสัมประสิทธิ์ a สามารถปรับเทียบกับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์จะได้เป็นฟังก์ชันสมการพหุนามกำลังสาม (Polynomial 3rd order) มีรูปทั่วไปคือ $a,b = xCW^3 + yCW^2 + zCW$ โดยที่ a,b คือ ค่าสัมประสิทธิ์จากสมการทดสอบ x,y,z คือค่าสัมประสิทธิ์ของสมการสัมประสิทธิ์ CW คือ ค่าความกว้างของคอยล์เย็นทดสอบ (mm)

พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดของสมการสัมประสิทธิ์ a ทั้ง 2 ขอบเขตการทดสอบเพื่อความแม่นยำในการปรับเทียบฟังก์ชันคณิตศาสตร์กับการกระจายตัวของข้อมูล ดังตารางที่ 4.18 และ 4.19

ตารางที่ 4.18 ค่า R^2 ของสมการประสิทธิ์ a

Coefficient a Equations	R^2
$a = -0.1752CW^3 + 0.4539CW^2 + 1.3031CW$	0.9919
$a = 0.6533CW^3 - 4.4838CW^2 + 9.6262CW$	0.9731

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากการปรับเทียบข้อมูลสัมประสิทธิ์ b บนแผนภูมิชนิดเส้นกับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ พบว่า แนวโน้มการกระจายตัวของข้อมูลสมการสัมประสิทธิ์ b สามารถปรับเทียบกับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์จะได้เป็นฟังก์ชันสมการพหุนามกำลังสามเช่นเดียวกับสมการสัมประสิทธิ์ a

ตารางที่ 4.19 สมการสัมประสิทธิ์จากสมการทดลองขอบเขตการทดลองที่ 2

Condition	Coefficient b
1	$b = 0.0557CW^3 – 0.3022CW^2 + 0.5587CW$ (4.11)
2	$b = -0.0826CW^3 + 0.4548CW^2 – 0.523CW$ (4.12)

พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดของสมการสัมประสิทธิ์ b ทั้ง 2 ขอบเขตการทดสอบประกอบการปรับเทียบฟังก์ชันคณิตศาสตร์กับการกระจายตัวของข้อมูล ดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ค่า R^2 ของสมการประสิทธิ์ b

Coefficient b Equations	R^2
$b = 0.0557CW^3 – 0.3022CW^2 + 0.5587CW$	0.9988
$b = -0.0826CW^3 + 0.4548CW^2 – 0.523CW$	0.9908

4.6 สร้างแบบจำลองสหสัมพันธ์อัตราการนำทิ้งความร้อน

สมการสัมประสิทธิ์เป็นสมการที่นำปัจจัยด้านความกว้างของคอยล์เย็นทดสอบบรรจุเข้าไปเพื่อที่นำไปจัดรูปลงในสมการทดสอบ จากนั้นจะได้เป็นสมการที่ใช้สำหรับการทำนายค่าการนำทิ้งความร้อนในคอยล์เย็น เมื่อนำสมการสัมประสิทธิ์ไปจัดรูปลงในการสมการทดสอบได้ จะได้ดังนี้

สมการสัมประสิทธิ์ a และ b สำหรับขอบเขตการทดสอบที่ 1

$$a_1 = -0.1752CW^3 + 0.4539CW^2 + 1.3031CW$$

$$b_1 = -0.05698CW^3 - 0.30261CW^2 + 0.55868CW$$

เมื่อทำการจัดรูปแบบสมการสัมประสิทธิ์ลงในรูปสมการทดลองแล้วจะได้แบบจำลองสหสัมพันธ์อัตราการนำทิ้งความร้อนในคอยล์เย็นระบบปรับอากาศของรถยนต์ภายใต้ขอบเขตการทดสอบที่ 1 ดังสมการที่ 4.13

$$Q_R = (-0.1752CW3 + 0.4539CW2 + 1.3031CW)\,CH^{0.05698CW^3 - 0.30261CW^2 + 0.55868CW} \quad (4.13)$$

สมการสัมประสิทธิ์ a และ b สำหรับขอบเขตการทดสอบที่ 2

$$a_2 = 0.6533CW^3 - 4.4838CW^2 + 9.6262CW$$

$$b_2 = -0.0826CW^3 + 0.4548CW^2 - 0.525CW$$

แบบจำลองสหสัมพันธ์อัตราการนำทิ้งความร้อนในคอยล์เย็นระบบปรับอากาศของรถยนต์ภายใต้ขอบเขตการทดสอบที่ 2 ดังสมการที่ 4.14

$$Q_R = (0.6533CW^3 - 4.4838CW^2 + 9.6262CW)\,CH^{-0.0826CW^3+0.4548CW^2-0.523CW} \quad (4.14)$$

จากการจัดรูปสมการจึงได้รูปแบบสมการที่สามารถนำไปใช้ได้อย่างมีนัยทั่วไปได้ดังนี้ $Q_R = (aCW)CH^{bCW}$ เมื่อ Q_R คือ ค่าการนำทิ้งความร้อนของคอยล์เย็นรถยนต์ a และ b คือ ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองสหสัมพันธ์ CW คือ ขนาดความกว้างของคอยล์เย็นรถยนต์ CH คือ ขนาดความสูงของคอยล์เย็นรถยนต์ จัดรูปแบบสมการได้เป็นฟังก์ชันชนิดกำลัง

4.7 ตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างสมการทดสอบกับแบบจำลองสหสัมพันธ์

เมื่อสร้างแบบจำลองสหสัมพันธ์อัตราการนำทิ้งความร้อนมาแล้ว ต้องทำการตรวจสอบค่าความแม่นยำโดยเทียบค่าการนำทิ้งความร้อนระหว่างสมการทดลองกับแบบจำลองสหสัมพันธ์สำหรับการทำนายทั้ง 2 ขอบเขตการทดสอบมีค่าดังตารางที่ 4.21-4.23

ตารางที่ 4.21 เทียบสมการทดลองกับแบบจำลองสหสัมพันธ์

Experimental Equations			
Condition 1	$Q_R = 3.2009CH^{0.359}$	**Condition 2**	$Q_R = 6.4093CH^{0.1783}$
	$Q_R = 3.3094CH^{0.3696}$		$Q_R = 6.3606CH^{0.2064}$
	$Q_R = 3.3757CH^{0.3953}$		$Q_R = 6.1585CH^{0.2769}$
	$Q_R = 3.2859CH^{0.4534}$		$Q_R = 6.1575CH^{0.2942}$
Mathematical Models			
Condition 1	$Q_R = (-0.1752CW^3 + 0.4539CW^2 + 1.3031CW)CH^{0.05698CW^3-0.30261CW^2+0.55868CW}$		
Condition 2	$Q_R = (0.6533CW^3 - 4.4838CW^2 + 9.6262CW)CH^{-0.0826CW^3+0.4548CW^2-0.523CW}$		

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.22 เทียบค่าการนำทิ้งความร้อนระหว่างสมการทดลองกับแบบจำลองสหสัมพันธ์สำหรับขอบเขตการทดสอบที่ 1

Core Size (CW× CH)	$Q_{R,exp}$ (kW)	$Q_{R,math}$ (kW)	Error (%)
221 × 205	4.1418	4.151	1.20
221 × 235	4.3500	4.361	2.95
221 × 265	4.5417	4.553	0.52
221 × 295	4.7200	4.733	0.18
236 × 205	4.3149	4.297	1.20
236 × 235	4.5383	4.519	1.44
236 × 265	4.7444	4.723	1.70
236 × 295	4.9362	4.913	0.30
266 × 205	4.4833	4.493	0.45
266 × 235	4.7320	4.743	0.67
266 × 265	4.9622	4.975	1.44
266 × 295	5.1771	5.191	1.31
297 × 205	4.5501	4.547	0.71
297 × 235	4.8408	4.837	1.21
297 × 265	5.1118	5.107	0.64
297 × 295	5.3665	5.362	0.17

เมื่อทำการเทียบค่าการนำทิ้งความร้อนที่ได้จากสมการแล้ว ค่าความคาดเคลื่อนจากสมการสำหรับขอบเขตการทดสอบที่ 1 เฉลี่ยแล้วมีค่าเท่ากับ 1.01%

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.23 เทียบค่าการนำทิ้งความร้อนระหว่างสมการทดลองกับแบบจำลองสหสัมพันธ์สำหรับขอบเขตการทดสอบที่ 2

Core Size (CW× CH)	$Q_{R,exp}$ (kW)	$Q_{R,math}$ (kW)	Error (%)
221 × 205	7.283	7.28	0.04
221 × 235	7.468	7.46	0.17
221 × 265	7.618	7.61	0.07
221 × 295	7.776	7.76	0.25
236 × 205	7.363	7.38	0.21
236 × 235	7.626	7.60	0.39
236 × 265	7.745	7.79	0.62
236 × 295	7.961	7.97	0.16
266 × 205	7.495	7.51	0.18
266 × 235	7.822	7.79	0.38
266 × 265	8.089	8.05	0.46
266 × 295	8.286	8.29	0.06
297 × 205	7.567	7.60	0.46
297 × 235	7.975	7.91	0.76
297 × 265	8.216	8.20	0.20
297 × 295	8.432	8.46	0.36

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เมื่อทำการเทียบค่าการนำทิ้งความร้อนที่ได้จากสมการแล้ว ค่าความคาดเคลื่อนจากสมการสำหรับขอบเขตการทดสอบที่ 1 เฉลี่ยแล้วมีค่าเท่ากับ 0.30%

บทที่ 5
สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบความสามารถในการนำทิ้งความร้อนของคอยล์เย็นรถยนต์ที่มีขนาดความกว้าง 221, 236, 266 และ 297 มิลลิเมตร และขนาดความสูง 205, 235, 265 และ 295 มิลลิเมตร รวมเป็น 16 กรณี ทดสอบภายใต้ขอบเขตการทดสอบ 2 กรณี รวมเป็น 32 กรณี โดยคอยล์เย็นสำหรับทดสอบในแต่ละขนาดจะทำการทดสอบทั้ง 2 ขอบเขตการทดสอบและทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง ทำการหาค่าเฉลี่ยค่าการนำทิ้งความร้อนในคอยล์เย็นแต่ละกรณีที่สามารถทำได้ จากนั้นนำค่าการนำทิ้งความร้อนมาสร้างเป็นแผนภูมิชนิดเส้นเทียบกับความสูงของคอยล์เย็นทดสอบ แล้วทำการปรับเทียบกับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เพื่อเป็นสร้างสมการทดลอง แต่สมการที่สร้างได้ยังไม่มีปัจจัยด้านความกว้างประกอบอยู่ในสมการ จึงจำเป็นต้องนำสัมประสิทธิ์ของสมการทดลองมาสร้างแผนภูมิชนิดเส้นโดยเทียบกับปัจจัยด้านความกว้างของคอยล์เย็นทดสอบ จากนั้นนำสมการสัมประสิทธิ์มาจัดรูปให้อยู่ในรูปสมการทดสอบ จึงได้เป็นแบบจำลองสหสัมพันธ์อัตราการนำทิ้งความร้อนในคอยล์เย็นระบบปรับอากาศของรถยนต์

5.1 สรุปผลงานวิจัย

1. ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์สำหรับคอยล์เย็นทดสอบทั้ง 32 กรณี คือ ฟังก์ชันชนิดกำลัง

2. แบบจำลองสหสัมพันธ์อัตราการนำทิ้งความร้อนในคอยล์เย็นระบบปรับอากาศของรถยนต์สำหรับกรณีในขอบเขตการทดสอบที่ 1

$$Q_R = (-0.1752CW3 + 0.4539CW2 + 1.3031CW\, CH^{0.05698CW^3-0.30261CW^2+0.55868CW} \quad (5.1)$$

3. แบบจำลองสหสัมพันธ์อัตราการนำทิ้งความร้อนในคอยล์เย็นระบบปรับอากาศของรถยนต์สำหรับกรณีในขอบเขตการทดสอบที่ 2

$$Q_R = (0.6533CW^3 - 4.4838CW^2 + 9.6262CW)\, CH^{-0.0826CW^3+0.4548CW^2-0.523CW} \quad (5.2)$$

เมื่อ Q_R คือ ค่าการนำทิ้งความร้อน (kW)

CW คือ ความกว้างของคอยล์เย็นรถยนต์ (mm)

CH คือ ความสูงของคอยล์เย็นรถยนต์ (mm)

4. ค่าความเคลื่อนการทำนายค่าการนำทิ้งความร้อนระหว่างแบบจำลองสหสัมพันธ์เทียบกับสมการทดลอง

- แบบจำลองสหสัมพันธ์อัตราการนำทิ้งความร้อนในคอยล์เย็นระบบปรับอากาศของรถยนต์สำหรับขอบเขตการทดสอบที่ 1 เท่ากับ 1.01%

- แบบจำลองสหสัมพันธ์อัตราการนำทิ้งความร้อนในคอยล์เย็นระบบปรับอากาศของรถยนต์สำหรับขอบเขตการทดสอบที่ 2 เท่ากับ 0.30%

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. แบบจำลองสหสัมพันธ์ที่สร้างขึ้นเหมาะสมกับการทำนายค่าการนำทิ้งความร้อนของคอยล์เย็นรถยนต์ที่มีขนาดตั้งแต่ ความกว้าง 221 มิลลิเมตรจนถึง 297 มิลลิเมตร และ ความสูง 205 มิลลิเมตร จนถึง 295 มิลลิเมตรเท่านั้น

2. แบบจำลองสหสัมพันธ์ที่สร้างขึ้นเหมาะสมกับคอยล์เย็นที่ทดสอบภายใต้เงื่อนไขขอบเขตการทดสอบของงานวิจัยนี้เท่านั้น โดยต้องทำการศึกษาขอบเขตการทดสอบเพิ่มเติมให้แบบจำลองสามารถทำนายได้อย่างครอบคลุม

3. แบบจำลองสหสัมพันธ์ที่สร้างขึ้นสามารถทำนายได้เพียงค่าการนำทิ้งความร้อนที่คอยล์เย็นรถยนต์สามารถทำได้เท่านั้น โดยต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อทำนายค่าสมรรถนะอื่น ๆ ที่คอยล์เย็นสามารถทำได้

4. แบบจำลองสหสัมพันธ์ที่สร้างขึ้นสามารถทำนายค่าการนำทิ้งความร้อนได้สำหรับคอยล์เย็นรถยนต์ชนิด High Performance เท่านั้น โดยต้องทำการทดสอบคอยล์เย็นรถยนต์ชนิดอื่นเพื่อให้แบบจำลองสหสัมพันธ์สามารถทำนายได้อย่างครอบคลุม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์ ณรงค์ อึ้งกิมบ้วน และสิทธิชัยรุ่งสว่าง (2562). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งเห็ดหอมด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ**, 14(3), 1-13.

จิราวัฒน์ วงษ์มาศจันทร์, อภิชาติ อาจนาเสียว, ฉัตรชัย เบญจปิยะพร (2555). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การทำน้ำเย็นของกระบวนการอบแห้งสุญญากาศแบบสูบความร้อน, **วารสารศรีปทุมปริทัศน์ (ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)**, 4(1), 1062-1071.

จงยศ เทียนดำ (2562). สหสัมพันธ์สำหรับทำนายความดันลดของการไหลผ่านครีบแลกเปลี่ยนความร้อน. **วิศวสารลาดกระบัง**, 36(3), 16-23.

ชญานนท์ แสงมณี และวุฒิชัย สิทธิวงษ์ (2563). ระบบทำความเย็นแบบอัดไอร่วมกับอีเจ็คเตอร์. **วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี**, 1(2), 110-122.

ณัทกร ทุริสุทธิ์, เทอดเกียรติ ลิมปิทีปราการ, สถาพร ทองวิค และฉัตรชัย นิมมล (2012). The Analysis of Heat Pump Performance Using R-410A for Drying. **Journal of Engineering, RMUTT**, 1, 41-48.

นิกร เนื่องอุตม์ ปิยากร จันทะนะ, สมนึก เครือสอน และณรงค์ฤทธิ์ พิมพ์คำวงศ์ (2559). การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนโดยใช้ลมเย็นจากพัดลมระบายอากาศ. **วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร**, 10(1), 15-23.

นิรันดร์ วัชโรดม. (2561). การเพิ่มสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนโดยอาศัยพลังงานควาามร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่. **วารสารวิชาการ มทร.สุวรรณภูมิ**, 6(2), 134-147.

บุญชัย แซ่ลิ้ว และณัฐธยาน์ โสกุล (2559). การลดของเสียในขั้นตอนกระบวนการบรรจุโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการลอง กรณีศึกษา: บริษัทผลิตขนมขบเคี้ยว. **วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง**, 9(2), 30-44.

ปฐมพงษ์ หอมศรี และจักรพรรณ คงธนะ (2556). การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฉีดพลาสติกสำหรับชิ้นส่วนยานยนต์โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง. **วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต**, 3(2), 73-95.

ปวีณ์สุดา ปานอำไพ และดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย (2554). การลดของเสียผลิตภัณฑ์คอยล์เย็นในอุตสาหกรรมยานยนต์โดยการประยุกต์ใช้แนวทางของซิกซ์ซิกมา DMAIC. **วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา**, 22(2), 56-64.

วรวีร์ ปัญญาคำ และธนา ราษฎร์ภักดี (2016). การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบอบแห้งแบบหมุนชนิดไหลสวนทาง. **วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ**, 1(2), 95-105.

สมชาย วรกิจเกษมสกุล (2553). **ระเบียบวิธีการวิธีการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์**. (พิมพ์ครั้งที่ 2). อุดรธานี: อักษรศิลป์การพิมพ์.

สมศักดิ์ สุโมตยกุล (2559). **เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ**. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

สิริสวัสดิ์ จึงเจริญนิรชร และทวีวัฒน์ สุภารส (2563). การเพิ่มประสิทธิภาพระบบปรับอากาศด้วยการลดอุณหภูมิสารทำความเย็นก่อนเข้าคอนเดนเซอร์โดยใช้ถังแลกเปลี่ยนความร้อน. **วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย**, 12(2), 312-322.

มานพ พิพัฒหัตถกุล (2557). การควบคุมความชื้นในการปรับอากาศโดยก๊าซร้อนจากคอนเดนเซอร์, **วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา**, 25, 103-112.

อุทัย ประสพชิงชนะ (2553). การหาสหสัมพันธ์จากการทดลองของการพาความร้อนด้วอากาศบนระนาบเรียบ. **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ**, 20(3), 633-638.

Arnon Saicomfu, et al. (2017). Design and Development Air-Condition and Refrigeration System for Seed Storage, **Thai Agricultural Research Journal**, 35(2), 136150.

Chakkawan Boonwan, et al. (2020). Development of a Mathematical Model to Predict Soil Temperature for the Growth of Chrysanthemum Sprouts. **Research Journal Rajamangala University of Technology Thanyaburi**, 19(1), 74-85.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก

ผลจำลองการทดสอบค่าการนำทิ้งความร้อนของคอยล์เย็นทดสอบ

สำหรับขอบเขตการทดลองที่ 1

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.1 ค่าการนำทิ้งความร้อนสำหรับขอบเขตการทดสอบที่ 1

Case	CW (mm)	CH (mm)	Air Flow (CMH)	Humidity (%)	Air Temp (^{o}C)	P_{in} (kPa)	P_{out} (kPa)	SC Temp (^{o}C)	SH Temp (^{o}C)	Heat Removal (kW)			
										Result 1st	Result 2nd	Result 3rd	AVG
1-1	221	205	400	50	27	1530	193	5	7.5	4.171	4.182	4.252	4.1418
2-1	221	235	400	50	27	1530	193	5	7.5	4.234	4.212	4.261	4.3500
3-1	221	265	400	50	27	1530	193	5	7.5	4.585	4.586	4.560	4.5417
4-1	221	295	400	50	27	1530	193	5	7.5	4.748	4.736	4.74	4.7200
5-1	236	205	400	50	27	1530	193	5	7.5	4.317	4.38	4.352	4.349
6-1	236	235	400	50	27	1530	193	5	7.5	4.461	4.438	4.464	4.5383
7-1	236	265	400	50	27	1530	193	5	7.5	4.804	4.74	4.87	4.7444
8-1	236	295	400	50	27	1530	193	5	7.5	5.06	4.859	4.863	4.9362
9-1	266	205	400	50	27	1530	193	5	7.5	4.411	4.498	4.51	4.4833
10-1	266	235	400	50	27	1530	193	5	7.5	4.64	4.75	4.745	4.7320
11-1	266	265	400	50	27	1530	193	5	7.5	5.076	5.005	5.061	4.9622
12-1	266	295	400	50	27	1530	193	5	7.5	5.057	5.16	5.154	5.1771
13-1	297	205	400	50	27	1530	193	5	7.5	4.54	4.532	4.665	4.5501
14-1	297	235	400	50	27	1530	193	5	7.5	4.626	4.801	4.91	4.8408
15-1	297	265	400	50	27	1530	193	5	7.5	5.163	5.207	5.051	5.1118
16-1	297	295	400	50	27	1530	193	5	7.5	5.527	5.338	5.248	5.3665

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ข

ผลจำลองการทดสอบค่าการนำทิ้งความร้อนของคอยล์เย็นทดสอบ

สำหรับขอบเขตการทดลองที่ 2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.1 ค่าการนำทิ้งความร้อนสำหรับขอบเขตการทดสอบที่ 2

Case	CW (mm)	CH (mm)	Air Flow (CMH)	Humidity (%)	Air Temp (^{o}C)	P_{in} (kPa)	P_{out} (kPa)	SC Temp (^{o}C)	SH Temp (^{o}C)	Heat Removal (kW)			
										Result 1st	Result 2nd	Result 3rd	AVG
1-2	221	205	400	40	40	1400	200	5	5	7.275	7.304	7.271	7.283
2-2	221	235	400	40	40	1400	200	5	5	7.451	7.442	7.512	7.468
3-2	221	265	400	40	40	1400	200	5	5	7.532	7.673	7.650	7.618
4-2	221	295	400	40	40	1400	200	5	5	7.74	7.781	7.806	7.776
5-2	236	205	400	40	40	1400	200	5	5	7.331	7.34	7.417	7.363
6-2	236	235	400	40	40	1400	200	5	5	7.634	7.615	7.628	7.626
7-2	236	265	400	40	40	1400	200	5	5	7.722	7.778	7.735	7.745
8-2	236	295	400	40	40	1400	200	5	5	7.987	7.946	7.95	7.961
9-2	266	205	400	40	40	1400	200	5	5	7.529	7.473	7.483	7.495
10-2	266	235	400	40	40	1400	200	5	5	7.819	7.807	7.841	7.822
11-2	266	265	400	40	40	1400	200	5	5	8.071	8.082	8.114	8.089
12-2	266	295	400	40	40	1400	200	5	5	8.267	8.297	8.293	8.286
13-2	297	205	400	40	40	1400	200	5	5	7.509	7.568	7.625	7.567
14-2	297	235	400	40	40	1400	200	5	5	7.972	7.955	7.999	7.975
15-2	297	265	400	40	40	1400	200	5	5	8.322	8.003	8.322	8.216
16-2	297	295	400	40	40	1400	200	5	5	8.367	8.478	8.452	8.432

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ค

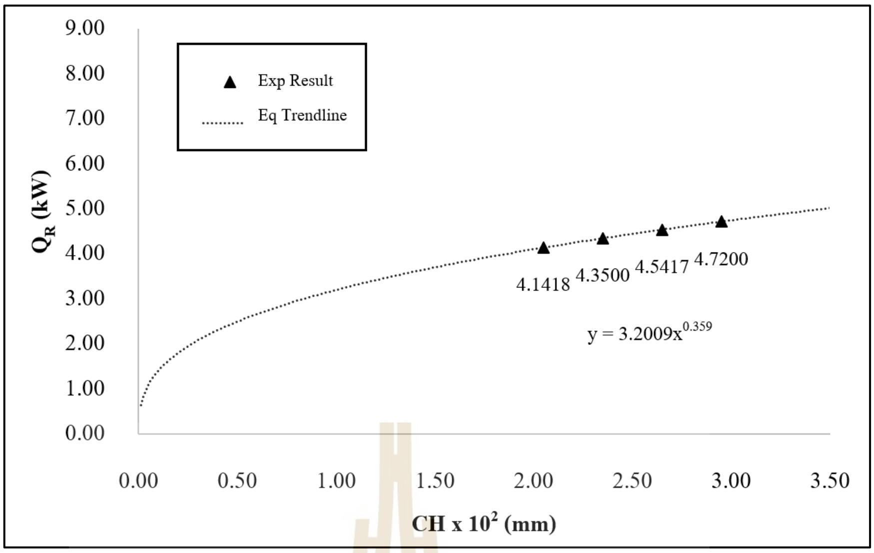
ค่าการทดสอบค่าการนำทิ้งความร้อนของคอยล์เย็นทดสอบสำหรับขอบเขต
การทดลองที่ 1 กับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

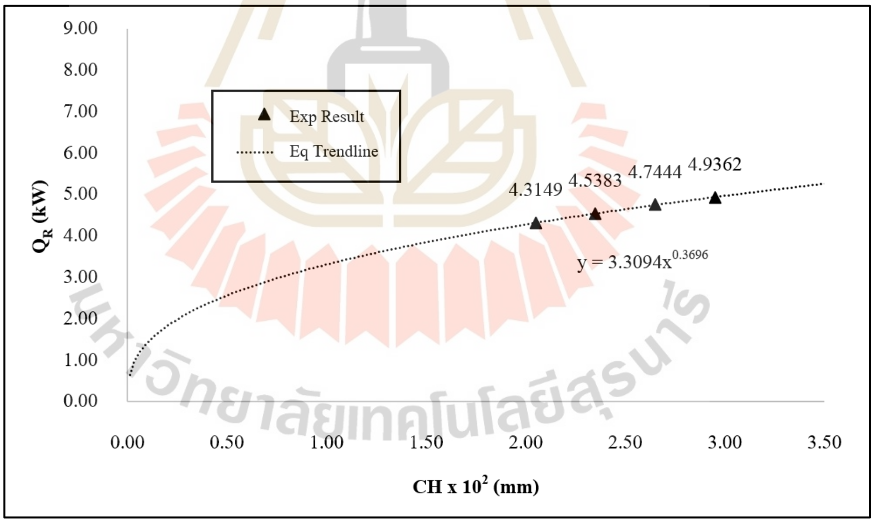
ตารางที่ ค.1 ค่าเฉลี่ยการนำทิ้งความร้อนสำหรับขอบเขตการทดสอบที่ 1

CASE	CW (mm)	CH (mm)	Heat Removal (kW)
1-1	221	205	4.1418
2-1	221	235	4.3500
3-1	221	265	4.5417
4-1	221	295	4.7200
5-1	236	205	4.3149
6-1	236	235	4.5383
7-1	236	265	4.7444
8-1	236	295	4.9362
9-1	266	205	4.4833
10-1	266	235	4.7320
11-1	266	265	4.9622
12-1	266	295	5.1771
13-1	297	205	4.5501
14-1	297	235	4.8408
15-1	297	265	5.1118
16-1	297	295	5.3665

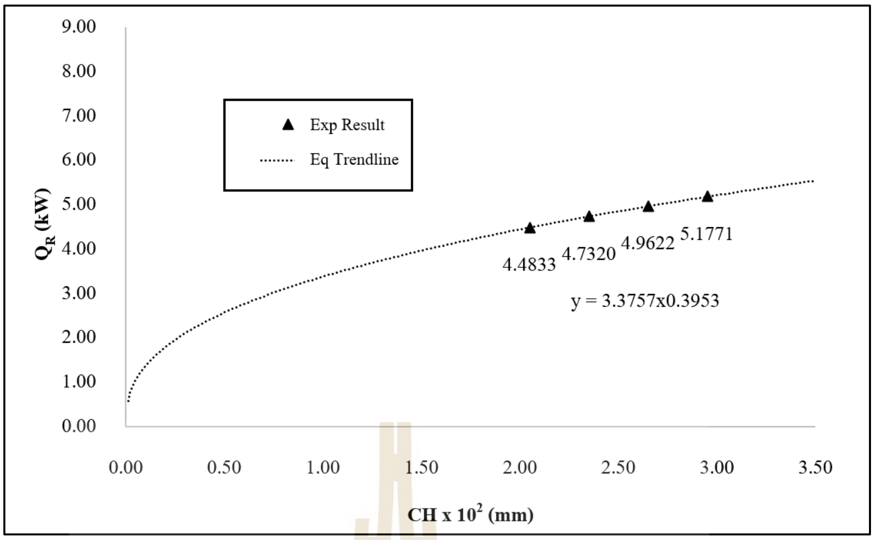
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



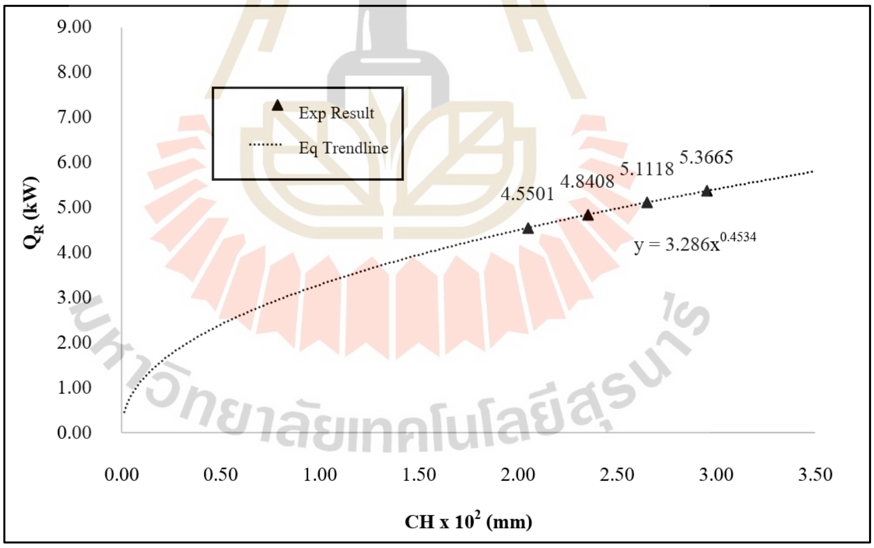
รูปที่ ค.1 ค่าการนำทิ้งความร้อนเทียบกับความสูงของคอยล์เย็นกรณีทดสอบคอยล์เย็น ขนาดความกว้าง 221 มิลลิเมตร



รูปที่ ค.2 ค่าการนำทิ้งความร้อนเทียบกับความสูงของคอยล์เย็นกรณีทดสอบคอยล์เย็น ขนาดความกว้าง 236 มิลลิเมตร



รูปที่ ค.3 ค่าการนำทิ้งความร้อนเทียบกับความสูงของคอยล์เย็นกรณีทดสอบคอยล์เย็นขนาดความกว้าง 266 มิลลิเมตร



รูปที่ ค.4 ค่าการนำทิ้งความร้อนเทียบกับความสูงของคอยล์เย็นกรณีทดสอบคอยล์เย็นขนาดความกว้าง 297 มิลลิเมตร

ภาคผนวก ง

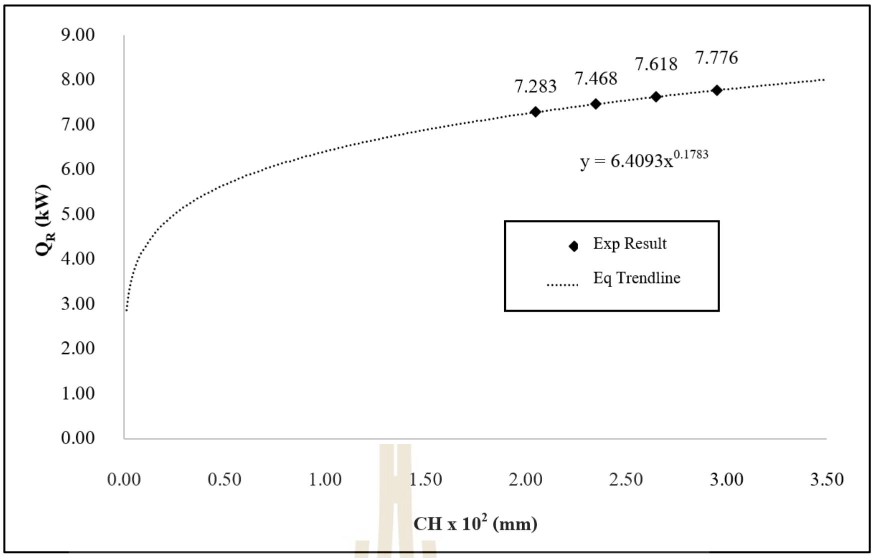
ค่าการทดสอบค่าการนำทิ้งความร้อนของคอยล์เย็นทดสอบสำหรับขอบเขตการทดลองที่ 2 กับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

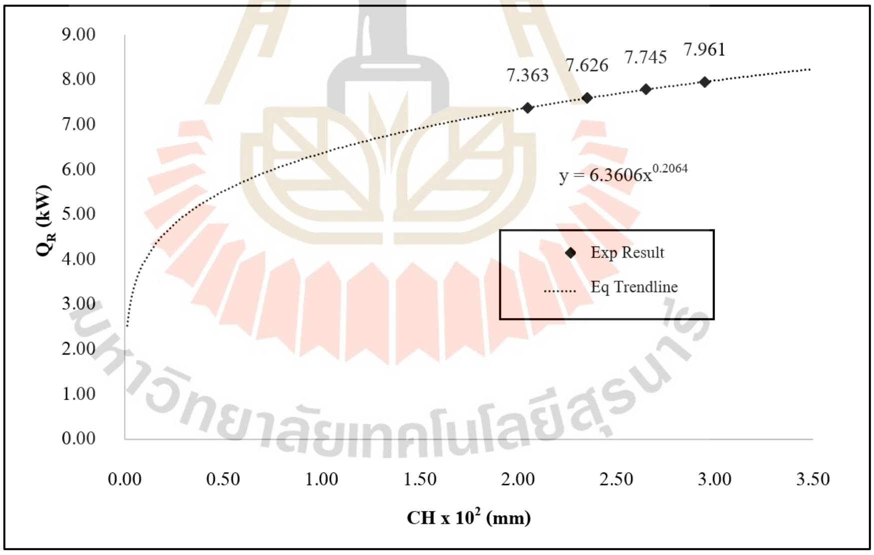
ตารางที่ ง.1 ค่าเฉลี่ยการนำทิ้งความร้อนสำหรับขอบเขตการทดสอบที่ 2

CASE	CW (mm)	CH (mm)	Heat Removal (kW)
1-2	221	205	7.283
2-2	221	235	7.468
3-2	221	265	7.618
4-2	221	295	7.776
5-2	236	205	7.363
6-2	236	235	7.626
7-2	236	265	7.745
8-2	236	295	7.961
9-2	266	205	7.495
10-2	266	235	7.822
11-2	266	265	8.089
12-2	266	295	8.286
13-2	297	205	7.567
14-2	297	235	7.975
15-2	297	265	8.216
16-2	297	295	8.432

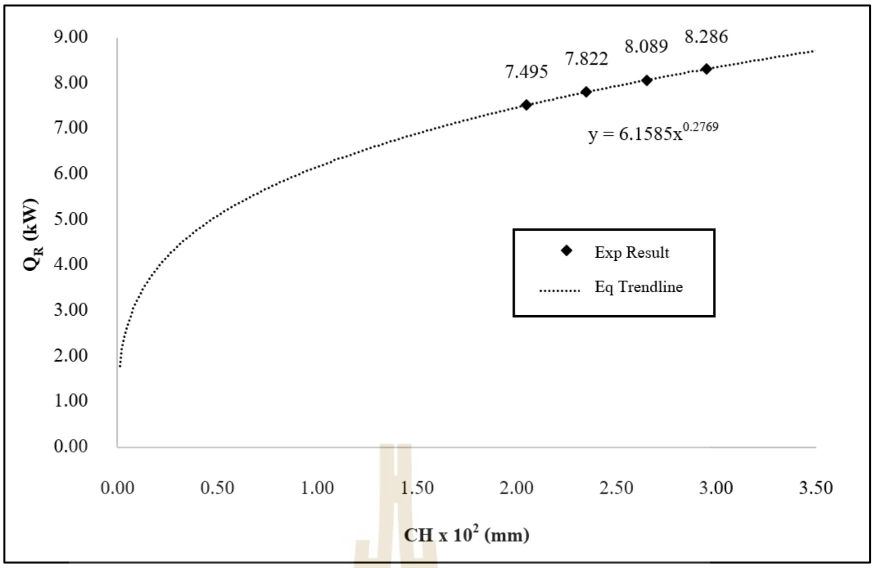
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



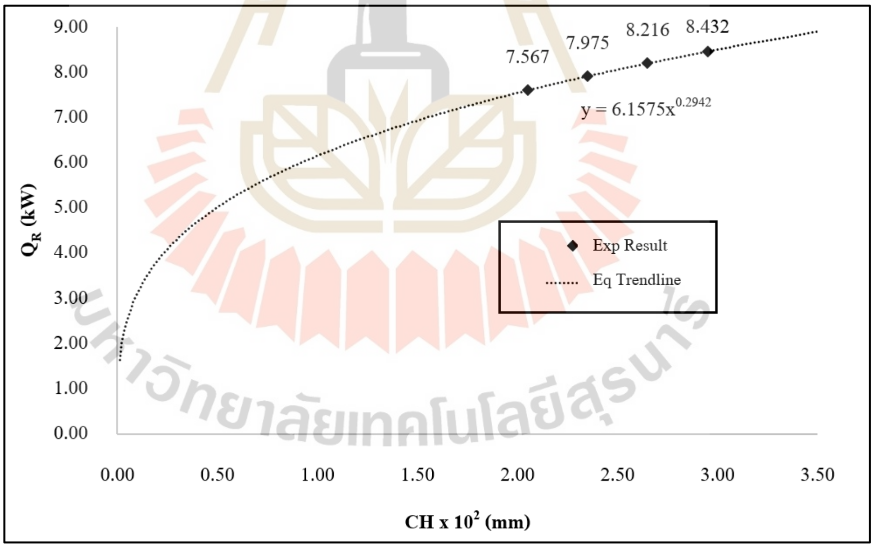
รูปที่ ง.1 ค่าการนำทิ้งความร้อนเทียบกับความสูงของคอยล์เย็นกรณีทดสอบคอยล์เย็นขนาดความกว้าง 221 มิลลิเมตร



รูปที่ ง.2 ค่าการนำทิ้งความร้อนเทียบกับความสูงของคอยล์เย็นกรณีทดสอบคอยล์เย็นขนาดความกว้าง 236 มิลลิเมตร



รูปที่ ง.3 ค่าการนำทิ้งความร้อนเทียบกับความสูงของคอยล์เย็นกรณีทดสอบคอยล์เย็น ขนาดความกว้าง 266 มิลลิเมตร



รูปที่ ง.4 ค่าการนำทิ้งความร้อนเทียบกับความสูงของคอยล์เย็นกรณีทดสอบคอยล์เย็น ขนาดความกว้าง 297 มิลลิเมตร

ภาคผนวก จ

ค่าความคลาดเคลื่อนค่าการนำทิ้งความร้อนระหว่างสมการทดลองกับแบบจำลองสหสัมพันธ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ จ.1 ค่าความคลาดเคลื่อนค่าการนำทิ้งความร้อนสำหรับขอบเขตการทดลองที่ 1

Case		**Heat Removal (kW)**		
CW (mm)	**CH (mm)**	$Q_{R,exp}$	$Q_{R,Math}$	**Error (%)**
221	205	4.202	4.151	1.20
221	235	4.236	4.361	2.95
221	265	4.577	4.553	0.52
221	295	4.741	4.733	0.18
236	205	4.350	4.297	1.20
236	235	4.454	4.519	1.44
236	265	4.805	4.723	1.70
236	295	4.927	4.913	0.30
266	205	4.473	4.493	0.45
266	235	4.712	4.743	0.67
266	265	5.047	4.975	1.44
266	295	5.124	5.191	1.31
297	205	4.579	4.547	0.71
297	235	4.779	4.837	1.21
297	265	5.140	5.107	0.64
297	295	5.371	5.362	0.17

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ จ.2 ค่าความคลาดเคลื่อนค่าการนำทิ้งความร้อนสำหรับขอบเขตการทดลองที่ 2

Case		**Heat Removal (kW)**		
CW (mm)	**CH (mm)**	$Q_{R,exp}$	$Q_{R,Math}$	**Error (%)**
221	205	7.283	7.28	0.04
221	235	7.468	7.46	0.17
221	265	7.618	7.61	0.07
221	295	7.776	7.76	0.25
236	205	7.363	7.38	0.21
236	235	7.626	7.60	0.39
236	265	7.745	7.79	0.62
236	295	7.961	7.97	0.16
266	205	7.495	7.51	0.18
266	235	7.822	7.79	0.38
266	265	8.089	8.05	0.46
266	295	8.286	8.29	0.06
297	205	7.567	7.60	0.46
297	235	7.975	7.91	0.76
297	265	8.216	8.20	0.20
297	295	8.432	8.46	0.36

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ฉ

ตารางบันทึกผลการทดสอบค่าการนำทิ้งความร้อน

ตารางที่ ฉ.1 ผลการทดสอบสรรถนะของคอยล์เย็น

กรณี	ความกว้างของคอยล์เย็น	ความสูงของคอยล์เย็น	ปริมาณลม	ความชื้นสัมพัทธ์	อุณหภูมิอากาศ	ความดันเข้า	ความดันออก	อุณหภูมิของเหลวเย็นยิ่ง	อุณหภูมิไอร้อนยิ่งยวด
	(mm)	(mm)	(CMH)	(%)	(°C)	(kPa)	(kPa)	(°C)	(°C)
C1-1	221	205	400	50	27	1530	193	5	7.5
C1-2	221	205	400	40	40	1400	200	5	5
C2-1	221	235	400	50	27	1530	193	5	7.5
C2-2	221	235	400	40	40	1400	200	5	5
C3-1	221	265	400	50	27	1530	193	5	7.5
C3-2	221	265	400	40	40	1400	200	5	5
C4-1	221	295	400	50	27	1530	193	5	7.5
C4-2	221	295	400	40	40	1400	200	5	5
C5-1	236	205	400	50	27	1530	193	5	7.5
C5-2	236	205	400	40	40	1400	200	5	5
C6-1	236	235	400	50	27	1530	193	5	7.5
C6-2	236	235	400	40	40	1400	200	5	5
C7-1	236	265	400	50	27	1530	193	5	7.5
C7-2	236	265	400	40	40	1400	200	5	5
C8-1	236	295	400	50	27	1530	193	5	7.5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ฉ.1 ผลการทดสอบสรรถนะของคอยล์เย็น (ต่อ)

กรณี	ความกว้างของคอยล์เย็น	ความสูงของคอยล์เย็น	ปริมาณลม	ความชื้นสัมพัทธ์	อุณหภูมิอากาศ	ความดันเข้า	ความดันออก	อุณหภูมิของเหลวเย็นยิ่ง	อุณหภูมิไอร้อนยิ่งยวด
	(mm)	(mm)	(CMH)	(%)	(°C)	(kPa)	(kPa)	(°C)	(°C)
C8-2	236	295	400	50	27	1530	193	5	7.5
C9-1	266	205	400	50	27	1530	193	5	7.5
C9-2	266	205	400	40	40	1400	200	5	5
C10-1	266	235	400	50	27	1530	193	5	7.5
C10-2	266	235	400	40	40	1400	200	5	5
C11-1	266	265	400	50	27	1530	193	5	7.5
C11-2	266	265	400	40	40	1400	200	5	5
C12-1	266	295	400	50	27	1530	193	5	7.5
C12-2	266	295	400	40	40	1400	200	5	5
C13-1	297	205	400	50	27	1530	193	5	7.5
C13-2	297	205	400	40	40	1400	200	5	5
C14-1	297	235	400	50	27	1530	193	5	7.5
C14-2	297	235	400	40	40	1400	200	5	5
C15-1	297	265	400	50	27	1530	193	5	7.5
C15-2	297	265	400	40	40	1400	200	5	5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ฉ.1 ผลการทดสอบสรรถนะของคอยล์เย็น (ต่อ)

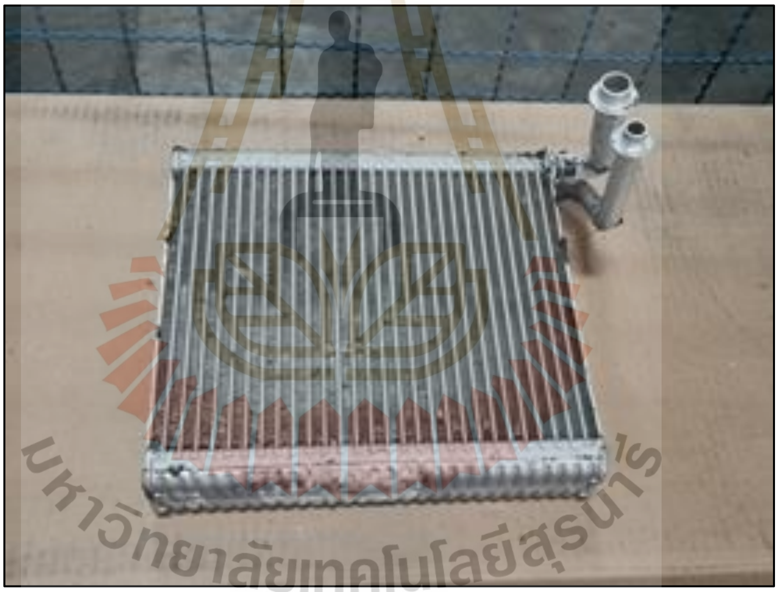
กรณี	ความกว้างของคอยล์เย็น	ความสูงของคอยล์เย็น	ปริมาณลม	ความชื้นสัมพัทธ์	อุณหภูมิอากาศ	ความดันเข้า	ความดันออก	อุณหภูมิของเหลวเย็นยิ่ง	อุณหภูมิไอร้อนยิ่งยวด
	(mm)	(mm)	(CMH)	(%)	($^{\circ}$C)	(kPa)	(kPa)	($^{\circ}$C)	($^{\circ}$C)
C16-1	297	295	400	50	27	1530	193	5	7.5
C16-2	297	295	400	50	27	1530	193	5	7.5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ช

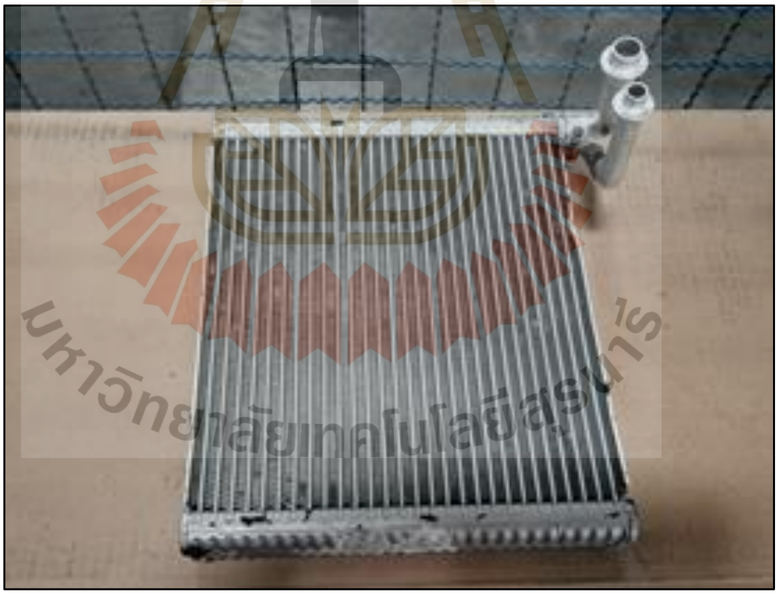
รูปคอยล์เย็นทดสอบทั้ง 16 กรณี

รูปที่ ช.1 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 221 มิลลิเมตร

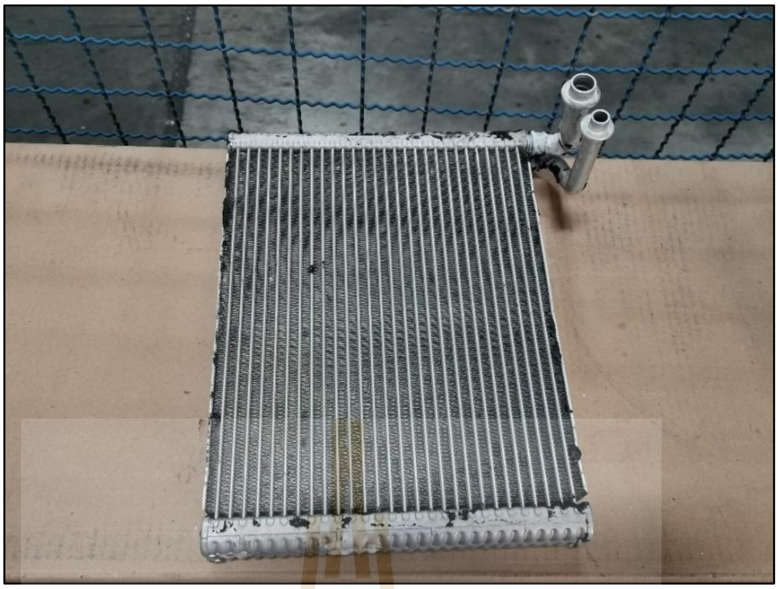


รูปที่ ช.2 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 221 มิลลิเมตร และความสูง 205 มิลลิเมตร

รูปที่ ช.3 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 221 มิลลิเมตร และความสูง 235 มิลลิเมตร



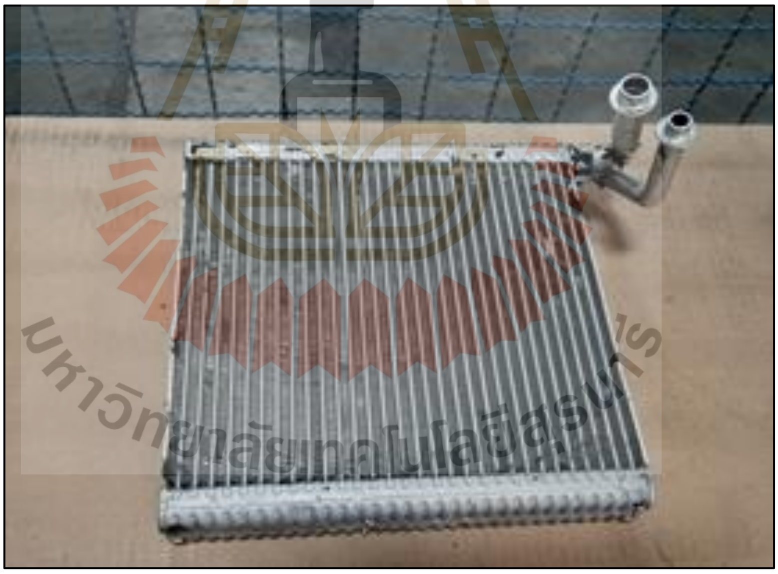
รูปที่ ช.4 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 221 มิลลิเมตร และความสูง 265 มิลลิเมตร



รูปที่ ช.5 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 221 มิลลิเมตร และความสูง 295 มิลลิเมตร

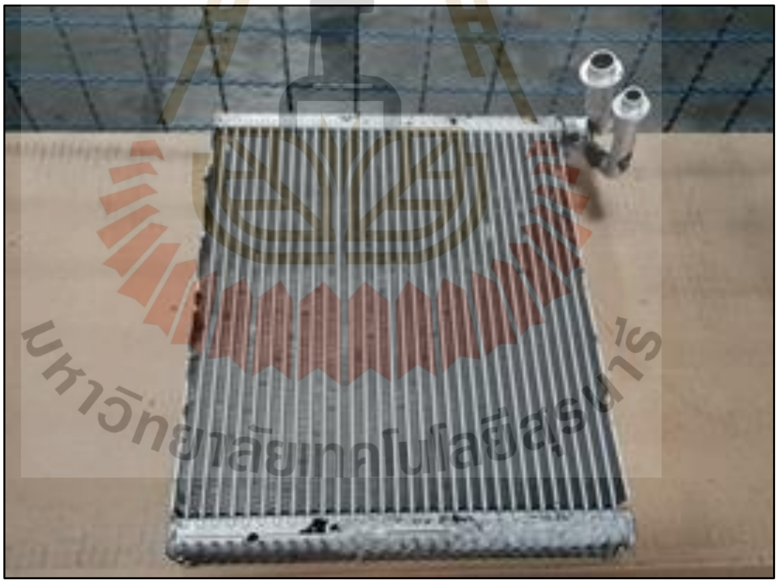
รูปที่ ช.6 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 236 มิลลิเมตร

รูปที่ ช.7 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 236 มิลลิเมตร และความสูง 205 มิลลิเมตร



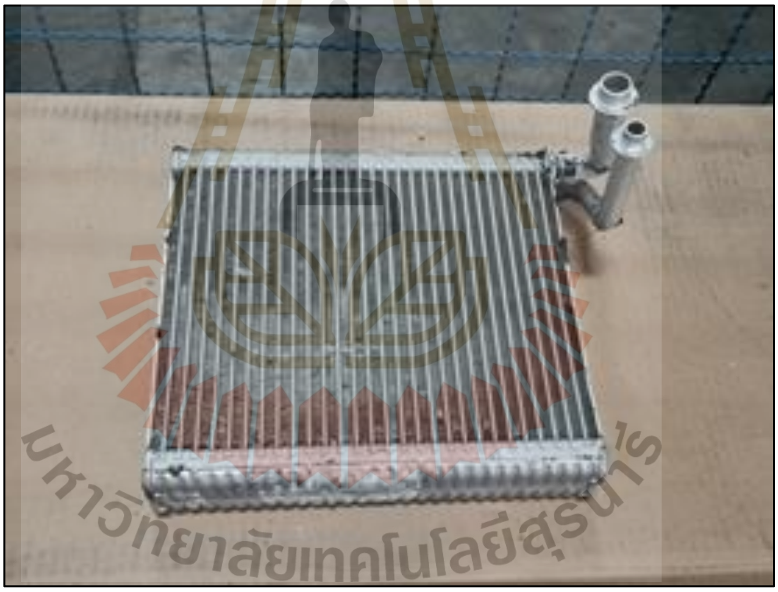
รูปที่ ช.8 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 236 มิลลิเมตร และความสูง 235 มิลลิเมตร

รูปที่ ช.9 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 236 มิลลิเมตร และความสูง 265 มิลลิเมตร

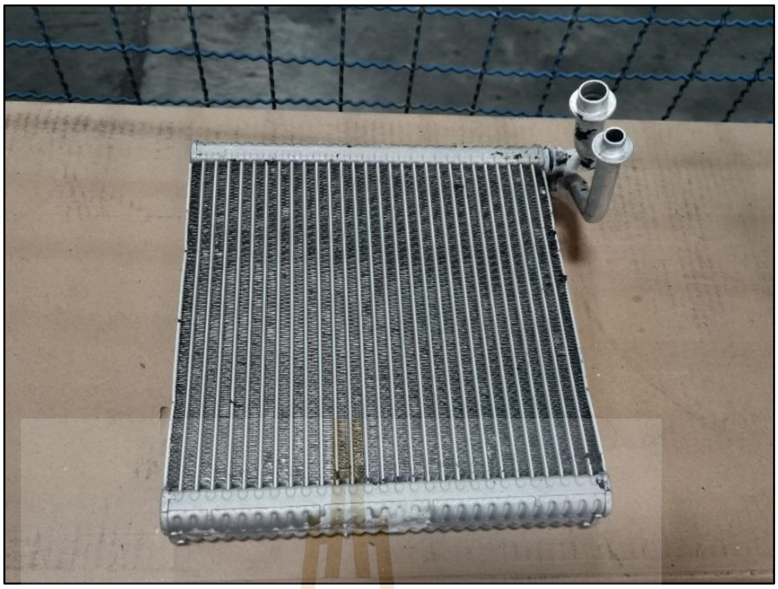


รูปที่ ช.10 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 236 มิลลิเมตร และความสูง 295 มิลลิเมตร

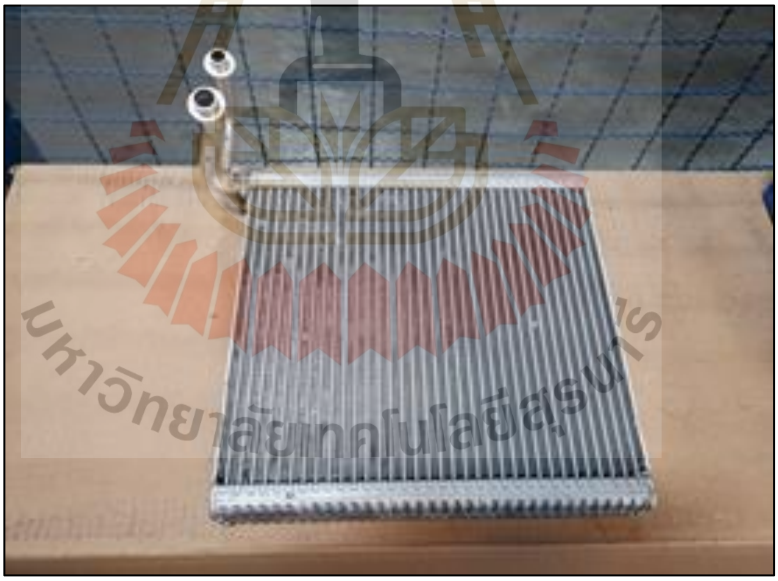
รูปที่ ช.11 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 266 มิลลิเมตร



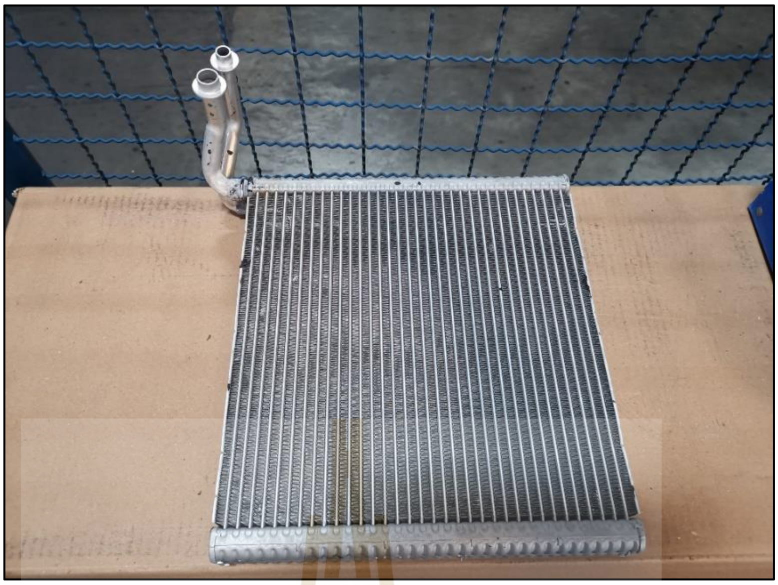
รูปที่ ช.12 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 266 มิลลิเมตร และความสูง 205 มิลลิเมตร



รูปที่ ช.13 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 266 มิลลิเมตร และความสูง 235 มิลลิเมตร

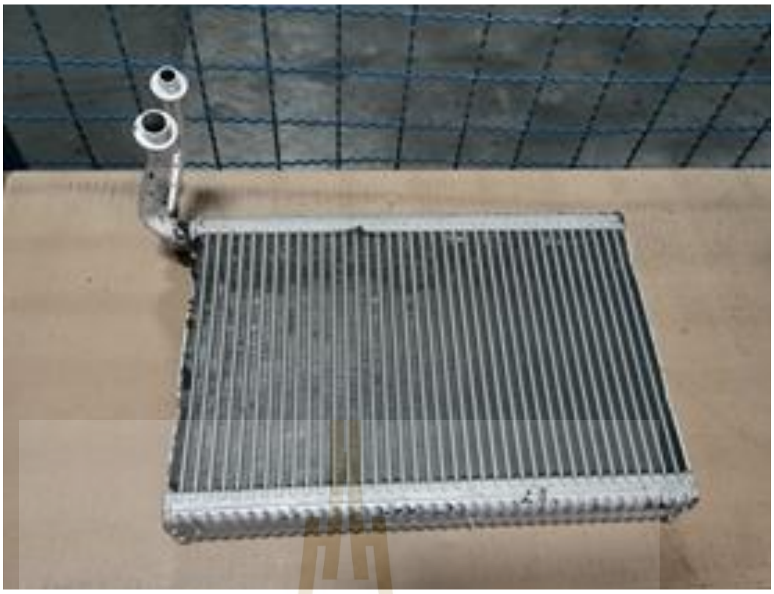


รูปที่ ช.14 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 266 มิลลิเมตร และความสูง 265 มิลลิเมตร

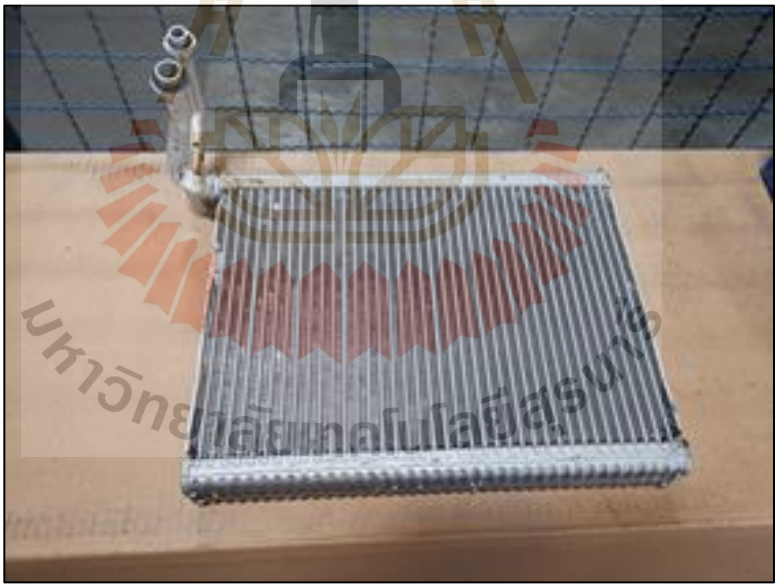


รูปที่ ช.15 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 266 มิลลิเมตร และความสูง 295 มิลลิเมตร

รูปที่ ช.16 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 297 มิลลิเมตร

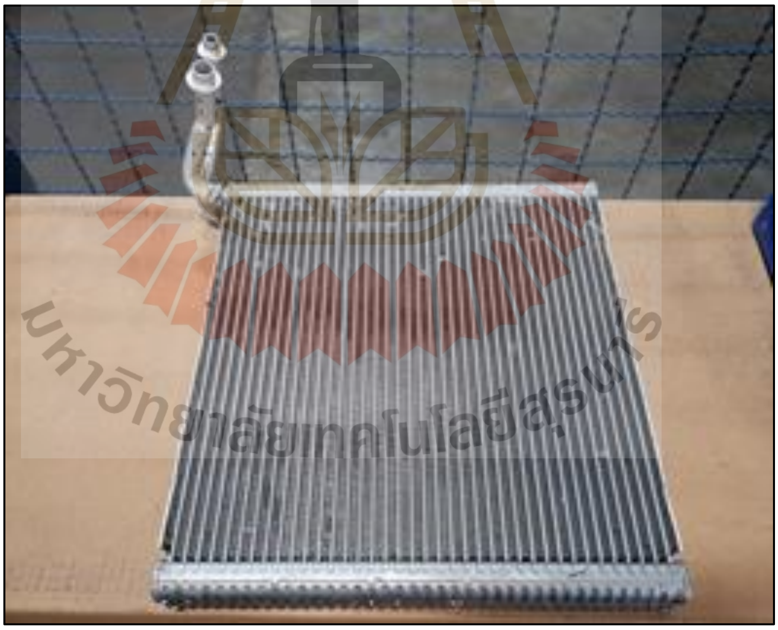


รูปที่ ช.17 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 297 มิลลิเมตร และความสูง 205 มิลลิเมตร



รูปที่ ช.18 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 297 มิลลิเมตร และความสูง 235 มิลลิเมตร

รูปที่ ช.19 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 297 มิลลิเมตร และความสูง 265 มิลลิเมตร



รูปที่ ช.20 คอยล์เย็นทดสอบขนาดความกว้าง 297 มิลลิเมตร และความสูง 295 มิลลิเมตร

ประวัติผู้เขียน

นายพัชรวีร์ ประทุมรัตน์ เกิดวันที่ 9 ธันวาคม พุทธศักราช 2537 ศึกษาชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 โรงเรียนมหาชัยคริสเตียนวิทยา จังหวัดสมุทรสาคร ศึกษาชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 ณ โรงเรียนสมุทรสาครวิทยาลัย จังหวัดสมุทรสาคร สำเร็จการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมยานยนต์) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2561 และเข้าศึกษาต่อในระดับมหาบัณฑิตศึกษา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2561 ในขณะศึกษาได้ทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยสอน ในรายวิชาพื้นฐานวิศวกรรมเครื่องกล ปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกลและเขียนแบบวิศวกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี