บทที่ 7

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ในบทนี้กล่าวถึงผลการทดสอบโดยแบ่งออกเป็น การทดสอบที่การปรับเปลี่ยนปัจจัยทางด้านขาเข้าต่างๆของอีโคโนไมเซอร์ และการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

7.1 ผลทดสอบที่การปรับเปลี่ยนอุณหภูมิก๊าซร้อนขาเข้า

เนื่องจากการทำงานของหม้อไอน้ำไม่ได้ทำงานหรือให้ความร้อนตลอดเวลาทำงาน จะมีบางจังหวะที่เครื่องพ่นไฟหยุดทำงานเนื่องจากความดันไอถึงจุดที่กำหนดหรืออาจเกิดปัญหาต่างๆที่ทำให้เครื่องพ่นไฟต้องหยุดทำงาน มีผลทำให้อุณหภูมิของก๊าซร้อนลดลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการทดสอบที่อุณหภูมิก๊าซร้อนต่างๆ เพื่อสังเกตผลที่ได้จากอีโคโนไมเซอร์ โดยกำหนดให้อัตราการไหลของก๊าซร้อนมีค่าเท่ากับ 692.72 m^3/hr อัตราการไหลของน้ำเข้าเท่ากับ 2.6 l/min และอุณหภูมิของน้ำขาเข้าเท่ากับ 40^{o}C ผลที่ได้มีดังนี้

7.1.1 อุณหภูมิขาออกของก๊าซร้อนและน้ำ

รูป 7.1 แสดงผลการทดสอบที่การปรับเปลี่ยนอุณหภูมิขาเข้าของก๊าซร้อน จะได้อุณหภูมิขาออกของก๊าซร้อนเท่ากับ 92.86, 103.3, 125.2, 144.1 และ 161.7^{o}C ที่การปรับเปลี่ยนอุณหภูมิขาเข้าของก๊าซร้อน 100, 120, 160, 200 และ 240^{o}C ตามลำดับ เช่นเดียวกันจะได้อุณหภูมิขาออกของน้ำเป็น 47.73, 52.01, 64.5, 76.85 และ 88^{o}C จะสังเกตได้ว่าค่าที่ได้จากการทดสอบอุณหภูมิขาออกของน้ำจะมีค่าน้อยกว่าที่คำนวณได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ คิดเป็น 17 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิก๊าซร้อนขาเข้า 100^{o}C และค่าแตกต่างจะค่อยๆลดลงจนถึง 10 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิก๊าซร้อนขาออก 240^{o}C เนื่องจากค่าตัวเลขเรย์โนลด์สของน้ำขาเข้ามีค่าต่ำกว่าขอบเขตการใช้งานของสมการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างท่อเทอร์โมไซฟอนและน้ำ ทำให้ค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่าจากการทดลอง แต่มีความจำเป็นในการใช้สมการเพื่อหา สำหรับอุณหภูมิขาออกของก๊าซร้อนจะไม่แตกต่างจากที่คำนวณได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์

วิจิตร [6] ได้นำเอาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนไปใช้ดึงความร้อนมาอุ่นอากาศจากหม้อไอน้ำขนาดหนึ่งตันที่อัตราการไหลก๊าซร้อนและอากาศ 692.72 m^3/hr อุณหภูมิ

อากาศขาเข้า 30°C โดยใช้ท่อความร้อนที่ทำจากท่อเหล็กแบบมีครีบ มีน้ำเป็นสารทำงาน จำนวน 30 ท่อ พบว่าเมื่ออุณหภูมิขาเข้าของก๊าซร้อนเพิ่มขึ้น อุณหภูมิขาออกของก๊าซร้อนและอากาศจะเพิ่มขึ้นด้วย เช่น เมื่ออุณหภูมิขาเข้าของก๊าซร้อนเพิ่มขึ้นจาก 200 เป็น 240°C จะทำให้อุณหภูมิขาออกของก๊าซร้อนและอากาศเพิ่มขึ้นจาก 112.4 เป็น 135.4 และจาก 85.1 เป็น 105.2°C ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้จะเป็นไปในทำนองเดียวกับค่าที่ได้จากการวิจัยชิ้นนี้

สามารถสรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิขาเข้าของก๊าซร้อนเพิ่มขึ้น อุณหภูมิขาออกของก๊าซร้อนและน้ำจะเพิ่มขึ้นด้วย เช่น เมื่ออุณหภูมิขาเข้าของก๊าซร้อนเพิ่มขึ้นจาก 200 เป็น 240°C จะทำให้อุณหภูมิขาออกของก๊าซร้อนและน้ำเพิ่มขึ้นจาก 144.1 เป็น 161.7 และจาก 76.85 เป็น 88°C ตามลำดับ

7.1.2 ค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้

รูป 7.2 แสดงผลการถ่ายเทความร้อนที่ได้กับอุณหภูมิก๊าซร้อนขาเข้า พบว่าค่าความร้อนที่ได้มีค่า 1.45, 2.17, 4.41, 6.35 และ 8.33 กิโลวัตต์ ที่อุณหภูมิขาเข้าของก๊าซร้อน 100, 120, 160, 200 และ 240°C ตามลำดับ จะสังเกตได้ว่าค่าความร้อนที่ได้จากการทดลองจะมีค่าต่ำกว่าที่คำนวณจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์คิดเป็น 24 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิขาเข้าของก๊าซร้อน 100°C และจะเพิ่มขึ้นเป็น 55 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิขาเข้าของก๊าซร้อน 240°C เนื่องจากค่าตัวเลขเรย์โนลด์สของน้ำขาเข้ามีค่าต่ำกว่าขอบเขตการใช้งานของสมการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างท่อเทอร์โมไซฟอนและน้ำ ทำให้ค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่าจากการทดลอง โดยค่าความร้อนที่ถ่ายเทจากอีโคโนไมเซอร์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิก๊าซร้อนขาเข้ามีค่าเพิ่มขึ้น

วิจิตร [6] ได้นำเอาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนไปใช้ดึงความร้อนมาอุ่นอากาศจากหม้อไอน้ำขนาดหนึ่งตันที่อัตราการไหลก๊าซร้อนและอากาศ 692.72 m^3/hr อุณหภูมิอากาศขาเข้า 30°C โดยใช้ท่อความร้อนที่ทำจากท่อเหล็กแบบมีครีบ มีน้ำเป็นสารทำงาน จำนวน 30 ท่อ พบว่าเมื่ออุณหภูมิขาเข้าของก๊าซร้อนเพิ่มขึ้น ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นด้วย เช่น เมื่ออุณหภูมิขาเข้าของก๊าซร้อนเพิ่มขึ้นจาก 200 เป็น 240°C จะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 11.96 เป็น 16.25 กิโลวัตต์ ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้จะเป็นไปในทำนองเดียวกับค่าที่ได้จากการวิจัยชิ้นนี้

พิชัย [9] ได้ทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนโดยใช้ท่อแก้ว จำนวน 243 แท่ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร วางเรียงแบบเหลื่อม จำนวน 29 แถว ระยะห่างตามยาว 1.75 เซนติเมตร ตามขวาง 2 เซนติเมตร ขนาดเครื่อง 52×19×15 เซนติเมตร แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำร้อนกับน้ำเย็น พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำร้อนขาเข้าจาก 50, 60, 70 และ

80 ^{o}C จะทำให้การถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงขึ้นจาก 13 ถึง 40 กิโลวัตต์ ซึ่งผลที่ได้จะเป็นไปในทำนองเดียวกับค่าที่ได้จากการวิจัยชิ้นนี้

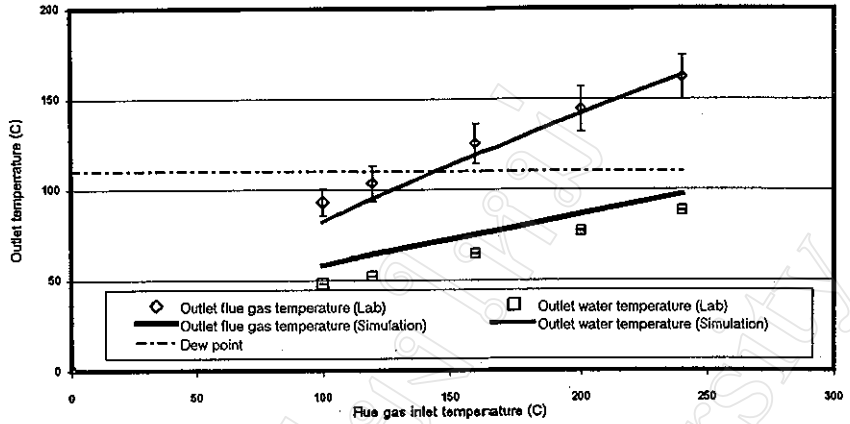
สามารถสรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิขาเข้าของก๊าซร้อนเพิ่มขึ้นค่าการถ่ายเทความร้อนของอีโคโนไมเซอร์จะเพิ่มขึ้นด้วย เช่นเมื่ออุณหภูมิก๊าซร้อนเพิ่มขึ้นจาก 200 เป็น 240^{o}C ค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 6.35 เป็น 8.33 กิโลวัตต์

7.1.3 ค่าประสิทธิผล

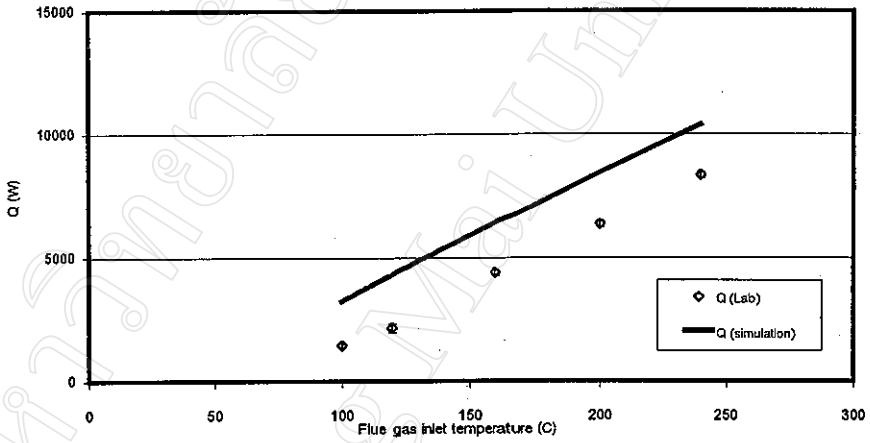
รูป 7.3 แสดงอุณหภูมิก๊าซร้อนขาเข้ากับค่าประสิทธิผลของอีโคโนไมเซอร์ ค่าประสิทธิผลที่ได้จากการทดสอบมีค่า 0.13, 0.15, 0.23, 0.28 และ 0.33 ที่อุณหภูมิขาเข้าของก๊าซร้อน 100, 120, 160, 200 และ 240^{o}C ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าที่คำนวณได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่อุณหภูมิต่ำ 100, 120 และ 160^{o}C เนื่องจากค่าตัวเลขเรย์โนลด์สของน้ำขาเข้ามีค่าต่ำกว่าขอบเขตการใช้งานของสมการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างท่อเทอร์โมไซฟอนและน้ำ แต่จะไม่แตกต่างที่อุณหภูมิ 200 และ 240^{o}C และพบว่าอีโคโนไมเซอร์ที่สร้างขึ้นจะมีค่าประสิทธิผลต่ำที่สุดประมาณ 0.092 ที่อุณหภูมิก๊าซร้อน 73^{o}C

วิจิตร [6] ได้นำเอาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนไปใช้ดึงความร้อนมาอุ่นอากาศจากหม้อไอน้ำขนาดหนึ่งตันที่อัตราการไหลก๊าซร้อนและอากาศ 692.72 m^{3}/hr อุณหภูมิอากาศขาเข้า 30^{o}C โดยใช้ท่อความร้อนที่ทำจากท่อเหล็กแบบมีครีบ มีน้ำเป็นสารทำงาน จำนวน 30 ท่อ พบว่าเมื่ออุณหภูมิก๊าซร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้นค่าประสิทธิผลของเครื่องอุ่นอากาศก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เช่นเมื่ออุณหภูมิขาเข้าของก๊าซร้อนเพิ่มขึ้นจาก 200 เป็น 240^{o}C ค่าประสิทธิผลของเครื่องอุ่นอากาศจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.51 เป็น 0.66 และมีค่าสูงกว่าที่คำนวณจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ประมาณ 5 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลที่ได้จะเป็นไปในทำนองเดียวกับค่าที่ได้จากการวิจัยชิ้นนี้

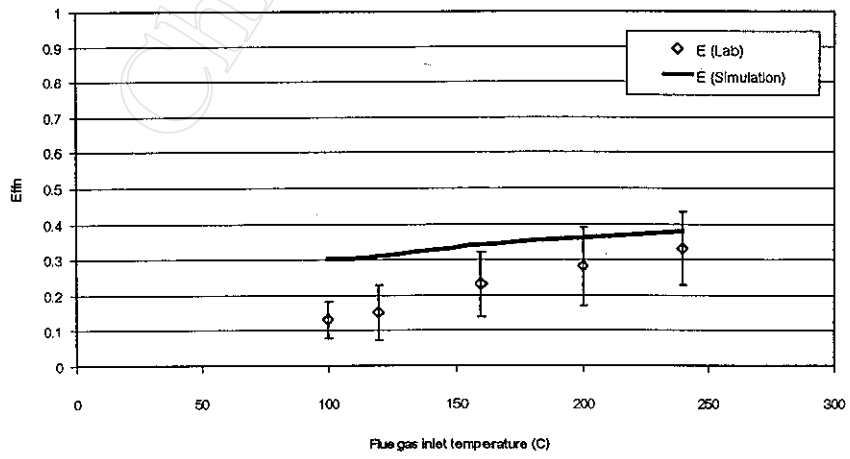
สามารถสรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิก๊าซร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้นค่าประสิทธิผลของอีโคโนไมเซอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เช่นเมื่ออุณหภูมิขาเข้าของก๊าซร้อนเพิ่มขึ้นจาก 200 เป็น 240^{o}C ค่าประสิทธิผลของอีโคโนไมเซอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.28 เป็น 0.33



รูป 7.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิก๊าซร้อนขาเข้ากับอุณหภูมิไอเสียขาออกและน้ำขาออก



รูป 7.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิก๊าซร้อนขาเข้ากับค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้



รูป 7.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิก๊าซร้อนขาเข้ากับค่าประสิทธิผล

7.2 ผลทดสอบที่การปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของก๊าซร้อนขาเข้า

สาเหตุที่ต้องมีการทดสอบถึงอัตราการไหลของก๊าซร้อนขาเข้าทั้งนี้เป็นเพราะเมื่อเครื่องพ่นไฟหยุดทำงานจะทำให้อัตราการไหลของก๊าซร้อนลดลงหรือบางครั้งเท่ากับศูนย์ หรืออาจมีบางกรณีที่เกิดปัญหากับพัดลมทำให้พัดลมไม่ทำงาน จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบถึงผลของอัตราการไหลของก๊าซร้อนที่มีต่ออีโคโนไมเซอร์แบบท่อความร้อน โดยกำหนดให้อุณหภูมิก๊าซร้อนมีค่าเท่ากับ 231^{o}C อุณหภูมิน้ำขาเข้า 40^{o}C และอัตราการไหลของน้ำขาเข้า 2.6 l/min ผลที่ได้มีดังนี้

7.2.1 อุณหภูมิขาออกของก๊าซร้อนและน้ำ

รูป 7.4 แสดงผลการทดสอบที่การปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของก๊าซร้อน จะได้อุณหภูมิขาออกของก๊าซร้อนเท่ากับ 157, 160.5 และ 172.9^{o}C ที่การปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของก๊าซร้อน 400, 550 และ 700 m^{3}/hr ตามลำดับ เช่นเดียวกันจะได้อุณหภูมิขาออกของน้ำเป็น 78.06, 82.37 และ 90.03^{o}C จะสังเกตได้ว่าค่าอุณหภูมิขาออกของก๊าซร้อนที่ได้จากการทดสอบจะมีค่าเข้ากันได้กับที่คำนวณได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แต่ในส่วนของน้ำขาออกนั้นจะพบว่าอุณหภูมิที่ได้มีค่าน้อยกว่าการคำนวณ 4 ถึง 7 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากค่าตัวเลขเรย์โนลด์สของน้ำขาเข้ามีค่าต่ำกว่าขอบเขตการใช้งานของสมการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างท่อเทอร์โมไซฟอนและน้ำ ทำให้ค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่าจากการทดลอง

วิจิตร [6] ได้นำเอาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนไปใช้ดึงความร้อนมาอุ่นอากาศจากหม้อไอน้ำขนาดหนึ่งตันที่อัตราการไหลอากาศเท่ากับ 692.72 m^{3}/hr อุณหภูมิก๊าซร้อน 231^{o}C อุณหภูมิอากาศขาเข้า 30^{o}C โดยใช้ท่อความร้อนที่ทำจากท่อเหล็กแบบมีครีบ มีน้ำเป็นสารทำงาน จำนวน 30 ท่อ พบว่าเมื่ออัตราการไหลก๊าซร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้นค่าอุณหภูมิขาออกของก๊าซร้อนและอุณหภูมิขาออกของอากาศจะเพิ่มขึ้นซึ่งผลที่ได้จะเป็นไปในทำนองเดียวกับค่าที่ได้จากการวิจัยชิ้นนี้

สามารถสรุปได้ว่าเมื่ออัตราการไหลของก๊าซร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น อุณหภูมิขาออกของก๊าซร้อนและน้ำก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เช่นที่อัตราการไหลของก๊าซร้อนเพิ่มขึ้นจาก 550 เป็น 700 m^{3}/hr อุณหภูมิขาออกของก๊าซร้อนและน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 160.5 เป็น 172.9 และจาก 82.37 เป็น 90.03^{o}C ตามลำดับ

7.2.2 ค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้

รูป 7.5 แสดงผลของอัตราการไหลของก๊าซร้อนกับค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้ของอีโคโนไมเซอร์ พบว่าค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้ของอีโคโนไมเซอร์มีค่า 6.74, 7.55 และ 8.90 กิโลวัตต์ที่อัตรา

การไหลของก๊าซร้อน 400, 550 และ 700 m^3/hr ตามลำดับ มีค่าน้อยกว่าที่คำนวณได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ประมาณ 10 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากค่าตัวเลขเรย์โนลด์สของน้ำขาเข้ามีค่าต่ำกว่าขอบเขตการใช้งานของสมการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างท่อเทอร์โมไซฟอนและน้ำ ทำให้ค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่าจากการทดลอง

วิจิตร [6] ได้นำเอาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนไปใช้ดึงความร้อนมาอุ่นอากาศจากหม้อไอน้ำขนาดหนึ่งตันที่อัตราการไหลอากาศเท่ากับ 692.72 m^3/hr อุณหภูมิก๊าซร้อน 231°C อุณหภูมิอากาศขาเข้า 30°C โดยใช้ท่อความร้อนที่ทำจากท่อเหล็กแบบมีครีบ มีน้ำเป็นสารทำงาน จำนวน 30 ท่อ พบว่าเมื่ออัตราการไหลขาเข้าของก๊าซร้อนเพิ่มขึ้นค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นด้วย เช่น เมื่ออัตราการไหลขาเข้าของก๊าซร้อนเพิ่มขึ้นจาก 500 เป็น 700 m^3/hr จะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 11.34 เป็น 13.88 กิโลวัตต์ ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้จะเป็นไปในทำนองเดียวกับค่าที่ได้จากการวิจัยชิ้นนี้

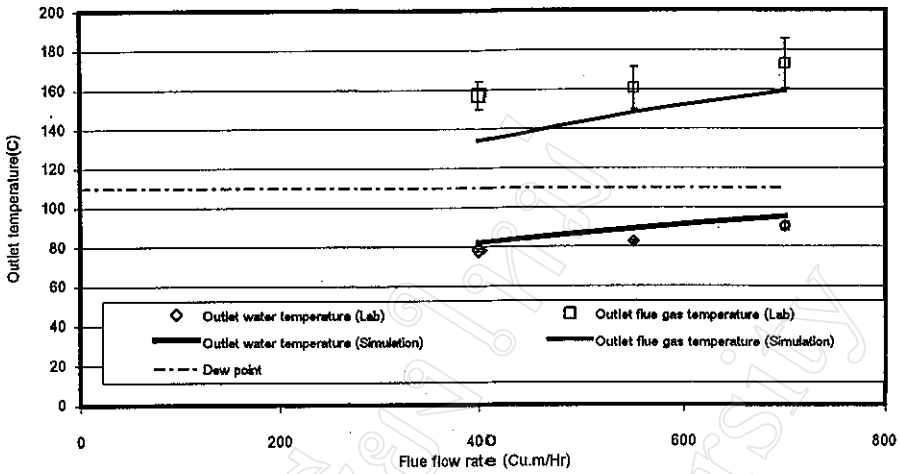
สามารถสรุปได้ว่าเมื่ออัตราการไหลของก๊าซร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้ของอีโคโนไมเซอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้น เช่นที่อัตราการไหลของก๊าซร้อนเพิ่มขึ้นจาก 550 เป็น 700 m^3/hr ค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 7.55 เป็น 8.90 กิโลวัตต์

7.2.3 ค่าประสิทธิผล

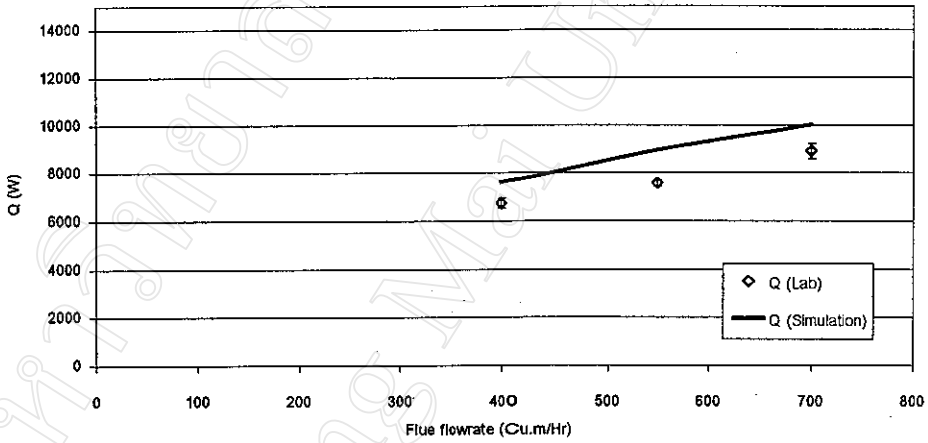
รูป 7.6 แสดงผลของอัตราการไหลของก๊าซร้อนกับค่าประสิทธิผลของอีโคโนไมเซอร์ ค่าประสิทธิผลที่ได้จะมีค่า 0.43, 0.37 และ 0.33 ที่อัตราการไหลของก๊าซร้อน 400, 550 และ 700 m^3/hr ตามลำดับ มีค่าไม่แตกต่างจากที่คำนวณได้จากโปรแกรม เมื่อสังเกตจากรูป 7.6 จะพบว่าที่อัตราการไหลของก๊าซร้อนต่ำค่าประสิทธิผลของอีโคโนไมเซอร์จะมีค่าสูงกว่าที่อัตราการไหลสูง

วิจิตร [6] ได้นำเอาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนไปใช้ดึงความร้อนมาอุ่นอากาศจากหม้อไอน้ำขนาดหนึ่งตันที่อัตราการไหลอากาศเท่ากับ 692.72 m^3/hr อุณหภูมิก๊าซร้อน 231°C อุณหภูมิอากาศขาเข้า 30°C โดยใช้ท่อความร้อนที่ทำจากท่อเหล็กแบบมีครีบ มีน้ำเป็นสารทำงาน จำนวน 30 ท่อ พบว่าเมื่ออัตราการไหลขาเข้าของก๊าซร้อนเพิ่มขึ้นค่าประสิทธิผลของเครื่องอุ่นอากาศลดลงด้วย เช่น เมื่ออัตราการไหลขาเข้าของก๊าซร้อนเพิ่มขึ้นจาก 500 เป็น 700 m^3/hr จะทำให้ค่าประสิทธิผลลดลงจาก 0.64 เป็น 0.55 ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้จะเป็นไปในทำนองเดียวกับค่าที่ได้จากการวิจัยชิ้นนี้

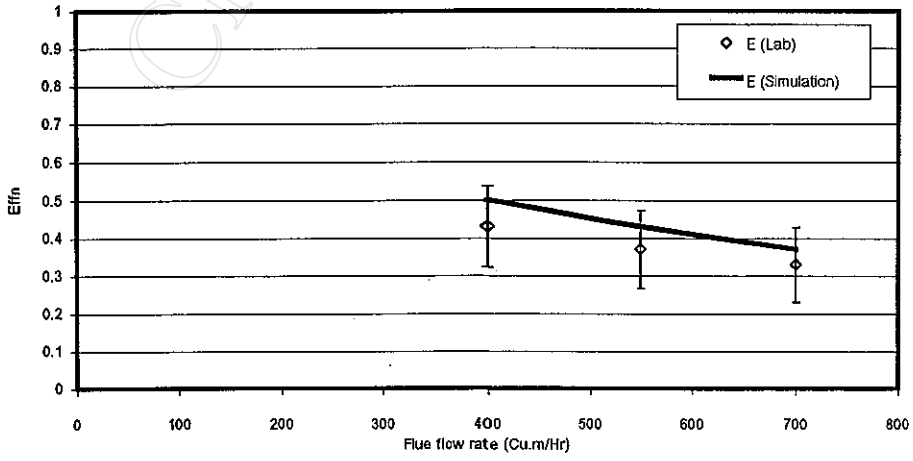
สามารถสรุปได้ว่าเมื่ออัตราการไหลของก๊าซร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นค่าประสิทธิผลของอีโคโนไมเซอร์จะมีค่าลดลง เช่น ที่อัตราการไหลของก๊าซร้อนเพิ่มขึ้นจาก 550 เป็น 700 m^3/hr ค่าประสิทธิผลของอีโคโนไมเซอร์จะมีค่าลดลงจาก 0.37 เป็น 0.33



รูป 7.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของก๊าซร้อนกับอุณหภูมิก๊าซร้อนขาออกและน้ำขาออก



รูป 7.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของก๊าซร้อนกับค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้



รูป 7.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของก๊าซร้อนกับค่าประสิทธิผล

7.3 ผลทดสอบที่การปรับเปลี่ยนอุณหภูมิน้ำขาเข้า

สาเหตุของการทดสอบที่การปรับเปลี่ยนอุณหภูมิน้ำขาเข้าเนื่องจากเพื่อให้อีโคโนไมเซอร์ที่สร้างขึ้นสามารถใช้งานได้ในสถานที่ต่างๆกัน ซึ่งจะมีสภาวะต่างกันไปขึ้นกับการจัดวางตำแหน่งของหม้อไอน้ำ ช่วงกลางวันกลางคืนและฤดูกาล จึงมีการทดสอบที่อุณหภูมิน้ำขาเข้าต่างๆกัน โดยกำหนดให้ อุณหภูมิก๊าซร้อนมีค่าเท่ากับ 231^{o}C อัตราการไหลของก๊าซร้อน 692.72 m^{3}/hr และอัตราการไหลของน้ำขาเข้า 2.6 l/min ผลที่ได้มีดังนี้

7.3.1 อุณหภูมิขาออกของก๊าซร้อนและน้ำ

รูป 7.7 แสดงผลการทดสอบที่การปรับเปลี่ยนอุณหภูมิขาเข้าของน้ำ จะได้อุณหภูมิขาออกของก๊าซร้อนเท่ากับ 165.9, 166.3, 167 และ 170.3^{o}C ที่การปรับเปลี่ยนอุณหภูมิขาเข้าของน้ำ 15, 25, 35 และ 45^{o}C ตามลำดับ เช่นเดียวกันจะได้อุณหภูมิขาออกของน้ำเป็น 71.57, 77.13, 85.41 และ 92.48^{o}C จะสังเกตได้ว่าอุณหภูมิขาออกของน้ำที่ได้จากการทดสอบจะมีค่าน้อยกว่าที่คำนวณได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ที่ทุกๆอุณหภูมิน้ำขาเข้า เนื่องจากค่าตัวเลขเรย์โนลด์สของน้ำขาเข้ามีค่าต่ำกว่าขอบเขตการใช้งานของสมการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างท่อเทอร์โมไซฟอนและน้ำ ทำให้ค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่าจากการทดลอง สำหรับอุณหภูมิขาออกของก๊าซร้อนจะมีค่าไม่แตกต่างจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่อุณหภูมิน้ำขาเข้า 35 และ 45^{o}C จะแตกต่างกันเล็กน้อยที่ อุณหภูมิน้ำขาเข้า 15 และ 25^{o}C

วิจิตร [6] ได้นำเอาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนไปใช้ดึงความร้อนมาอุ่นอากาศจากหม้อไอน้ำขนาดหนึ่งตันที่อัตราการไหลก๊าซร้อนและอากาศเท่ากับ 692.72 m^{3}/hr อุณหภูมิก๊าซร้อน 231^{o}C โดยใช้ท่อความร้อนที่ทำจากท่อเหล็กแบบมีครีบ มีน้ำเป็นสารทำงาน จำนวน 30 ท่อ พบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นค่าอุณหภูมิขาออกของก๊าซร้อนและอุณหภูมิขาออกของอากาศจะเพิ่มขึ้น ซึ่งผลที่ได้จะเป็นไปในทำนองเดียวกับค่าที่ได้จากการวิจัยชิ้นนี้

สามารถสรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิขาเข้าของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น อุณหภูมิขาออกของก๊าซร้อนและน้ำก็จะมีค่าสูงขึ้นด้วย เช่นที่อุณหภูมิขาเข้าของน้ำเพิ่มขึ้นจาก 15 เป็น 25^{o}C อุณหภูมิขาออกของก๊าซร้อนและน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 165.9 เป็น 166.3 และจาก 71.57 เป็น 77.13^{o}C ตามลำดับ

7.3.2 ค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้

รูป 7.8 แสดงผลของอุณหภูมิน้ำขาเข้ากับค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้ของเครื่องอุ่นน้ำ พบว่าค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้ของอีโคโนไมเซอร์มีค่า 10.16, 9.40, 9.08 และ 8.52 กิโลวัตต์ที่อุณหภูมิน้ำ

ขาเข้า 15, 25, 35 และ 45°C ตามลำดับ มีค่าต่ำกว่าที่คำนวณได้จากคอมพิวเตอร์ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากค่าตัวเลขเรย์โนลด์สของน้ำขาเข้ามีค่าต่ำกว่าขอบเขตการใช้งานของสมการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างท่อเทอร์โมไซฟอนและน้ำ ทำให้ค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่าจากการทดลอง

วิจิตร [6] ได้นำเอาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนไปใช้ดึงความร้อนมาอุ่นอากาศจากหม้อไอน้ำขนาดหนึ่งตันที่อัตราการไหลก๊าซร้อนและอากาศเท่ากับ 692.72 m^3/hr อุณหภูมิก๊าซร้อน 231°C โดยใช้ท่อความร้อนที่ทำจากท่อเหล็กแบบมีครีบ มีน้ำเป็นสารทำงาน จำนวน 30 ท่อ พบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้จะมีค่าลดลง ซึ่งผลที่ได้จะเป็นไปในทำนองเดียวกับค่าที่ได้จากการวิจัยชิ้นนี้

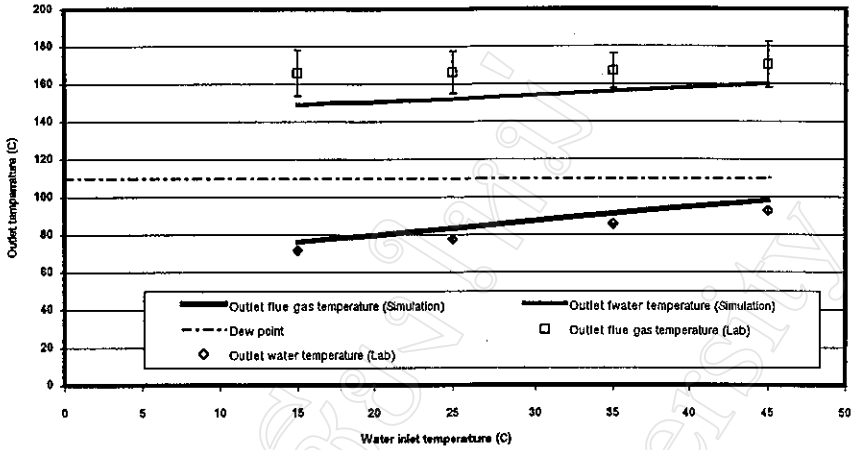
สามารถสรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิน้ำขาเข้าเพิ่มขึ้น ค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้ของอีโคโนไมเซอร์ก็จะลดลง เช่นที่อุณหภูมิน้ำขาเข้าเพิ่มขึ้นจาก 35 เป็น 45°C ค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้จะมีค่าลดลงจาก 9.08 เป็น 8.52 กิโลวัตต์

7.3.3 ค่าประสิทธิผล

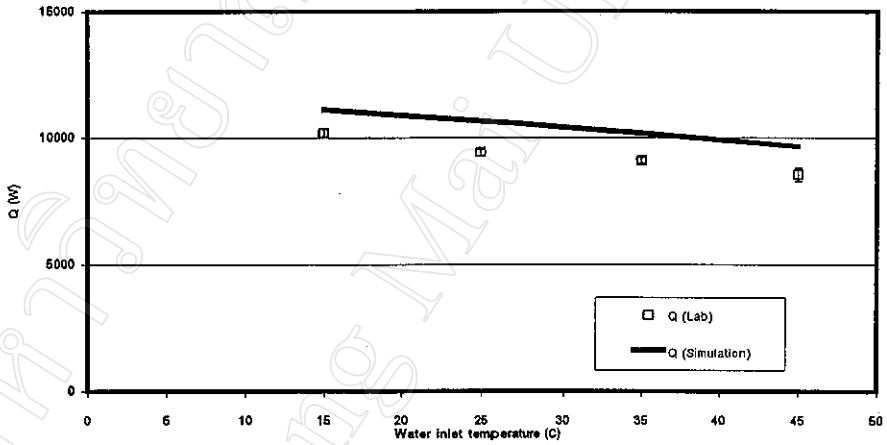
รูป 7.9 แสดงผลของอุณหภูมิน้ำขาเข้ากับค่าประสิทธิผลของอีโคโนไมเซอร์ พบว่าค่าประสิทธิผลที่ได้จากการทดสอบมีค่า 0.34, 0.33, 0.34 และ 0.33 ที่อุณหภูมิน้ำขาเข้า 15, 25, 35 และ 45°C ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างจากที่คำนวณได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เมื่อสังเกตจากรูป 7.9 จะพบว่าอีโคโนไมเซอร์ที่สร้างขึ้นมีค่าประสิทธิผลประมาณ 0.34 แต่ค่าประสิทธิผลจะมีค่าลดลงซึ่งสามารถสังเกตได้จากค่าการถ่ายเทความร้อนที่ลดลง ในขณะที่ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดจะลดลงเล็กน้อย

วิจิตร [6] ได้นำเอาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนไปใช้ดึงความร้อนมาอุ่นอากาศจากหม้อไอน้ำขนาดหนึ่งตันที่อัตราการไหลก๊าซร้อนและอากาศเท่ากับ 692.72 m^3/hr อุณหภูมิก๊าซร้อน 231°C โดยใช้ท่อความร้อนที่ทำจากท่อเหล็กแบบมีครีบ มีน้ำเป็นสารทำงาน จำนวน 30 ท่อ พบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นค่าประสิทธิผลจะมีค่าลดลงเล็กน้อย ซึ่งผลที่ได้จะเป็นไปในทำนองเดียวกับค่าที่ได้จากการวิจัยชิ้นนี้

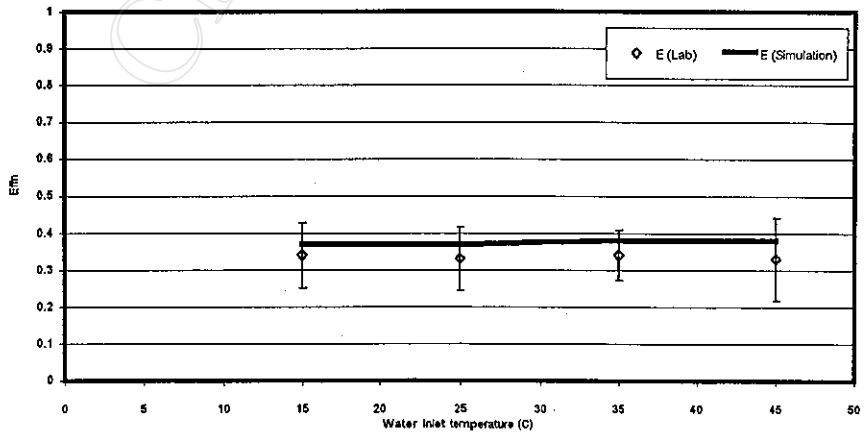
สามารถสรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิน้ำขาเข้าเพิ่มขึ้นค่าประสิทธิผลของอีโคโนไมเซอร์จะลดลงเล็กน้อย เช่น ที่อุณหภูมิขาเข้าของน้ำเพิ่มขึ้นจาก 15 เป็น 45°C ค่าประสิทธิผลของอีโคโนไมเซอร์จะลดลงจาก 0.34 เป็น 0.33 ซึ่งลดลงเพียงเล็กน้อย



รูป 7.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำขาเข้ากับอุณหภูมิก๊าซร้อนขาออกและน้ำขาออก



รูป 7.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำขาเข้ากับค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้



รูป 7.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำขาเข้ากับค่าประสิทธิผล

7.4 ผลทดสอบที่การปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำขาเข้า

สาเหตุที่ต้องมีการทดสอบการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำเนื่องมาจากหากปั๊มที่ใช้ส่งน้ำผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดปัญหาทำให้ไม่สามารถทำงานได้มีผลทำให้อัตราการไหลลดลง และการใช้งานของน้ำที่รับความร้อนจากก๊าซร้อนไม่จำเป็นต้องนำไปใช้ในหม้อไอน้ำเท่านั้นเราสามารถนำความร้อนที่ได้ไปใช้งานประเภทอื่นอีก จึงมีการทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆกัน โดยกำหนดให้อุณหภูมิก๊าซร้อนมีค่าเท่ากับ 231^{o}C อุณหภูมิน้ำ 40^{o}C และอัตราการไหลของก๊าซร้อน 692.72 m^{3}/hr ผลที่ได้มีดังนี้

7.4.1 อุณหภูมิขาออกของก๊าซร้อนและน้ำ

รูป 7.10 แสดงผลการทดสอบที่การปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำ จะได้อุณหภูมิขาออกของก๊าซร้อนเท่ากับ 170.7, 165.4,162.4 และ 161.7^{o}C ที่การปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำเป็น 2.6, 5, 8 และ 12 l/min ตามลำดับ เช่นเดียวกันจะได้อุณหภูมิขาออกของน้ำเป็น 88.31, 64.47, 55.8 และ 50.83^{o}C จะสังเกตุได้ว่าอุณหภูมิน้ำขาออกที่ได้จากการทดสอบจะมีค่าน้อยกว่าที่คำนวณได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์คิดเป็น 7 เปอร์เซ็นต์ที่อัตราการไหลของน้ำ 2.6 l/min และจะเป็น 5 เปอร์เซ็นต์ที่อัตราการไหลของน้ำ 12 l/min เนื่องจากค่าตัวเลขเรย์โนลด์สของน้ำขาเข้ามีค่าต่ำกว่าขอบเขตการใช้งานของสมการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างท่อเทอร์โมไซฟอนและน้ำ ทำให้ค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่าจากการทดลอง แต่ในส่วนของอุณหภูมิก๊าซร้อนขาออกนั้นจะพบว่าค่าที่ได้จะไม่แตกต่างจากการคำนวณจากโปรแกรม

วิจิตร [6] ได้นำเอาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนไปใช้ดึงความร้อนมาอุ่นอากาศจากหม้อไอน้ำขนาดหนึ่งตันที่อัตราการไหลก๊าซร้อนเท่ากับ 692.72 m^{3}/hr อุณหภูมิก๊าซร้อน 231^{o}C อุณหภูมิน้ำขาเข้า 40^{o}C โดยใช้ท่อความร้อนที่ทำจากท่อเหล็กแบบมีครีบ มีน้ำเป็นสารทำงาน จำนวน 30 ท่อ พบว่าเมื่ออัตราการไหลอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นค่าอุณหภูมิขาออกของก๊าซร้อนและอุณหภูมิขาออกของอากาศจะลดลง เช่นที่อัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นจาก 500 เป็น 700 m^{3}/hr อุณหภูมิขาออกของก๊าซร้อนและอากาศจะลดลงจาก 133.1 เป็น 127.6 และ 102 เป็น 96.1^{o}C ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้จะเป็นไปในทำนองเดียวกับค่าที่ได้จากการวิจัยชิ้นนี้

สามารถสรุปได้ว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น อุณหภูมิขาออกของก๊าซร้อนและน้ำจะมีค่าลดลง เช่นที่อัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นจาก 8 เป็น 12 l/min อุณหภูมิขาออกของก๊าซร้อนและน้ำจะลดลงจาก 162.4 เป็น 161.7 และ 55.8 เป็น 50.83^{o}C ตามลำดับ

7.4.2 ค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้

รูป 7.11 แสดงผลของอัตราการไหลของน้ำกับค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้ของอีโคโนไมเซอร์ ค่าความร้อนที่อีโคโนไมเซอร์สามารถถ่ายเทได้มีค่า 8.75, 8.49, 8.92 และ 9.41 กิโลวัตต์ ที่อัตราการไหลของน้ำ 2.6, 5, 8 และ 12 l/min ตามลำดับซึ่งค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้มีค่าเพิ่มขึ้น เช่น ที่อัตราการไหลของน้ำเพิ่มจาก 8 เป็น 12 l/ min ค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้จะเพิ่มจาก 8.92 เป็น 9.40 กิโลวัตต์ มีค่าต่ำกว่าที่คำนวณได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์คิดเป็น 12 ถึง 21 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากค่าตัวเลขเรย์โนลด์สของน้ำขาเข้ามีค่าต่ำกว่าขอบเขตการใช้งานของสมการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างท่อเทอร์โมไซฟอนและน้ำ ทำให้ค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่าจากการทดลอง เมื่อสังเกตรูป 7.11 จะพบว่าอีโคโนไมเซอร์ที่สร้างขึ้นจะให้ค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้ต่ำสุดต่อท่อ ที่ประมาณ 277 วัตต์

Bacanu et.al [11] ได้ทำการสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบผสมใช้สำหรับอุ่นน้ำและอากาศ ประกอบด้วยท่อเทอร์โมไซฟอน ยาว 2 เมตร จำนวน 2 แถวๆ ละ 16 ท่อ แบ่งเป็นส่วนทำระเหย 0.7 เมตร ส่วนควบแน่นสำหรับอากาศ 1.05 เมตร ส่วนควบแน่นสำหรับน้ำ 0.25 เมตร พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำจาก 0.601 ถึง 0.832 กิโลกรัมต่อวินาที จะทำให้ค่าความร้อนที่ได้เพิ่มจาก 15.7 ถึง 17 กิโลวัตต์ ซึ่งผลที่ได้จะเป็นไปในทำนองเดียวกับค่าที่ได้จากการวิจัยชิ้นนี้

วิจิตร [6] ได้นำเอาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนไปใช้ดึงความร้อนมาอุ่นอากาศจากหม้อไอน้ำขนาดหนึ่งตันที่อัตราการไหลก๊าซร้อนเท่ากับ 692.72 m^3/hr อุณหภูมิก๊าซร้อน 231°C อุณหภูมิอากาศขาเข้า 30°C โดยใช้ท่อความร้อนที่ทำจากท่อเหล็กแบบมีครีบ มีน้ำเป็นสารทำงาน จำนวน 30 ท่อ พบว่าเมื่ออัตราการไหลอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้จะเพิ่มขึ้น เช่นที่อัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นจาก 500 เป็น 700 m^3/hr ค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้จะเพิ่มจาก 11.56 เป็น 15.17 กิโลวัตต์ ซึ่งผลที่ได้จะเป็นไปในทำนองเดียวกับค่าที่ได้จากการวิจัยชิ้นนี้

สามารถสรุปได้ว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น ค่าความร้อนที่อีโคโนไมเซอร์สามารถถ่ายเทได้จะมีเพิ่มขึ้น เช่น ที่อัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นจาก 8 เป็น 12 l/min ค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้ของอีโคโนไมเซอร์จะเพิ่มจาก 8.92 เป็น 9.40 กิโลวัตต์

7.4.3 ค่าประสิทธิผล

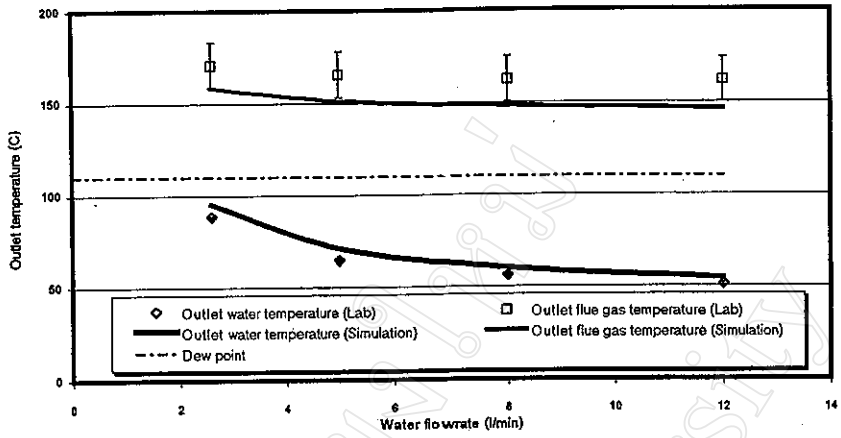
รูป 7.12 แสดงผลของอัตราการไหลของน้ำขาเข้ากับค่าประสิทธิผลของอีโคโนไมเซอร์ พบว่าค่าประสิทธิผลที่ได้จากการทดสอบมีค่า 0.33, 0.33, 0.34, และ 0.36 ที่อัตราการไหลของน้ำขาเข้า 2.6, 5, 8 และ 12 l/min มีค่าไม่แตกต่างจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เมื่อพิจารณารูป 7.12 แล้วจะพบว่าอีโคโนไมเซอร์ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิผลต่ำสุด 0.31

Bacanu et.al [11] ได้ทำการสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบผสมใช้สำหรับอุ่นน้ำและอากาศ ประกอบด้วยท่อเทอร์โมไซฟอน ยาว 2 เมตร จำนวน 2 แถวๆ ละ 16 ท่อ แบ่งเป็นส่วนทำระเหย 0.7 เมตร ส่วนควบแน่นสำหรับอากาศ 1.05 เมตร ส่วนควบแน่นสำหรับน้ำ 0.25 เมตร พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำจาก 0.601 ถึง 0.832 กิโลกรัมต่อวินาที ค่าประสิทธิผลเพิ่มจาก 0.263 ถึง 0.277 ซึ่งผลที่ได้จะเป็นไปในทำนองเดียวกับค่าที่ได้จากการวิจัยชิ้นนี้

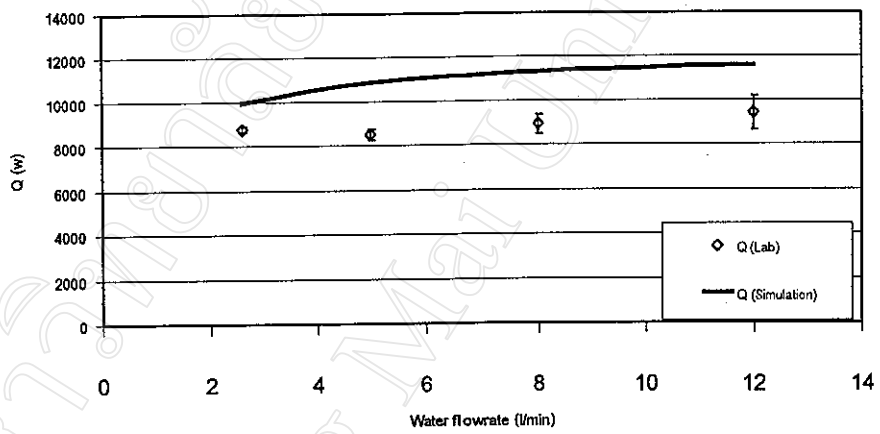
วิจิตร [6] ได้นำเอาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนไปใช้ดึงความร้อนมาอุ่นอากาศจากหม้อไอน้ำขนาดหนึ่งตันที่อัตราการไหลก๊าซร้อนเท่ากับ 692.72 m^3/hr อุณหภูมิก๊าซร้อน 231°C อุณหภูมิอากาศขาเข้า 30°C โดยใช้ท่อความร้อนที่ทำจากท่อเหล็กแบบมีครีบ มีน้ำเป็นสารทำงาน จำนวน 30 ท่อ พบว่าเมื่ออัตราการไหลอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นค่าประสิทธิผลจะเพิ่มขึ้น เช่นที่อัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นจาก 500 เป็น 700 m^3/hr ค่าประสิทธิผลจะเพิ่มจาก 0.46 เป็น 0.61 และมีค่าประสิทธิผลต่ำสุดที่ 0.28 ซึ่งผลที่ได้จะเป็นไปในทำนองเดียวกับค่าที่ได้จากการวิจัยชิ้นนี้

จากงานวิจัยของ Dube et.al [13] ได้ทำการทดสอบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับอากาศโดยใช้ท่อความร้อนที่ทำจาก ท่อเหล็กขนาด 15.88 มิลลิเมตร ครีบอลูมิเนียมหนา 0.271 มิลลิเมตร เป็นครีบต่อเนื่อง จำนวน 328 ครีบต่อความยาวท่อ 1 เมตร ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น 304.8 มิลลิเมตร จัดวางท่อแบบเหลื่อม จำนวนทั้งสิ้น 24 ท่อ ใช้น้ำเป็นสารทำงานโดยมีอัตราการเติมที่ 60 เปอร์เซ็นต์ อัตราการไหลของของไหลด้านร้อนกันด้านเย็นมีค่าเท่ากัน จะได้ค่าประสิทธิผลของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับท่อเหล็กอยู่ในช่วง 0.23 ถึง 0.45 โดยจะมีค่าลดลงหากความเร็วของอากาศเพิ่มมากขึ้น ซึ่งผลที่ได้จะเป็นไปในทำนองเดียวกับค่าที่ได้จากการวิจัยชิ้นนี้

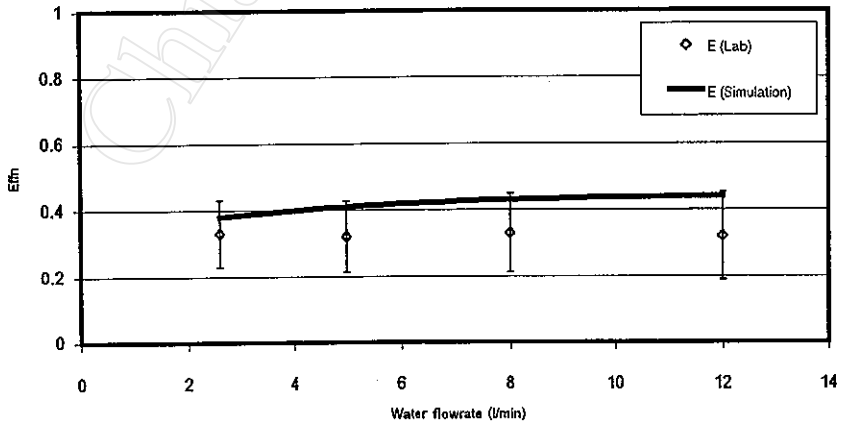
สามารถสรุปได้ว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำขาเข้ามีค่าเพิ่มขึ้น ค่าประสิทธิผลของอีโคโนไมเซอร์ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตได้จากค่าการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้น เช่น ที่อัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นจาก 8 เป็น 12 l/min ค่าประสิทธิผลของอีโคโนไมเซอร์จะเพิ่มขึ้นจาก 0.34 เป็น 0.36



รูป 7.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำขาเข้า กับอุณหภูมิก๊าซร้อนและน้ำขาออก



รูป 7.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำกับค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้



รูป 7.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำกับค่าประสิทธิผล

7.5 ผลทดสอบที่การทำงานคล้ายกับการทำงานของหม้อไอน้ำตัวอย่าง

ผลการทดสอบจะได้ดังรูป 7.13 เมื่อนำผลที่ได้มาทำการคำนวณเราจะได้ว่า เมื่อนำไปทำงานในลักษณะการทำงานจริงจะสามารถดึงเอาพลังงานกลับมาได้ 4182.3 วัตต์ คิดเป็น 316.18 เมกกะจูลต่อวัน(21 ชั่วโมง) นำไปคิดกลับให้เป็นปริมาณของน้ำมันดีเซลจะได้ 8.2 ลิตรต่อการทำงานหนึ่งวัน คิดที่ราคาน้ำมันดีเซลลิตรละ 8.70 บาท สามารถประหยัดเงินได้วันละ 71.3 บาท มีราคาค่าวัสดุที่ใช้ทำอีโคโนไมเซอร์ 50,000 บาท และค่าดำเนินการต่างๆอีก 20,000 บาท เมื่อนำมาคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนพบว่าสามารถคืนทุนภายในระยะเวลา 2 ปี 9 เดือน รายละเอียดการคำนวณสามารถดูได้ในภาคผนวก ก

เมื่อนำเอาข้อมูลดังกล่าวข้างต้นมาคำนวณค่า Internal Rate of Return (IRR) โดยกำหนดให้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีอายุการใช้งาน 10 ปี ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นที่ 70,000 บาท พบว่า ค่าพลังงานที่สามารถดึงกลับได้ต่อปีคิดเป็นเงิน 24,955 บาทที่การทำงานวันละ 21 ชั่วโมงปีละ 350 วัน คิดที่ค่าการดูแลรักษาอาทิเช่นเป่าหรือล้างเพื่อกำจัดเขม่าที่ติดอยู่กับท่อที่ 3,000 บาทต่อปี จะได้ค่า IRR เท่ากับ 34.43 เปอร์เซ็นต์ซึ่งมีค่าสูงและเป็นการยืนยันว่าการเลือกใช้อีโคโนไมเซอร์แบบท่อความร้อนนี้เหมาะสมและช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย รายละเอียดการคำนวณสามารถดูได้ในภาคผนวก ก

เมื่อนำเอาข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาคิดหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำจะได้ว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำจาก 84 เปอร์เซ็นต์เป็น 88 เปอร์เซ็นต์

วิจิตร [6] ได้นำเอาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนไปใช้ดึงความร้อนมาอุ่นอากาศจากหม้อไอน้ำขนาดหนึ่งตันที่อัตราการไหลก๊าซร้อนและอากาศเท่ากับ 692.72 m^3/hr อุณหภูมิก๊าซร้อน 231^{o}C อุณหภูมิอากาศ 30^{o}C โดยใช้ท่อความร้อนที่ทำจากท่อเหล็กแบบมีครีบ มีน้ำเป็นสารทำงาน จำนวน 30 ท่อ พบว่าสามารถดึงเอาพลังงานกลับมาได้ 174.76 เมกกะจูลต่อวัน สามารถประหยัดน้ำมันได้ 4.52 ลิตรต่อวัน ทำให้มีระยะเวลาคืนทุนภายใน 2 ปี 9 เดือน และมีค่า IRR เท่ากับ 27.89 เปอร์เซ็นต์ โดยคิดค่าเครื่องและค่าดำเนินการ 40,000 บาท และค่าบำรุงรักษา 2,000 บาทต่อปีทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้หม้อไอน้ำจาก 84 เป็น 91 เปอร์เซ็นต์

จากผลการวิจัยของ Guo *et.al* [18] ได้นำเอาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนมาประยุกต์ใช้งานกับหม้อไอน้ำในโรงไฟฟ้าขนาด 220 ตันต่อชั่วโมงโดยใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง พบว่าช่วยประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงได้ 378 ตันต่อปี โดยมีราคาค่าก่อสร้าง 238,000 หยวน จะสามารถคืนทุนได้ภายใน 2-3 ปี

สามารถสรุปได้ว่าอีโคโนไมเซอร์แบบท่อความร้อนเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานกับหม้อไอน้ำสำเร็จรูปเพราะให้อัตราผลตอบแทนที่สูงและระยะเวลาคืนทุนสั้น

7.6 ผลการตรวจวัดความดันตกคร่อมกลุ่มท่อ

สาเหตุที่ต้องมีการตรวจวัดความดันตกคร่อมกลุ่มท่อเนื่องจาก เมื่อนำเอาอีโคโนไมเซอร์ไปติดตั้งที่ท่อก๊าซร้อนแล้ว หากไม่มีการตรวจสอบความดันตกคร่อม อาจจะมีผลทำให้ก๊าซร้อนที่ไหลผ่านอีโคโนไมเซอร์แล้วมีความดันลดลงมากจนกระทั่งไม่สามารถเอาชนะความดันเนื่องจากบรรยากาศ และความสูงของปล่องได้ จะทำให้เกิดความดันกลับทำให้หม้อไอน้ำหยุดทำงาน เกิดผลเสียต่อหม้อไอน้ำได้

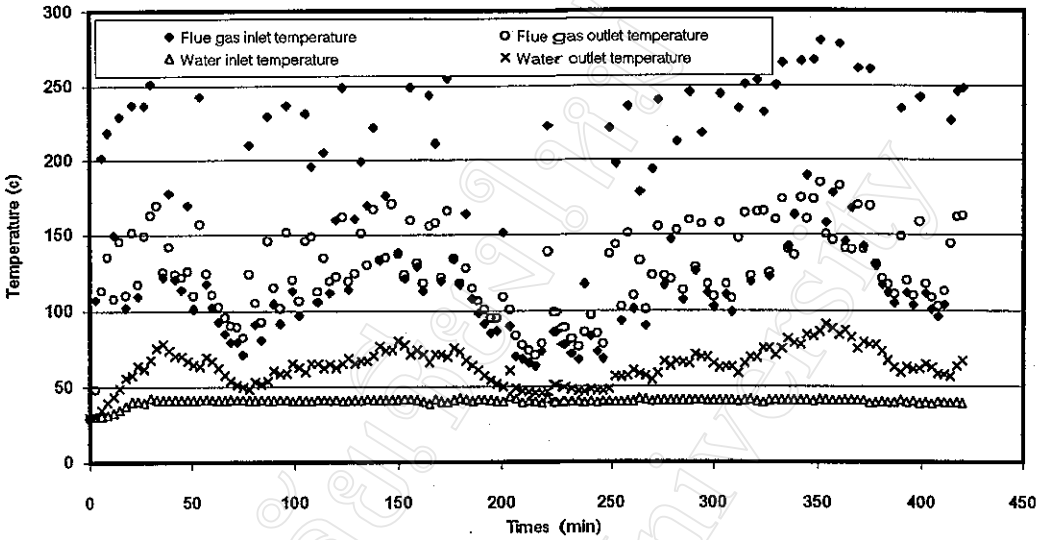
จากการตรวจวัดความดันตกคร่อมกลุ่มท่อ พบว่าความดันที่ทางเข้าของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าประมาณ 0.15 mbar และที่ทางออกของเครื่องมีค่าประมาณ 0.04 mbar ดังรูป 7.14 ได้ความดันตกคร่อมกลุ่มท่อ 0.11 mbar หรือประมาณ 11 Pa จากการคำนวณโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์พบว่า ความดันตกคร่อมทั้งระบบเมื่อใช้อีโคโนไมเซอร์แบบท่อความร้อนแล้วจะมีค่าเท่ากับ 62.68 Pa ซึ่งสามารถเอาชนะความดันเนื่องจากความดันบรรยากาศและความสูงของปล่องควันของหม้อไอน้ำตัวอย่าง (25 เมตร ของโรงแรมพรพิงค์ทาวเวอร์)

สามารถสรุปได้ว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความดันตกคร่อมน้อยคือประมาณ 11 Pa เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานกับหม้อไอน้ำสำเร็จรูป

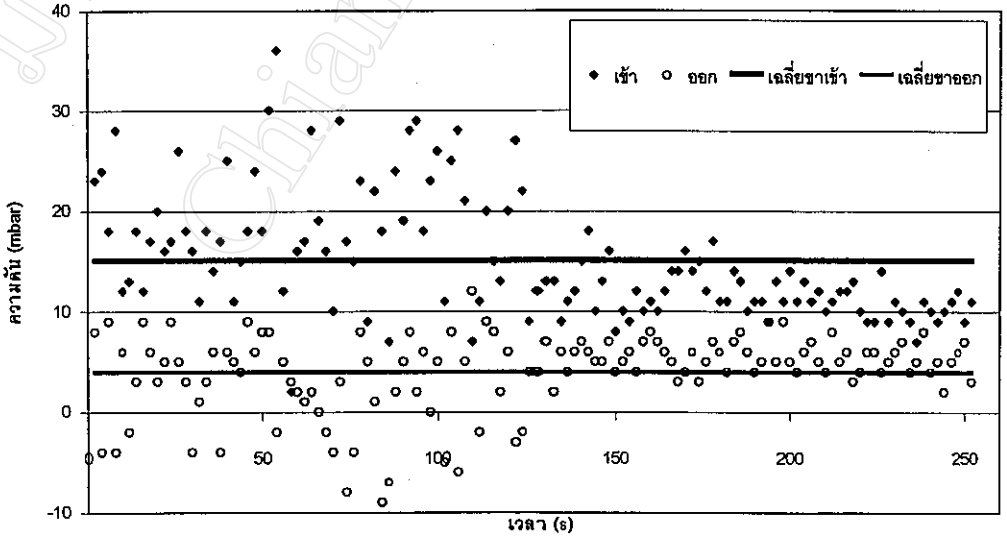
7.7 ผลของตัวเลขเรย์โนลด์สด้านร้อนต่อด้านเย็นและตัวเลขหน่วยการถ่ายเทความร้อน

เมื่อนำเอาค่าที่ได้จากการทดลองมาวาดลงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิผลกับอัตราส่วนตัวเลขเรย์โนลด์สด้านร้อนต่อด้านเย็น (Re_H/Re_C) โดยนำค่าที่การแปรเปลี่ยนปริมาณก๊าซร้อนขาเข้า ดังรูป 7.15 พบว่าค่าประสิทธิผลของอีโคโนไมเซอร์ที่สร้างขึ้นมีค่าลดลงจาก 0.43 เป็น 0.33 ที่อัตราส่วนตัวเลขเรย์โนลด์สด้านร้อนต่อด้านเย็นจาก 4.04 ถึง 6.34 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิผลกับตัวเลขหน่วยการถ่ายเทความร้อน (NTU) ดังรูป 7.16 พบว่าค่าประสิทธิผลของอีโคโนไมเซอร์ที่สร้างขึ้นมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.33 ถึง 0.43 ที่ค่าตัวเลขหน่วยการถ่ายเทความร้อนเพิ่มจาก 0.020 ถึง 0.028

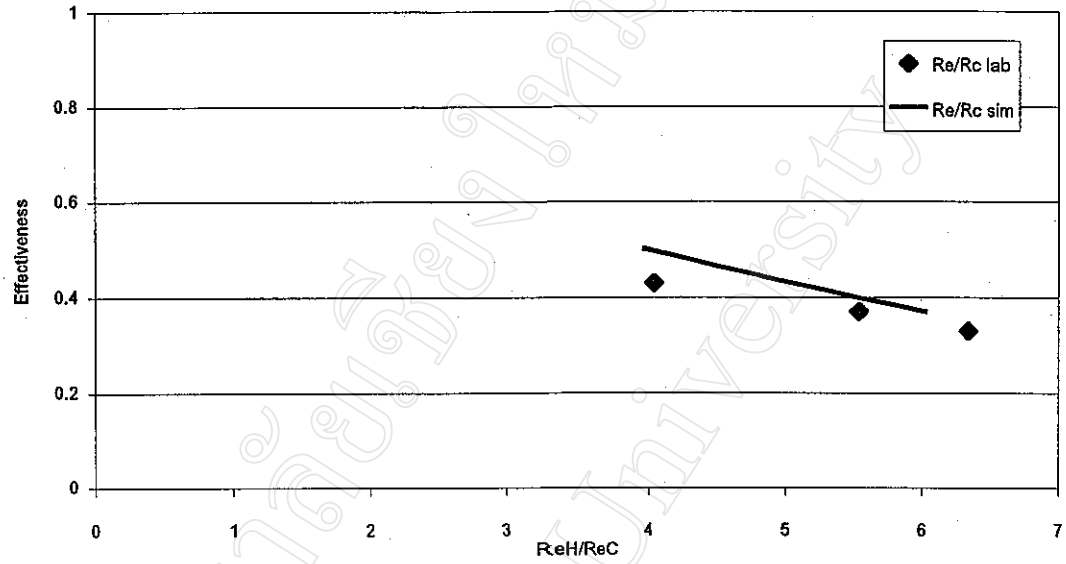
Bacanu et.al [11] ได้ทำการสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบผสมใช้สำหรับอุ่นน้ำและอากาศ ประกอบด้วยท่อเทอร์โมไซฟอน ยาว 2 เมตร จำนวน 2 แถวๆ ละ 16 ท่อ แบ่งเป็นส่วนทำระเหย 0.7 เมตร ส่วนควบแน่นสำหรับอากาศ 1.05 เมตร ส่วนควบแน่นสำหรับน้ำ 0.25 เมตร พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำจาก 0.601 ถึง 0.832 กิโลกรัมต่อวินาที พบว่าค่าตัวเลขเรย์โนลด์ส



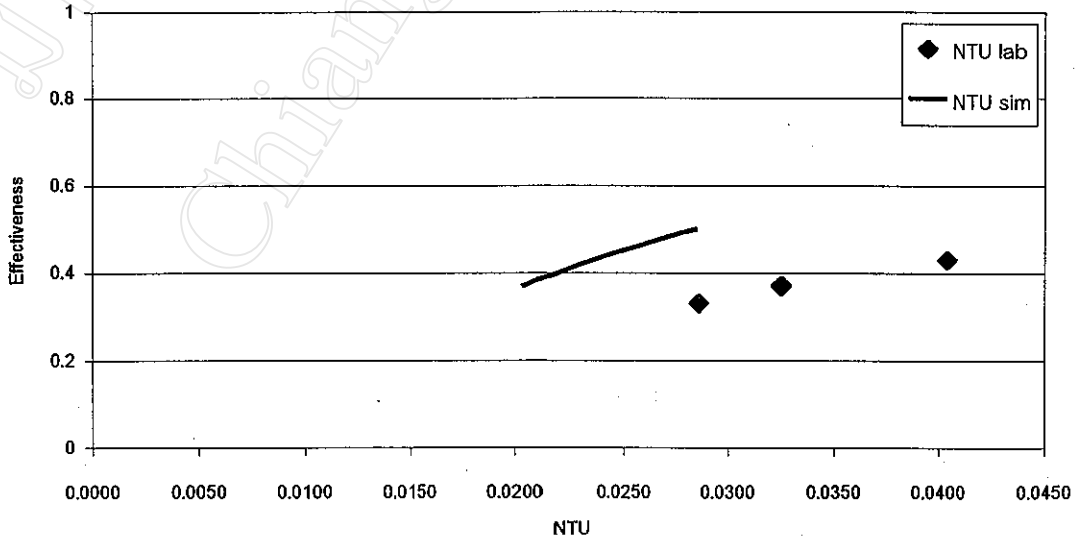
รูป 7.13 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเมื่อทดสอบตามการทำงานของหม้อไอน้ำตัวอย่าง



รูป 7.14 แสดงความดันภายในเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบท่อความร้อน



รูป 7.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวเลขเรย์โนลด์ด้านร้อนต่อด้านเย็นกับค่าประสิทธิผล



รูป 7.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง NTU กับ Effectiveness

ด้านร้อนต่อด้านเย็นกับค่าประสิทธิผลมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.348 ถึง 0.467 ค่าประสิทธิผลจะลดลงจาก 0.277 ถึง 0.263 ซึ่งผลที่ได้จะเป็นไปในทำนองเดียวกับค่าที่ได้จากการวิจัยชิ้นนี้

TerdToon [24] ได้ศึกษาถึงเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเทอร์โมไซฟอนสำหรับหม้อไอน้ำสำเร็จรูป โดยใช้ท่อความร้อนทำจากท่อสแตนเลส ขนาด 25.7 มิลลิเมตร จำนวน 78 ท่อ มีน้ำเป็นสารทำงาน ที่อุณหภูมิก๊าซร้อน 280°C และความเร็วก๊าซร้อน 4.5 เมตรต่อวินาที พบว่าสำหรับทุก อุณหภูมิก๊าซร้อน (280, 220, และ 260°C) ที่ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ส ด้านส่วนควบแน่นเพิ่มขึ้นจาก 20 ถึง 110 จะทำให้ประสิทธิผลของเครื่องอุ่นน้ำป้อนลดลงจาก 0.70 เป็น 0.55

ทวีศักดิ์ [8] ได้ทำการศึกษาค่าอัตราส่วนตัวเลขเรย์โนลด์สด้านร้อนต่อด้านเย็น และตัวเลขหน่วยการถ่ายเทความร้อน ที่มีผลต่อค่าประสิทธิผลของอีโคโนไมเซอร์ โดยปรับอัตราการไหลของก๊าซร้อนแล้ววัดอุณหภูมิที่จุดต่างๆ พบว่าประสิทธิผลของอีโคโนไมเซอร์มีค่าลดลงจาก 0.30 จนถึง 0.15 ที่อัตราส่วนตัวเลขเรย์โนลด์สด้านร้อนต่อด้านเย็นจาก 0.5 ถึง 4 และประสิทธิผลของอีโคโนไมเซอร์เพิ่มขึ้นจาก 0.15 ถึง 0.30 ที่ตัวเลขหน่วยการถ่ายเทความร้อนจาก 1.2 ถึง 1.9 ซึ่งผลที่ได้จะเป็นไปในทำนองเดียวกับค่าที่ได้จากการวิจัยชิ้นนี้

วิจิตร [6] ทำการทดสอบเครื่องอุ่นอากาศสำหรับหม้อไอน้ำขนาด 1 ตัน พบว่าเมื่ออัตราส่วนตัวเลขเรย์โนลด์สด้านร้อนต่อด้านเย็นมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าประสิทธิผลของเครื่องอุ่นอากาศจะมีค่าลดลง เช่น เมื่ออัตราส่วนตัวเลขเรย์โนลด์สด้านร้อนต่อด้านเย็นมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.5 เป็น 0.8 ค่าประสิทธิผลจะลดลงจาก 0.50 เป็น 0.42 ในทางกลับกันเมื่อตัวเลขหน่วยการถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าประสิทธิผลของเครื่องอุ่นอากาศจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เช่น เมื่อตัวเลขหน่วยการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 0.02 เป็น 0.04 ค่าประสิทธิผลของเครื่องอุ่นอากาศจะเพิ่มขึ้นจาก 0.35 เป็น 0.51 ซึ่งผลที่ได้จะเป็นไปในทำนองเดียวกับค่าที่ได้จากการวิจัยชิ้นนี้

สังเกตได้ว่าในผลของการทดสอบอีโคโนไมเซอร์และเครื่องอุ่นอากาศดังกล่าวเป็นไปในทำนองเดียวกัน แต่ในกรณีของเครื่องอุ่นอากาศความเร็วของด้านเย็นสูงทำให้ค่าอัตราส่วนตัวเลขเรย์โนลด์สด้านร้อนต่อด้านเย็นต่ำกว่าอีโคโนไมเซอร์ที่สร้างขึ้น แต่ค่าที่ได้เป็นไปในทำนองเดียวกัน

สามารถสรุปได้ว่าเมื่ออัตราส่วนตัวเลขเรย์โนลด์สด้านร้อนต่อด้านเย็นมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าประสิทธิผลของอีโคโนไมเซอร์จะมีค่าลดลง เช่น เมื่ออัตราส่วนตัวเลขเรย์โนลด์สด้านร้อนต่อด้านเย็นมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 4.04 เป็น 6.34 ค่าประสิทธิผลจะลดลงจาก 0.43 เป็น 0.33 ในทางกลับกันเมื่อตัวเลขหน่วยการถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าประสิทธิผลของอีโคโนไมเซอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เช่น เมื่อตัวเลขหน่วยการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 0.020 เป็น 0.028 ค่าประสิทธิผลของอีโคโนไมเซอร์จะเพิ่มขึ้นจาก 0.33 เป็น 0.43

7.8 สภาวะแปรเปลี่ยนของอีโคโนไมเซอร์

ในการทำงานของหม้อไอน้ำไม่ได้ให้ความร้อนตลอดเวลาโดยเครื่องพ่นไฟจะทำงานจนถึงความดันที่กำหนดแล้วจะหยุดทำงานจนกระทั่งความดันลดลงถึงจุดที่กำหนดจึงเริ่มทำงานต่อเป็นวัฏจักร เพื่อที่จะทำนายอุณหภูมิของอีโคโนไมเซอร์จึงจำเป็นต้องทดสอบหาอุณหภูมิที่เครื่องพ่นไฟติด และดับ เพื่อนำมาหาสมการที่จะทำนายลักษณะทางความร้อนของอีโคโนไมเซอร์

ในการทดสอบจะทำการแบ่งเป็น 4 ส่วนเพื่อทำการหาอุณหภูมิ คือ อุณหภูมิก๊าซร้อนขาเข้าขณะเดินเครื่อง อุณหภูมิก๊าซร้อนขาออกขณะเดินเครื่อง อุณหภูมิก๊าซร้อนขาเข้าขณะหยุดเดินเครื่อง และอุณหภูมิก๊าซร้อนขาออกขณะหยุดเดินเครื่อง แล้วทำการหาสมการจากการทดสอบแต่ละส่วน ซึ่งจะได้ผลดังนี้

7.8.1 อุณหภูมิก๊าซร้อนขาเข้าขณะเดินเครื่อง

อุณหภูมิก๊าซร้อนขาเข้าขณะเดินเครื่องจะเป็นดังรูป 7.17 โดยแบ่งออกเป็นสมการเส้นตรง 2 ช่วง คือ ช่วง 60 วินาทีแรก และช่วงหลังจาก 60 วินาที จะได้สมการช่วง 60 วินาทีแรก คือ

$$T_1 = (-0.0027 \times T_0 + 2.4363) \times t + T_0 \qquad (7.1)$$

โดย T_0 คือ อุณหภูมิเริ่มต้น

T_1 คือ อุณหภูมิที่เวลาใดๆ ในช่วง 60 วินาที

ช่วงเวลาหลังจาก 60 วินาที จะได้สมการ คือ

$$T_2 = (-0.0003 \times T_{60} + 0.147) \times t + T_{60} \qquad (7.2)$$

โดย t คือ เวลา (วินาที)

T_2 คือ อุณหภูมิที่เวลา t

T_{60} คือ อุณหภูมิที่เวลา 60 วินาที

7.8.2 อุณหภูมิก๊าซร้อนขาออกขณะเดินเครื่อง

อุณหภูมิก๊าซร้อนขาออกขณะเดินเครื่องจะเป็นดังรูป 7.18 โดยแบ่งออกเป็นสมการเส้นตรง 2 ช่วง คือ ช่วง 60 วินาทีแรก และช่วงหลังจาก 60 วินาที โดยอุณหภูมิเริ่มแรกได้จากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิก๊าซร้อนขาเข้ากับอุณหภูมิก๊าซร้อนขาออกขณะเดินเครื่อง ดังรูป 7.19 คือ

$$T_{eo} = 0.6881 \times T_{ei} + 30.097 \qquad (7.3)$$

จะได้สมการช่วง 60 วินาทีแรก

$$T_1 = \left(-0.004 \times \left(0.6881 \times T_{ei} + 30.097\right) + 1.156\right) \times t + T_0 \qquad (7.4)$$

ช่วงเวลาหลังจาก 60 วินาที จะได้สมการ คือ

$$T_2 = \left(-0.0005 \times T_{60} + 0.1213\right) \times t + T_{60} \qquad (7.5)$$

7.8.3 อุณหภูมิก๊าซร้อนขาเข้าขณะหยุดเดินเครื่อง

อุณหภูมิก๊าซร้อนขาเข้าขณะหยุดเดินเครื่องจะเป็นดังรูป 7.20 โดยแบ่งออกเป็นสมการเส้นตรง 2 ช่วง คือ ช่วง 60 วินาทีแรก และช่วงหลังจาก 60 วินาที จะได้สมการช่วง 60 วินาทีแรก คือ

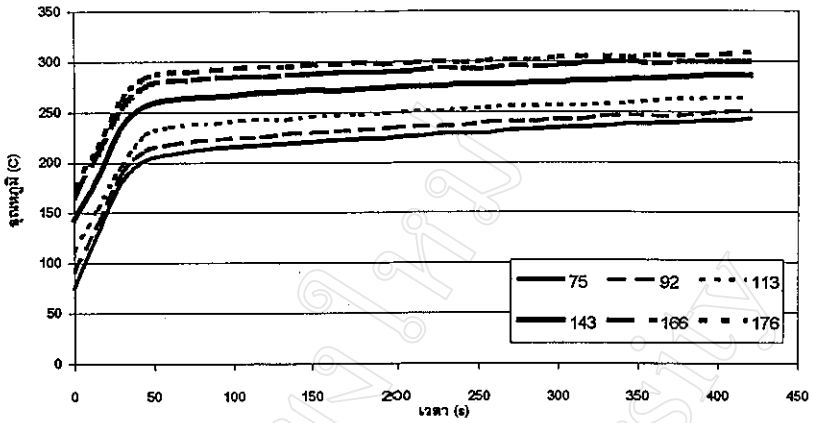
$$T_1 = \left(-0.0023 \times T_0 - 1.46632\right) \times t + T_0 \qquad (7.6)$$

ช่วงเวลาหลังจาก 60 วินาที จะได้สมการ คือ

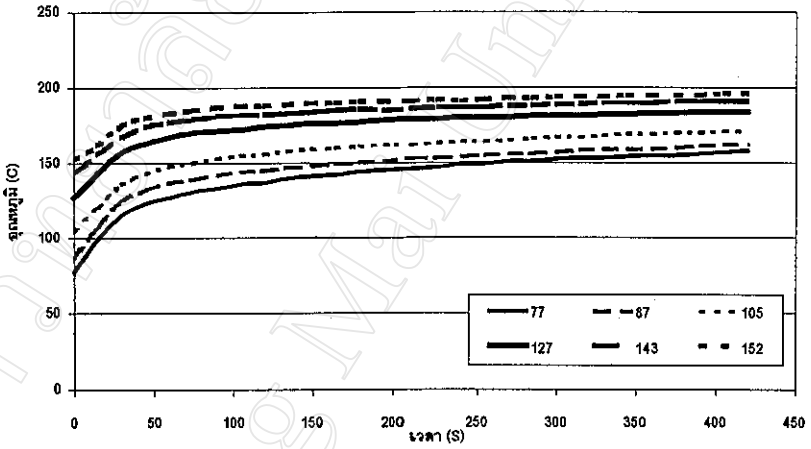
$$T_2 = \left(-0.0004 \times T_{60} - 0.0266\right) \times t + T_{60} \qquad (7.7)$$

7.8.4 อุณหภูมิก๊าซร้อนขาออกขณะหยุดเดินเครื่อง

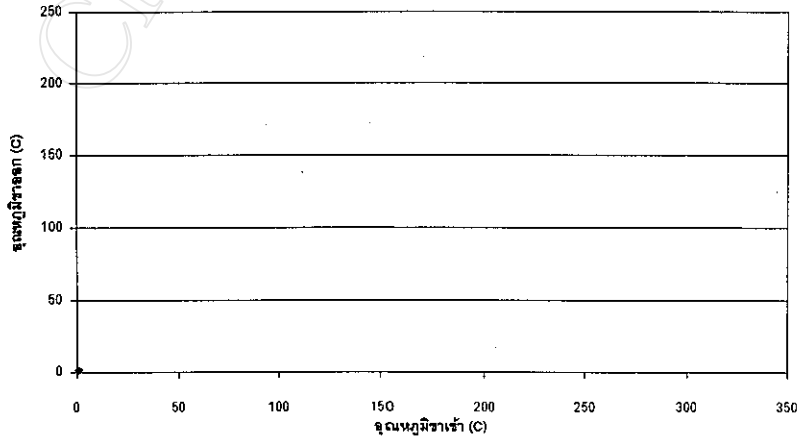
อุณหภูมิก๊าซร้อนขาออกขณะหยุดเดินเครื่องจะเป็นดังรูป 7.21 โดยแบ่งออกเป็นสมการเส้นตรง 2 ช่วง คือ ช่วง 60 วินาทีแรก และช่วงหลังจาก 60 วินาที โดยอุณหภูมิเริ่มแรกได้จากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิก๊าซร้อนขาเข้ากับอุณหภูมิก๊าซร้อนขาออกขณะหยุดเดินเครื่อง ดังรูป 7.22 คือ



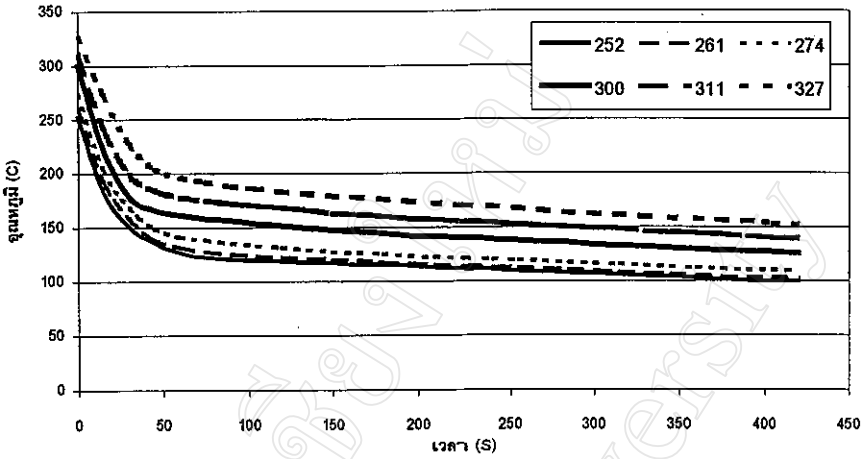
รูป 7.17 แสดงอุณหภูมิก๊าซร้อนขาเข้าขณะเดิน



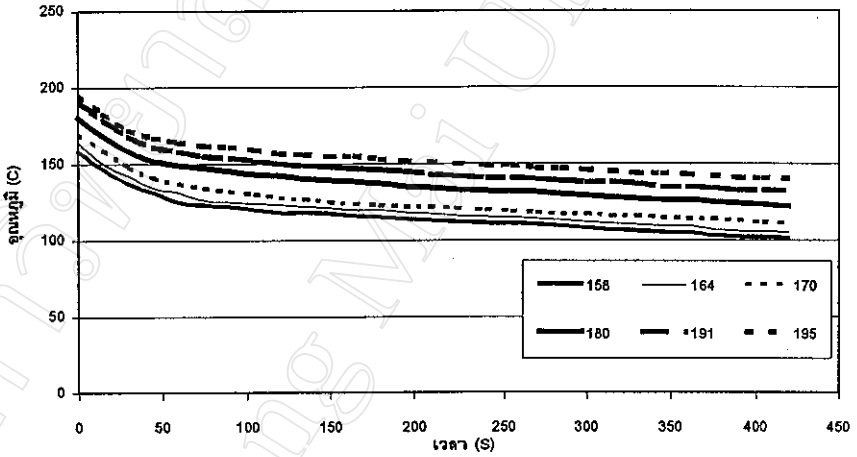
รูป 7.18 แสดงอุณหภูมิก๊าซร้อนขาออกขณะเดินเครื่อง



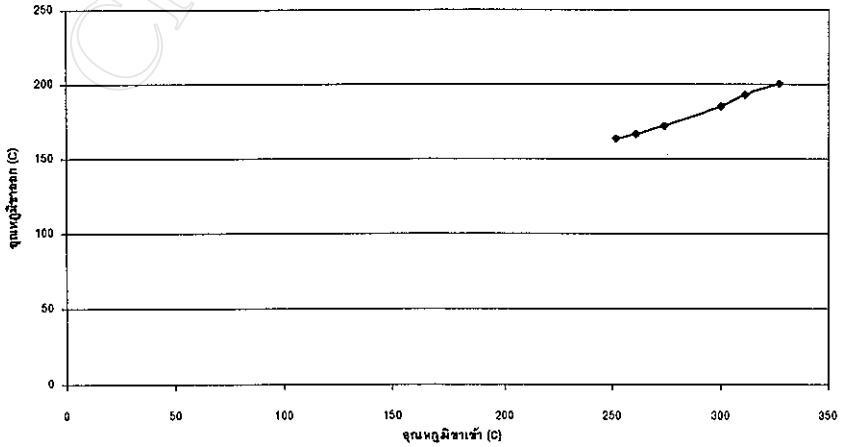
รูป 7.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิก๊าซร้อนขาเข้ากับขาออกขณะหยุดเดินเครื่อง



รูป 7.20 แสดงอุณหภูมิก๊าซร้อนขาเข้าขณะหยุดเดินเครื่อง



รูป 7.21 แสดงอุณหภูมิก๊าซร้อนขาออกขณะหยุดเดินเครื่อง



รูป 7.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิก๊าซร้อนขาเข้ากับขาออกขณะหยุดเดินเครื่อง

$$T_{eo} = 0.5076 \times T_{ei} + 33.885 \quad (7.8)$$

จะได้สมการช่วง 60 วินาทีแรกคือ

$$T_1 = \left(-0.0003 \times \left(0.5076 \times T_{ei} + 33.885\right) - 0.599\right) \times t + T_0 \quad (7.9)$$

ช่วงเวลาหลังจาก 60 วินาที จะได้สมการ คือ

$$T_2 = \left(0.0002 \times T_{60} - 0.094\right) \times t + T_{60} \quad (7.10)$$

7.8.5 การทำนายการทำงานของอีโคโนไมเซอร์

นำผลที่ได้จากสมการไปทำนายการทำงานของอีโคโนไมเซอร์ได้ดังนี้

อุณหภูมิก๊าซร้อนขาเข้ากับเวลาการทำงานในหนึ่งวัน (7 ชั่วโมง) ดังรูป 7.23 ได้อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดช่วงเวลา 177.2°C โดยจากการทดลองได้อุณหภูมิเฉลี่ย 155.8°C ซึ่งอุณหภูมิก๊าซร้อนขาเข้าที่ได้จากการทำนายมากกว่าจากการทดลอง 13.7 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิก๊าซร้อนขาออกกับเวลาการทำงานในหนึ่งวัน ดังรูป 7.24 ได้อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดช่วงเวลา 137.1°C โดยจากการทดลองได้อุณหภูมิเฉลี่ย 126.5°C ซึ่งอุณหภูมิก๊าซร้อนขาออกที่ได้จากการทำนายมากกว่าจากการทดลอง 8.4 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิน้ำขาออกกับเวลาการทำงานในหนึ่งวัน ดังรูป 7.25 การหาสมการเพื่อทำนายอุณหภูมิน้ำขาออกหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำขาออกและอุณหภูมิก๊าซร้อนขาเข้า ดังรูป 7.26 ได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$T_{co} = 0.2937 \times Tei + 17.65 \quad (7.11)$$

ได้อุณหภูมิน้ำขาออกเฉลี่ยตลอดช่วงเวลา 69.7°C โดยจากการทดลองได้อุณหภูมิเฉลี่ย 63.3°C ซึ่งอุณหภูมิน้ำขาออกที่ได้จากการทำนายมากกว่าจากการทดลอง 10.1 เปอร์เซ็นต์

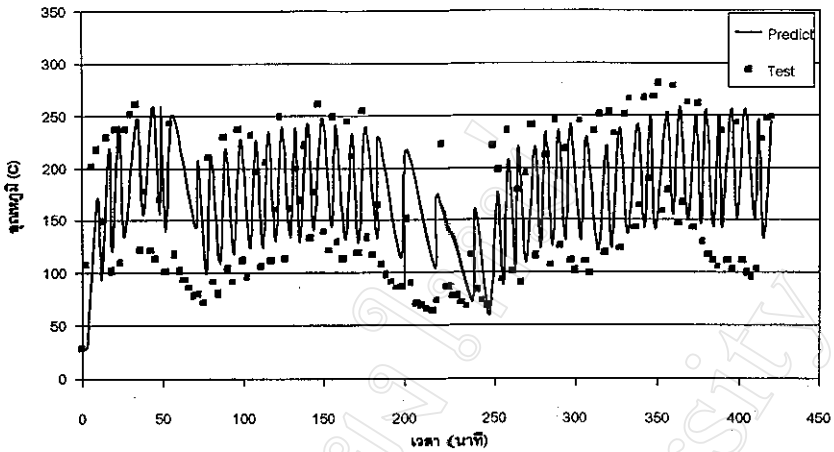
อุณหภูมิน้ำขาเข้ากับเวลาการทำงานในหนึ่งวัน ดังรูป 7.27 ได้อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดช่วงเวลา 39.5°C โดยคิดอุณหภูมิน้ำเริ่มแรก 26°C และเพิ่มขึ้นจนถึง 40°C ที่เวลา 30 นาทีหลังจากนั้นจะคง

ที่ที่ 40°C ซึ่งจากการทดลองได้อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำขาเข้า 40.22°C ซึ่งอุณหภูมิน้ำขาเข้าที่ได้จากการทำนายน้อยกว่าจากการทดลอง 1.8 เปอร์เซ็นต์

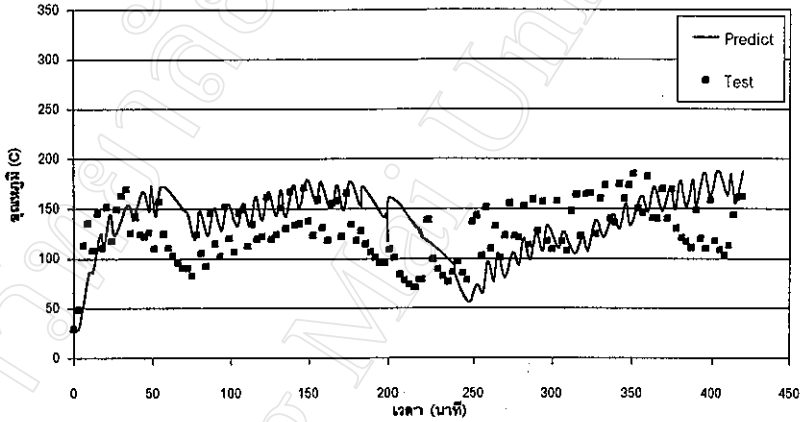
ค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้กับเวลาการทำงานในหนึ่งวัน ดังรูป 7.28 ได้ค่าความร้อน จากการทำนาย 133.5 เมกกะจูลต่อวัน โดยจากการทดลองได้ค่าความร้อน 104.58 เมกกะจูลต่อวัน ซึ่งค่าความร้อนที่ได้จาการทำนายมากกว่าจากการทดลอง 27.6 เปอร์เซ็นต์

สรุปการใช้สมการไปทำนายลักษณะทางความร้อนของอีโคโนไมเซอร์จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง เช่น อุณหภูมิก๊าซร้อนขาเข้าจากการทำนายได้ 177.2°C จากการทดลองได้ 155.8°C ซึ่งมากกว่าจากการทดลอง 13.7 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิก๊าซร้อนขาออกจากการทำนายได้ 137.1°C จากการทดลองได้ 126.5°C ซึ่งมากกว่าจากการทดลอง 8.4 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิน้ำขาออก 69.7°C จากการทดลองได้ 63.3°C ซึ่งมากกว่าจากการทดลอง 10.1 เปอร์เซ็นต์ และค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้ 133.5 เมกกะจูลต่อวัน โดยจากการทดลองได้ค่าความร้อน 104.58 เมกกะจูลต่อวัน ซึ่งมากกว่าจากการทดลอง 27.6 เปอร์เซ็นต์

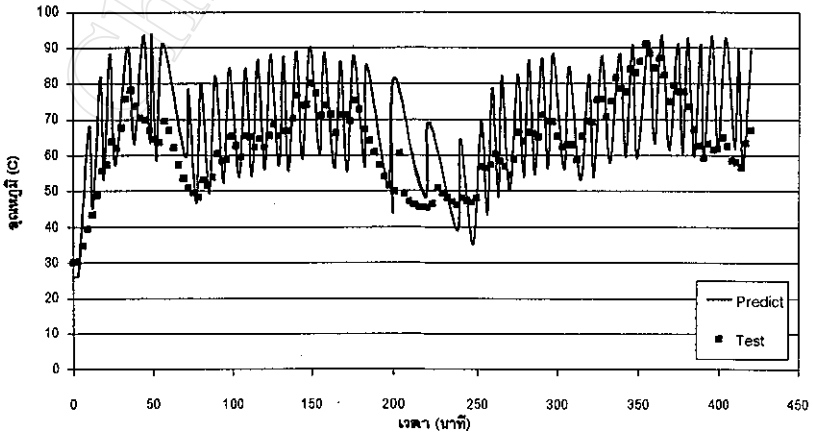
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University



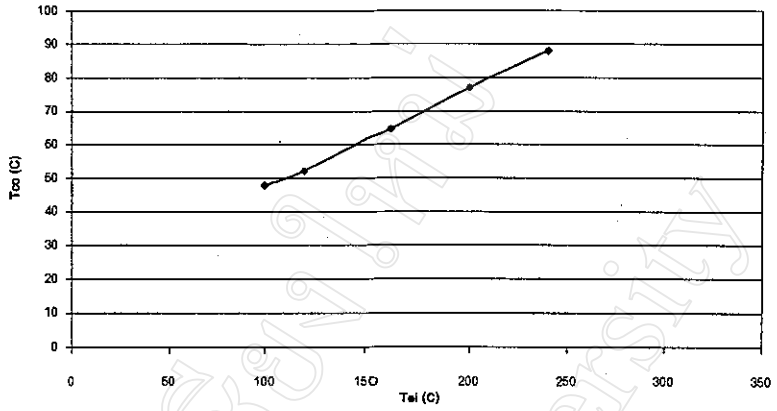
รูป 7.23 แสดงอุณหภูมิขาเข้าก๊าซร้อนกับเวลาของการทำนายและทดสอบ



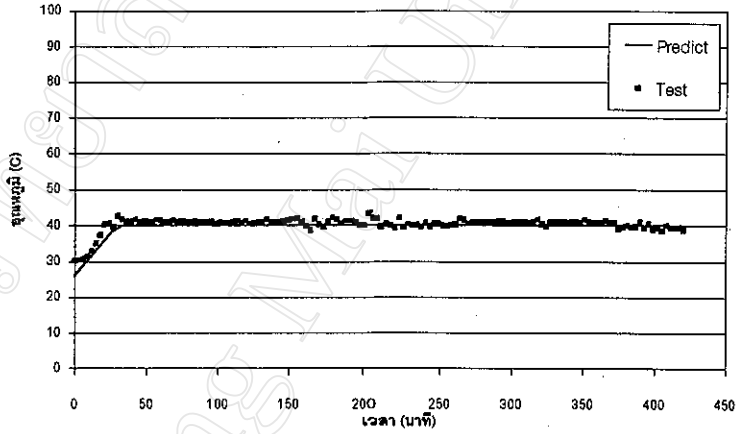
รูป 7.24 แสดงอุณหภูมิขาออกก๊าซร้อนกับเวลาของการทำนายและทดสอบ



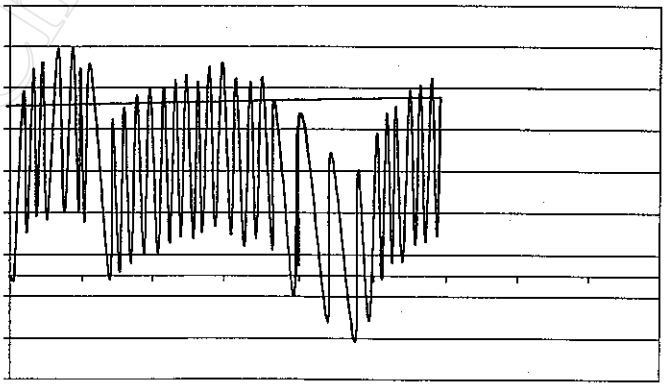
รูป 7.25 แสดงอุณหภูมิน้ำขาออกกับเวลาของการทำนายและทดสอบ



รูป 7.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำขาออกกับก๊าซร้อนขาเข้า



รูป 7.27 แสดงอุณหภูมิน้ำขาเข้ากับเวลาของการทำนายและการทดสอบ



รูป 7.28 แสดงค่าความร้อนกับเวลาของการทำนายกับการทดสอบ