บทที่ 4
การประยุกต์และการปรับปรุงคอนเดนเซอร์เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดกะทัดรัด

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงงานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้คอนเดนเซอร์รถยนต์เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่มีการใช้เตาอบในกระบวนการผลิต จะมีการใช้ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยตรงไม่ต้องอาศัยสื่อกลาง (Heat medium) เช่น น้ำ ไอน้ำ หรือน้ำมัน ดังนั้น ความร้อนที่สูญเสียจึงเกิดขึ้นเฉพาะกับก๊าซไอเสียเพียงอย่างเดียว โดยมีปริมาณสูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมผลิตขนมอบกรอบแบบต่าง ๆ ก๊าซไอเสียที่ออกจากเตาอบจะมีอุณหภูมิสูงประมาณ 230-600 $^{\circ}$C (พงษ์ธร จรัญญากรณ์, 2542) และสามารถนำกลับคืนมาใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งจะเป็นการประหยัดพลังงานในกระบวนการผลิตอันเป็นการช่วยลดต้นทุน และลดการใช้ปริมาณพลังงานลง หากแต่ในทางปฏิบัตินั้นต้องใช้เงินลงทุนในการติดตั้งระบบค่อนข้างสูง ดังนั้นเพื่อหาแนวทางในการลดต้นทุนในการติดตั้งระบบ ในงานวิจัยที่จะกล่าวถึงนี้จึงได้ออกแบบและสร้างระบบนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่โดยใช้คอนเดนเซอร์สำหรับระบบปรับอากาศในรถยนต์เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน อันเป็นการใช้งานกลับทิศทาง นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวเนื่องกันคือการทดสอบมุมเอียงตัวที่ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนดีที่สุดของคอนเดนเซอร์รถยนต์ที่นำมาใช้งานดังกล่าวข้างต้น (เนื่องจากมีขนาดกะทัดรัด (Compact heat exchanger) คือมีพื้นที่ในการรับความร้อนสูงซึ่งโดยส่วนมากแล้วจะอยู่ในรูปของครีบ และมีสภาพการนำความร้อนสูงโดยผลิตจากวัสดุอลูมิเนียมซึ่งส่งผลให้สามารถแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดี อีกทั้งมีราคาที่ถูก และหาได้ง่ายในท้องตลาด) เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการลดการใช้พลังงานของกระบวนการผลิต ในบทนี้จะได้กล่าวถึงงานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งแบ่งเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ การประยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อแบนติดครีบเกล็ดย่นมาใช้ในระบบนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่ ผลของมุมเอียงตัวที่มีต่อโครงสร้างการไหลและการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดกะทัดรัดกรณีตัวเลขเรย์โนลดส์ต่ำ และจะได้เปรียบเทียบงานตัวแปรที่ใช้ในวิจัยที่มากับงานวิจัยนี้ ดังรายละเอียดดังนี้

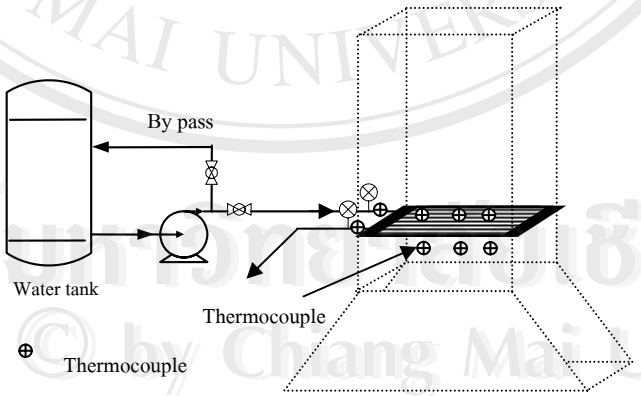
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1 การประยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อแบนติดครีบเกล็ดย่นมาใช้ในระบบนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่

สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ได้ทดลองที่ บริษัท ไทย-นิจิ อินดัสทรี จำกัด ซึ่งเป็นวิสาหกิจที่ผลิตขนมญี่ปุ่น โดยในกระบวนการผลิตมีแหล่งความร้อนทิ้งจากกระบวนการย่างที่ใช้ก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง จากการตรวจวัดเบื้องต้นพบว่า ความร้อนทิ้งดังกล่าวอยู่ในรูปของก๊าซร้อนมีอุณหภูมิประมาณ 120-140 $^{\circ}$C ที่มีการไหลแบบธรรมชาติสู่สิ่งแวดล้อม โดยงานวิจัยนี้จะนำเอาความร้อนทิ้งจากกระบวนการย่างมาให้ความร้อนแก่น้ำที่จะป้อนเข้าหม้อไอน้ำเพื่อประหยัดเชื้อเพลิงที่ใช้ในหม้อไอน้ำ ทั้งนี้ได้นำเสนอการออกแบบระบบโดยใช้คอนเดนเซอร์รถยนต์ที่มีราคาถูกที่มีอยู่ในท้องตลาดมาทำหน้าที่เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยระบายความร้อนจากก๊าซร้อนให้น้ำป้อนที่ไหลภายในท่อ ซึ่งเป็นการใช้งานกลับทิศทางจากเดิม

4.1.1 การทดสอบคอนเดนเซอร์เพื่อใช้เป็นแผงรับความร้อน

ทั้งนี้ในงานวิจัยได้ศึกษาหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall heat transfer coefficient,UA) และประสิทธิผล (Effectiveness) ของคอนเดนเซอร์รถยนต์ที่ถูกนำมาใช้งานกลับทิศทางโดยอาศัยข้อมูลจากการทดลอง รวมทั้งหาค่าความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการต่อคอนเดนเซอร์เข้าด้วยกัน เพื่อใช้ในการออกแบบระบบ ตลอดจนวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่ในลักษณะอื่น ๆ ต่อไป



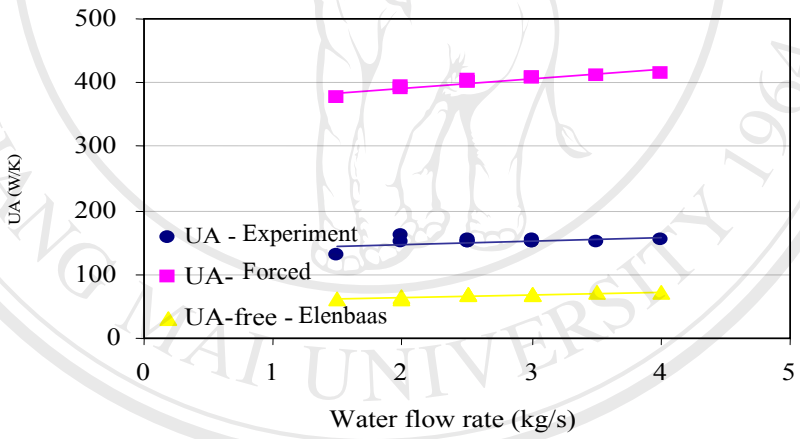
รูป 4.1 ชุดทดสอบคอนเดนเซอร์รถยนต์ทำงานกลับทิศทาง (เจนจิรา และคณะ, 2545)

การทดสอบโดยใช้ชุดทดสอบหาค่าสมรรถนะของคอนเดนเซอร์ที่ใช้งานกลับทิศนั้นแสดงในรูป 4.1 ประกอบด้วยปล่อง ภายในบรรจุด้วยแท่งฮีตเตอร์ขนาด 1000 W ที่ทำหน้าที่อุ่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อากาศให้ร้อน และอากาศร้อนดังกล่าวจะลอยตัวขึ้นเองอย่างธรรมชาติด้วยแรงลอยตัว (Buoyancy) เช่นเดียวกับลักษณะของความร้อนทิ้งที่เกิดขึ้นในอุตหกรรมอาหาร อย่างไรก็ตาม ในการทดสอบนี้ได้ทำการปรับระดับความร้อนของฮีตเตอร์เพื่อให้อากาศร้อนลอยตัวขึ้นด้วยอัตราการไหล 0.14 kg/s (±5%) เพื่อถ่ายเทความร้อนให้แก่น้ำ โดยใช้คอนเดนเซอร์รถยนต์ 1 แผง ที่มีลักษณะเดียวกันกับทดสอบในครั้งแรก ซึ่งได้ใช้ปั๊มน้ำหอยโข่ง (Centrifugal pump) เพื่อบังคับให้น้ำป้อนไหลผ่านคอนเดนเซอร์โดยใช้ขนาด 1.5 แรงม้า กินไฟ 6.7 แอมแปร์ เฮด 67-32 เมตร ทำการปรับอัตราการไหลของน้ำป้อนเข้าระบบโดยการ bypass และใช้โรตามิเตอร์ในการวัดปริมาณการไหล ซึ่งในการทดสอบนี้ได้ป้อนน้ำในช่วงอัตราการไหล 2-4 lit/min

ในการจำลองความร้อนทิ้ง ซึ่งใช้ฮีตเตอร์ในการอุ่นอากาศให้ร้อนเพื่อให้ลอยตัวขึ้นอย่างธรรมชาติไหลผ่านในปล่องที่ติดคอนเดนเซอร์จำนวน 1 แผง ในชุดทดสอบที่จัดสร้างขึ้น ซึ่งจากการทดสอบพบว่าอากาศร้อนอุณหภูมิประมาณ 100°C ความเร็วประมาณ 0.6 m/s ให้ค่า UA โดยเฉลี่ยเท่ากับ 154 W/K และประสิทธิผลเท่ากับ 0.57



รูป 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำป้อนและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (UA) ณ อุณหภูมิอากาศร้อน ~100 °C ความเร็วก๊าซร้อน 0.6 m/s อุณหภูมิน้ำป้อนเข้า ~30°C (เจนจิรา และคณะ, 2545)

จากการทดลดลองพบว่าค่าประสิทธิผลที่ได้จากการทดสอบจะมีค่ามากกว่าค่าประสิทธิผลของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แบบไหลตั้งฉากที่ของไหล 1 ชนิดผสมกัน (One fluid mixed) และ แบบทั้ง 2 ชนิดไม่ผสมกันเลย (Both fluids unmixed) อยู่ประมาณ 20% และ 5% ตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าคอนเดนเซอร์รถยนต์นี้มีสมรรถนะที่สูงพอ อีกทั้งมีราคาถูกและหาได้ตามท้องตลาดทั่วไป สามารถนำมาประยุกต์ในระบบนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

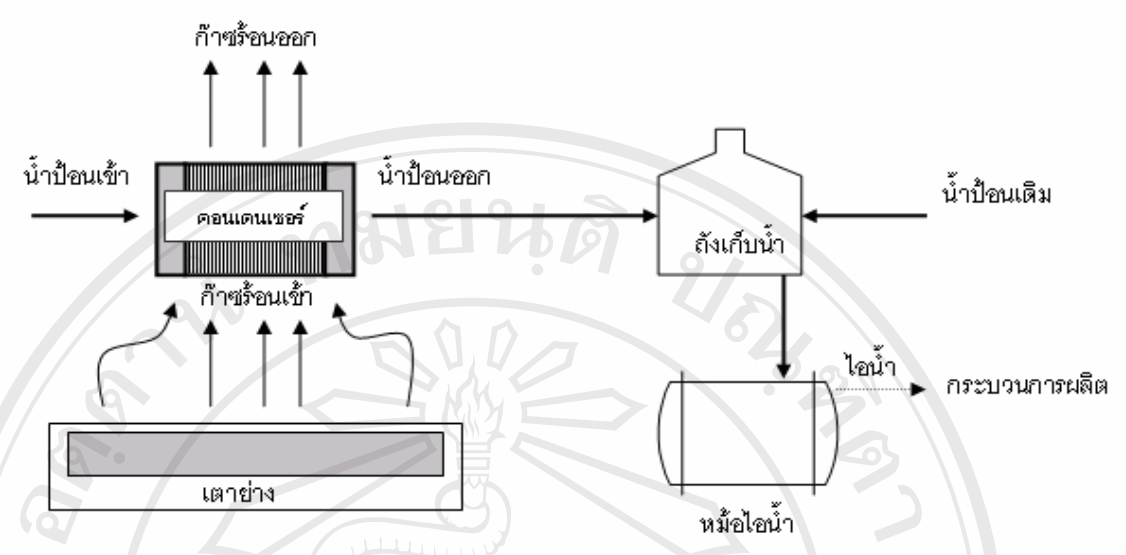
จากการทดลองเพื่อหาค่า UA และประสิทธิผล (ε) ของคอนเดนเซอร์ที่ใช้งานกลับทิศทาง โดยได้ทำการทดสอบ 2 ลักษณะคือ ลักษณะแรก เป็นการทดสอบคอนเดนเซอร์จำนวน 3 แผงที่ต่อแผงแบบอนุกรม โดยที่รับความร้อนทิ้งที่อยู่ในรูปของก๊าซร้อนที่อุณหภูมิ 120°C - 140°C ที่ลอยตัวขึ้นอย่างธรรมชาติ ซึ่งมีความเร็วประมาณ 0.15 m/s จากเตาย่าง ณ บริษัท ไทย-นิจิ อินดัสทรี จำกัด ซึ่งเป็นการทดสอบภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดในการออกแบบระบบเพื่อใช้งานจริงนั้น มีค่า UA เฉลี่ยเท่ากับ 110.70 W/K และประสิทธิผลเท่ากับ 0.54

ในการทดสอบทั้งสองกรณี จะเห็นว่าค่า UA มีค่าสูงและค่าไม่เท่ากัน โดยค่าจากชุดทดสอบคอนเดนเซอร์ 1 แผงมีค่ามากกว่าชุดทดสอบคอนเดนเซอร์ 3 แผง เนื่องจากความเร็วของอากาศร้อนมีค่าสูงกว่า จะเห็นได้จากการทดสอบทั้งสองว่า แม้แผงคอนเดนเซอร์จะถูกใช้งาน ณ อัตราการไหลของอากาศร้อนค่าต่าง ๆ ค่าประสิทธิผล และค่า UA จะมีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนัก และเป็นค่าที่สูงพอ เหมาะสมที่จะใช้เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนถึงแม้จะใช้งานกลับทิศทางก็ตาม จึงได้พิจารณาใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ ณ บริษัทไทย-นิจิ อินดัสทรี จำกัด เป็นข้อมูลในการออกแบบ เพื่อความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้งาน ซึ่งในการออกแบบระบบในครั้งนี้จะกำหนดให้น้ำร้อนออกจากระบบมีอุณหภูมิที่ 75°C ซึ่งรายละเอียดการออกแบบระบบจะกล่าวในบทหัวข้อต่อไป

4.2.2 การนำคอนเดนเซอร์สร้างเป็นระบบนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่

ในงานวิจัยนี้ ได้ออกแบบและจัดสร้างระบบนำความร้อนทิ้งเอามาใช้ใหม่ จากกระบวนการเผาไหม้ก๊าซ LPG จากหัวเผาในเตาย่างขนม ของ บริษัท ไทย-นิจิ อินดัสทรี จำกัด อันเป็นการนำเอาพลังงานจากความร้อนในก๊าซไอเสียอุณหภูมิประมาณ 120-140°C โดยอาศัยคอนเดนเซอร์ สำหรับระบบปรับอากาศในรถยนต์ เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เนื่องจากเป็นชุดแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งมีราคาถูก และสามารถหาได้ง่ายในท้องตลาด ทั้งนี้ ได้ทำการติดตั้งคอนเดนเซอร์จำนวน 48 แผง ซึ่งมีแผง 6 แผง ต่ออนุกรมเป็น 1 ชุด และ 8 ชุดต่อขนานเข้าด้วยกัน โดยระระของการทดลองแสดงในรูปที่ 4.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.3 แสดงชุดทดสอบระบบนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้โดยใช้คอนเดนเซอร์รถยนต์ [เจนจิรา และคณะ 2545]

คอนเดนเซอร์ประกอบด้วยท่ออลูมิเนียมแบบแบนขดซ้อนกันอยู่เป็นชั้น ๆ รอบ ๆ ท่ออลูมิเนียมมีครีบแบบเกล็ด (Louver fins) ขดเป็นลูกฟูก (Corrugated fins) ไปมาระหว่างท่อแบนซึ่งทำให้มีพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนมากและช่วยให้สามารถแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดี จากการศึกษาพบว่าพื้นที่ของคอนเดนเซอร์ที่ใช้ในการส่งถ่ายความร้อนต่อหน่วยปริมาตรมีค่าประมาณ 940 m^2/m^3 ถือได้ว่าเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกะทัดรัด (Compact hext exchanger $>$ 700 m^2/m^3(Kuppun (2000)) คอนเดนเซอร์มีขนาดความกว้าง 35.6 cm ความยาว 58.4 cm และความหนา 1.9 cm ราคาแผงละ ประมาณ 610 บาท สามารถหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาดทั่วไป

รูปที่ 4.4 ลักษณะคอนเดนเซอร์รถยนต์ที่ประยุกต์ใช้ในระบบ

ระบบนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่โดยใช้คอนเดนเซอร์สำหรับระบบปรับอากาศในรถยนต์เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน มีค่าการลงทุนพร้อมติดตั้ง 180,000 บาท จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักคือ ชุดคอนเดนเซอร์ ชุดโครงสร้างเหล็ก และระบบส่งน้ำป้อน แต่หากออกแบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ระบบนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้แบบนำก๊าซร้อนสัมผัสโดยตรงในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับแหล่งรับความร้อนจะมีราคาการสร้างระบบท่อขนส่งสูงถึง 140 บาทต่อตารางฟุต ต้องใช้เงินลงทุนประมาณ 250,000 บาท เนื่องจากการแหล่งรับความร้อนและแหล่งกำเนิดความร้อนห่างอยู่กันมาก อีกทั้งหากนำเอาลมร้อนที่ได้จากระบบสัมผัสตรงมาใช้ในกระบวนการผลิตจะก่อให้เกิดปัญหาเขม่าและสารตกค้างในกระบวนการผลิตอาหารได้ งานวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบให้นำความร้อนกลับมาใช้ใหม่โดยนำมาอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำเพื่อประหยัดเชื้อเพลิงโดยใช้คอนเดนเซอร์รถยนต์

ระบบนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่ ที่ออกแบบและสร้างในโครงการนี้ ทำงานที่อัตราการไหลของน้ำป้อน 21 lit/min ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการของโรงงานที่จะใช้ในกระบวนการผลิต โดยใช้ทำน้ำร้อนป้อนหม้อไอน้ำ โดยน้ำจากระบบจะมีอุณหภูมิสูงถึง 81°C เป็นการประหยัดพลังงานในการอุ่นน้ำป้อนของหม้อไอน้ำ คิดเทียบเป็นประมาณ 145,128 บาทต่อปี ระบบที่สร้างมีราคาต้นทุนและค่าแรงพร้อมติดตั้งประมาณ 180,000 บาท เมื่อคิดคำนวณระยะเวลาการคืนทุนพบว่ามีค่า 1.24 ปี และมีอัตราการคืนทุนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) สูงถึง 80.6% โดยมีอายุการใช้งาน 15 ปี นอกจากนี้ระบบนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่ที่โครงการออกแบบและจัดสร้าง ยังให้ผลทางอ้อมแก่บริเวณรอบ ๆ เครื่องย่าง กล่าวคือทำให้อุณหภูมิทำงานลดลง ส่งผลต่อการสภาพแวดล้อมระหว่างทำงานของพนักงานที่ดีขึ้นด้วย

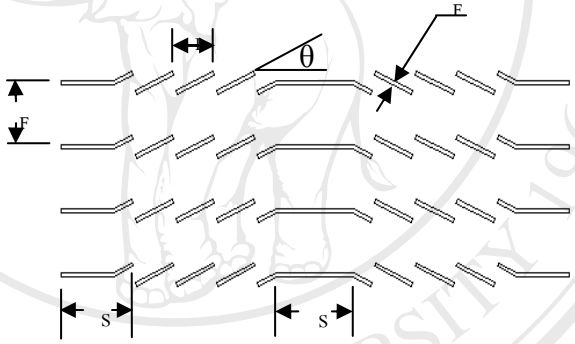
4.2 ผลของมุมเอียงตัวที่มีต่อโครงสร้างการไหลและการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดกะทัดรัดกรณีตัวเลขเรย์โนลดส์ต่ำ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบจากมุมเอียงตัวที่มีต่อโครงสร้างการไหลและการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกะทัดรัด โดยในงานวิจัยนี้จะได้ใช้หลักการทางพลศาสตร์ของไหลมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาสภาพการไหลที่มุมเอียงต่างๆ โดยมีความคาดหวังว่าการทำมุมเอียงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะช่วยเปลี่ยนรูปแบบการไหลจากแนวท่อเป็นแนวเกล็ดมากขึ้น จากนั้นจะเป็นการทดสอบการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อวิเคราะห์ว่ารูปแบบการไหลที่เปลี่ยนไปที่มุมเอียงต่างๆ มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนอย่างไร โดยวิธีดำเนินงานวิจัยจะแบ่งออกเป็นสองส่วนใหญ่ๆ คือส่วนที่เป็นการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กับส่วนที่เป็นการทดสอบถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อหาประสิทธิผลและค่า j Colburn factorในการรับความร้อนที่มุมเอียงต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.1 การแก้ปัญหาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

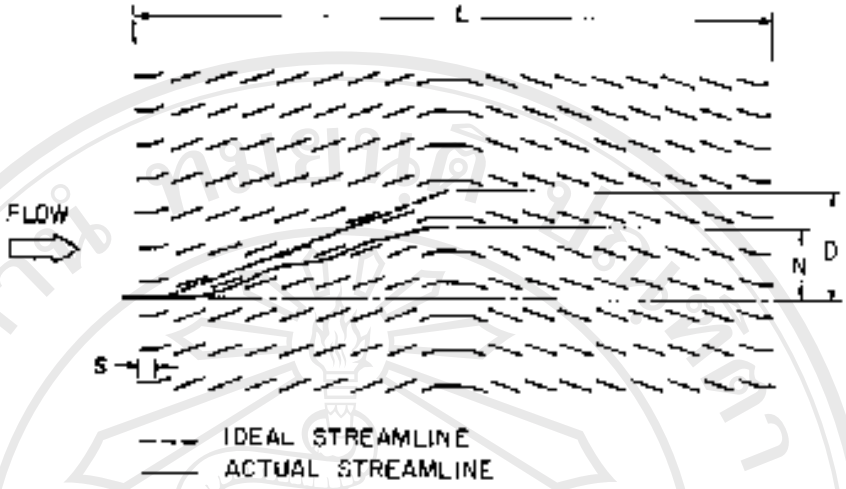
ในงานวิจัยนี้จะได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป CFDRC® ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีความสามารถสูงในการวิเคราะห์การไหลโดยใช้หลักการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล โดยโปรแกรม CFDRC®จะประกอบด้วยโปรแกรมย่อยๆอีกหลายโปรแกรมด้วยกัน แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรมย่อยเพียงสามโปรแกรมด้วยกันคือ CFD-GEOM®, CFD-ACE® และCFD-VIEW® เพื่อทำงานในแต่ละขั้นตอนดังที่กล่าวมาตามลำดับ ขนาดพื้นฐานของแบบจำลองดังนี้คือ F_p/L_p = 1.5, ความหนาครีบเท่ากับ 0.12 มิลลิเมตร, L_p = 1.5 มิลลิเมตร, θ =23.25° , s_1 และs_2 มีค่าเท่ากับ 2.65 และ2.5 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเป็นขนาดจริงของครีบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่จะใช้ในการทดสอบในงานวิจัยนี้จะได้ใช้กริดแบบผสม (Hybrid grid) ซึ่งเป็นกริดที่ประกอบด้วยกริดแบบสี่เหลี่ยม (Structure grid) และกริดแบบสามเหลี่ยม (Untructure grid) ซึ่งกริดสี่เหลี่ยมที่ใช้จะมีจำนวน 6400 กริด ส่วนกริดสามเหลี่ยม จะมีจำนวนประมาณ 90000 กริด



รูปที่ 4.5 แสดงรูปร่างลักษณะของแบบจำลองที่จะใช้ในการศึกษา

ที่บริเวณขาเข้าของแบบจำลองจะกำหนดให้ความเร็วขาเข้ามีค่าคงที่ โดยจะมีค่าตั้งแต่ 0.1- 0.4 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นความเร็วเดียวกับที่ได้ทำการทดสอบ ส่วนอุณหภูมิอากาศขาเข้ามีค่าตั้งแต่ 40-100 องศาเซลเซียสโดยเป็นค่าได้จากการทดสอบเช่นกัน ในการศึกษาผลกระทบจากการทำมุมเอียงของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนั้น การสร้างแบบจำลองใหม่เพื่อให้ทำมุมเอียงกับเวคเตอร์ความเร็วขาเข้านั้นเป็นเรื่องที่ลำบาก ดังนั้นเพื่อความสะดวกจึงจะได้แตกเวคเตอร์ความเร็วนั้นให้อยู่ในรูปของความเร็วในแนวแกน x (u) กับความเร็วในแนวแกน y (v) โดยที่ขนาดของเวคเตอร์ลัพธ์มีค่าคงที่ มุมเอียงที่จะได้ทำการศึกษามีค่าเท่ากับ 0, 10, 20 และ 30 องศาตามลำดับ

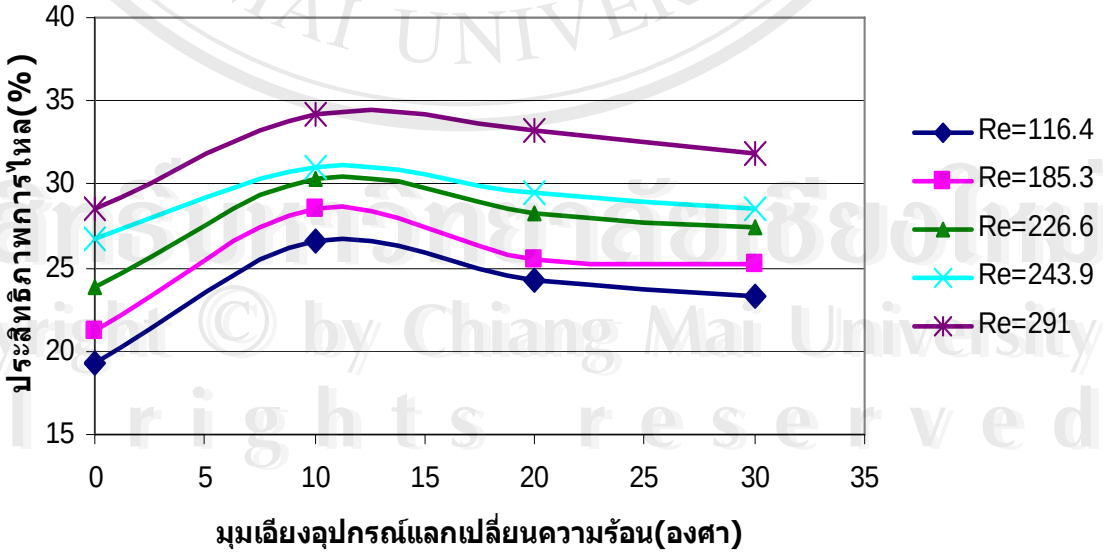
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



$$Fe = \frac{N}{D} = \frac{actual\ transverse\ distance}{ideal\ transverse\ distance}$$

รูปที่ 4.6 แสดงนิยามของประสิทธิภาพการไหล [Sahnoun and Webb 1992]

จากนิยามของค่าประสิทธิภาพการไหลจะเห็นว่า หากค่าประสิทธิภาพการไหลมีค่ามาก การไหลก็จะมีแนวโน้มไปตามทิศทางแนวเกล็ด แต่หากค่าประสิทธิภาพการไหลมีค่าน้อยการไหลก็จะมีแนวโน้มไปตามแนวท่อ



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการไหลกับมุมเอียงตัวอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ที่การไหล ณ ค่าตัวเลขเรย์โนลดส์ต่างๆ

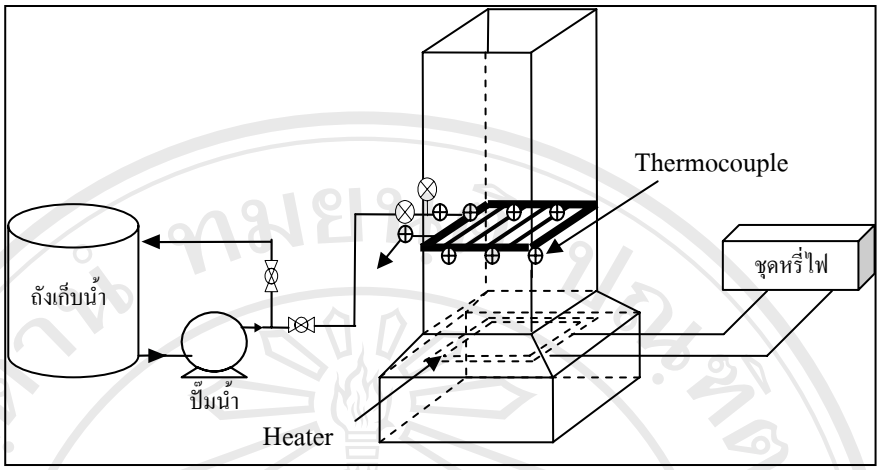
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าการไหล ณ ตัวเลขเรย์โนลดส์สูง จะมีค่าประสิทธิภาพการไหลมากกว่าการไหล ณ ตัวเลขเรย์โนลดส์ต่ำ หมายความว่าการไหล ณ ตัวเลขเรย์โนลดส์สูงๆ นั้น รูปแบบการไหลจะมีทิศทางไปตามแนวเกล็ดมากกว่าการไหลที่ตัวเลขเรย์โนลดส์ต่ำ ซึ่งผลที่ได้ในลักษณะนี้จะมีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา และเมื่อพิจารณาถึงผลกระทบจากมุมเอียงที่มีต่อค่าประสิทธิภาพการไหล ณ การไหลที่ตัวเลขเรย์โนลดส์เดียวกันจะเห็นว่า เมื่อมุมเอียงตัวอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มจาก 0 เป็น 10 องศา ค่าประสิทธิภาพการไหลจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีค่าสูงสุดที่มุมเอียง 10 องศา จากนั้นเมื่อมุมเอียงเพิ่มเป็น 20 และ 30 องศา ค่าประสิทธิภาพการไหลก็จะค่อยๆลดลงตามลำดับ โดยหากคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับกรณีที่มุมเอียงเป็นศูนย์องศา(ไม่มีการเอียงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน) จะเห็นว่าที่มุมเอียง 10 องศาค่าประสิทธิภาพการไหลจะมีค่าเพิ่มขึ้น 25 เปอร์เซ็นต์ และที่มุมเอียง 20 และ 30 องศาจะมีค่าเพิ่มขึ้น 18 และ 16 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งเราสามารถอธิบายถึงลักษณะการไหลได้ว่า เมื่อเพิ่มมุมเอียงตัวอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจาก 0 เป็น 10 องศา รูปแบบการไหลจะเปลี่ยนแนวโน้มจากแนวท่อมาเป็นแนวเกล็ดมากขึ้นเนื่องจาก การเอียงตัวจะทำให้อากาศบางส่วนสามารถไหลผ่านเข้าไปในช่องว่างระหว่างเกล็ดได้มากขึ้น จากผลกระทบของมุมเอียงตัวที่มีต่อรูปแบบการไหลทำให้เกิดสมมติฐานเบื้องต้นว่า ณ มุมเอียงตัว 10 องศา อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนน่าจะสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด โดยจะได้ทำการทดสอบความสามารถในการถ่ายเทความร้อนที่มุมเอียงตัวต่างๆ เพื่อทำการยืนยันข้อสมมติฐานนี้ โดยผลของการทดสอบจะได้กล่าวถึงต่อไป

4.2.2 การทดสอบถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

จากหัวข้อที่ผ่านมาเป็นการวิเคราะห์การไหลโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาแนวโน้มของรูปแบบการไหลที่เปลี่ยนที่มุมเอียงต่างๆ ในหัวข้อนี้จะเป็นการทดสอบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าประสิทธิผลและค่า j Colburn factor ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในการรับความร้อนจากอากาศร้อนที่มุมเอียงต่างๆ โดยชุดทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 4.8 ประกอบไปด้วยปล่อง ภายในบรรจุด้วยแท่งฮีตเตอร์ขนาด 1000 วัตต์จำนวน 5 แท่ง ทำหน้าที่อุ่นอากาศให้ร้อนเพื่อให้อากาศลอยตัวขึ้น ผ่านแผงคอนเดนเซอร์ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แท่งฮีตเตอร์สามารถปรับปริมาณไฟฟ้าได้โดยใช้ชุดหรี่ไฟ ดังนั้นจึงสามารถปรับความเร็วอากาศร้อนที่ลอยตัวขึ้นจากฮีตเตอร์ได้ โดยความเร็วอากาศร้อนในการทดสอบจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.1-0.4 เมตรต่อวินาที ในการวัดปริมาณการไหล อัตราการไหลของน้ำในการทดสอบจะอยู่ในช่วง 6-0.5 ลิตรต่อนาที แผงคอนเดนเซอร์สามารถปรับมุมการจัดวางได้เพื่อศึกษาผลกระทบจากมุมเอียงที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาที่มุมเอียง 0, 10, 20 และ30 องศา

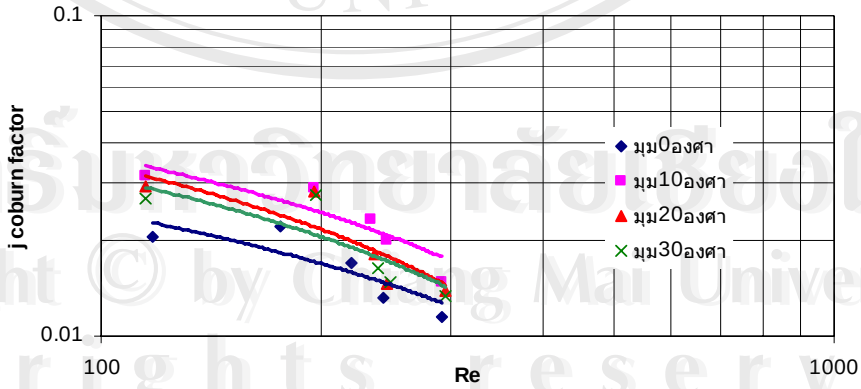
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.8 ชุดทดสอบผลของมุมเอียงที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ในการทดสอบนี้จะใช้คอนเดนเซอร์รถยนต์เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยใช้คอนเดนเซอร์ยี่ห้อ Formula ขนาดความยาว 23 นิ้ว ความกว้าง 14 นิ้ว และความหนา ¾ นิ้ว เช่นเดียวกับงานวิจัยของเจนจิรา และคณะ (2545) เนื่องจากเหตุผลที่กล่าวข้างต้น

การเพิ่มมุมเอียงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถเพิ่มค่าประสิทธิผลในการถ่ายเทความร้อนได้ แต่ต้องเอียงด้วยมุมที่เหมาะสมจึงจะมีประสิทธิผลในการถ่ายเทความร้อนสูงสุด โดยมุมที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นกับลักษณะทางกายภาพของครีบระบายความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งในกรณีที่ทำการศึกษานี้มุมที่เหมาะสมในการจัดวางอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนคือมุมเอียง 10 องศา



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า j โคเบิร์น แฟกเตอร์กับตัวเลขเรย์โนลดส์ที่มุมเอียงตัวต่างๆ

ที่มุมเอียงตัว 10 องศา อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะมีค่า j โคเบิร์น แฟกเตอร์สูงสุด โดยเพิ่มขึ้น 29 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับกรณีที่ไม่มีการเอียงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ส่วนที่มุม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เอียงตัว 20 และ 30 องศา ค่า j โคเบิร์น แฟกเตอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้น 15 และ 8 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เทียบกับกรณีที่ไม่มีการเอียงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเช่นกัน ที่มุมเอียงตัว 10 องศาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะสามารถถ่ายความร้อนได้ดีที่สุด สอดคล้องกับผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ว่า ณ มุมเอียงตัว 10 องศารูปแบบการไหลจะมีทิศทางไปตามแนวเกล็ดมากที่สุด (ค่าประสิทธิภาพการไหลสูงสุด) แต่หากเพิ่มมุมเอียงเป็น 20 และ 30 องศา แนวโน้มของการไหลไปตามแนวเกล็ดจะมีค่าลดลง (ค่าประสิทธิภาพการไหลลดลง) ซึ่งจากการทดสอบพบว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะถ่ายเทความร้อนได้น้อยลง จากผลทั้งหมดสามารถกล่าวได้ว่าผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดสอบ

4.3 การเปรียบเทียบตัวแปรในงานวิจัยนี้กับงานวิจัยที่ผ่านมา

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบตัวแปรในงานวิจัยนี้กับงานวิจัยที่ผ่านมา

ตัวแปร	ต้นแบบ (เจนจิรา และคณะ, 2546)	ต้นแบบ (ปฏิภาณ, 2546)	โมเดล (15:1)
ระยะห่างระหว่างครีบ (F_p)	2 mm	2 mm	1.5-3 cm
ระยะห่างระหว่างเกล็ด (L_p)	1.5 mm	1.5 mm	2-4 cm
อัตราส่วนระยะห่างระหว่างครีบต่อระยะห่างระหว่างเกล็ด (Fp/Lp)	1.33	1.33	0.75-1.5
มุมเอียงเกล็ด (θ)	23.58°	23.58°	18-40°
ความยาวเกล็ด (Ll)	3 mm	3 mm	4.5 cm
อุณหภูมิอากาศขาเข้า (T_{ai})	100-140° C	40-100° C	40-110 ° C
ความเร็วอากาศขาเข้า (v_{ai})	0.14 m/s	0.1– 0.4 m/s	0.1-1.2 m/s
ตัวเลขเรย์โนลส์ดอากาศ (Re_{Lp})	(ขาออก)14-20	(ขาเข้า)116-291	(ขาเข้า) 232.59-1023.67
ระยะห่างระหว่างพื้นที่เรียบกับครีบเกล็ด (S_2)	2.5 mm	2.5 mm	37.5 mm
ระยะห่างของพื้นที่เรียบบริเวณด้านข้างครีบเกล็ด (S_1)	2.65 mm	2.65 mm	39.75 mm

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จากงานวิจัยที่ผ่านมาที่กล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่าคณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบคอนเดนเซอร์รถยนต์เพื่อใช้เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดกะทัดรัด และพบว่าหากการไหลของอากาศเป็นการไหลตามแนวเกล็ดจะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมากขึ้น ดังงานวิจัยของปฏิภาณ (2547) ได้ทดลองเอียงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเปลี่ยนการไหลตามแนวท่อให้เป็นการไหลตามแนวเกล็ดมากขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยได้จะได้ทำการขยายขนาดของครีบเกล็ดภายในคอนเดนเซอร์เพื่อที่จะได้สะดวกต่อการสร้างชุดทดลอง โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการขยายขนาดของครีบเกล็ดมิได้มีผลต่อชั้นขอบเขตและสนามการไหลของอากาศผ่านครีบเกล็ด (Lyman และคณะ, 2002) ซึ่งตัวแปรที่ใช้แสดงในตารางที่ 4.1

จากตารางที่ 4.1 ได้เปรียบเทียบตัวแปรต่างๆ ที่งานวิจัยนี้ได้ออกแบบเพื่อใช้ในการทดลองกับงานวิจัยที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่าตัวเลขเรย์โนลดส์ (Re_{Lp}) ของงานวิจัยนี้จะมีค่ามากกว่างานวิจัยที่ผ่านมา เนื่องจากมีข้อจำกัดของระยะห่างระหว่างครีบที่ใช้อ้างอิง ซึ่งงานวิจัยนี้มีค่าระยะห่างระหว่างครีบมากกว่างานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งผลการทดลองจะได้กล่าวในบทต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved