

บทที่ 4

ผลการทดสอบ และวิเคราะห์ผลกาทดสอบ

4.1 ผลการทดสอบ

ในการทดสอบหาประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยใช้ของไหล 3 ชนิด ได้ถูกแบ่งการทดสอบออกเป็น 4 ตอนด้วยกันโดย จะทำการเก็บค่าของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ เพื่อนำมาคำนวณหาค่า

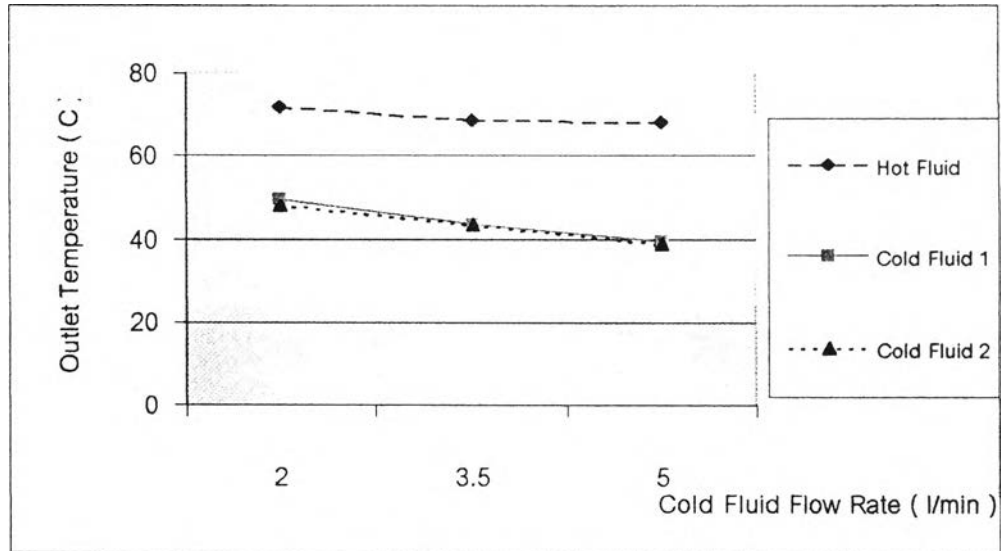
- ความแตกต่างของอุณหภูมิ ของไหลร้อนและของไหลเย็น (ΔT_h , ΔT_c)
- อัตราความร้อนที่ถ่ายเท (Q)
- อัตราความจุความร้อน (R)
- ค่า Thermal Effectiveness (ϵ)
- ประสิทธิภาพทางความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ตารางแสดงผลการทดสอบ และกราฟแสดงผลการทดสอบแสดงอยู่ในภาคผนวก ข. โดยในผลการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 4 ตอน ตอนละ 9 การทดสอบ ทั้งหมด 36 การทดสอบ

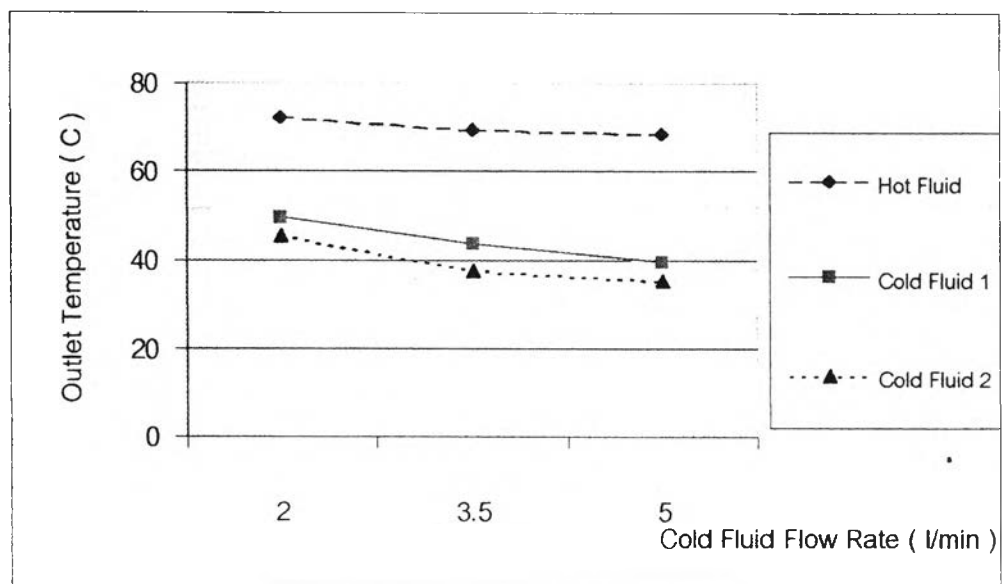
โดยภายในบทนี้จะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขาออก ของของไหลแต่ละชนิด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของของไหลเย็น โดยจะยกตัวอย่างมาพิจารณาเพียงในตอนที่ 1 เนื่องจากแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลง เป็นไปในทิศทางเดียวกันทุกการทดสอบ

จากผลการทดสอบตอนที่ 1 ที่อัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที

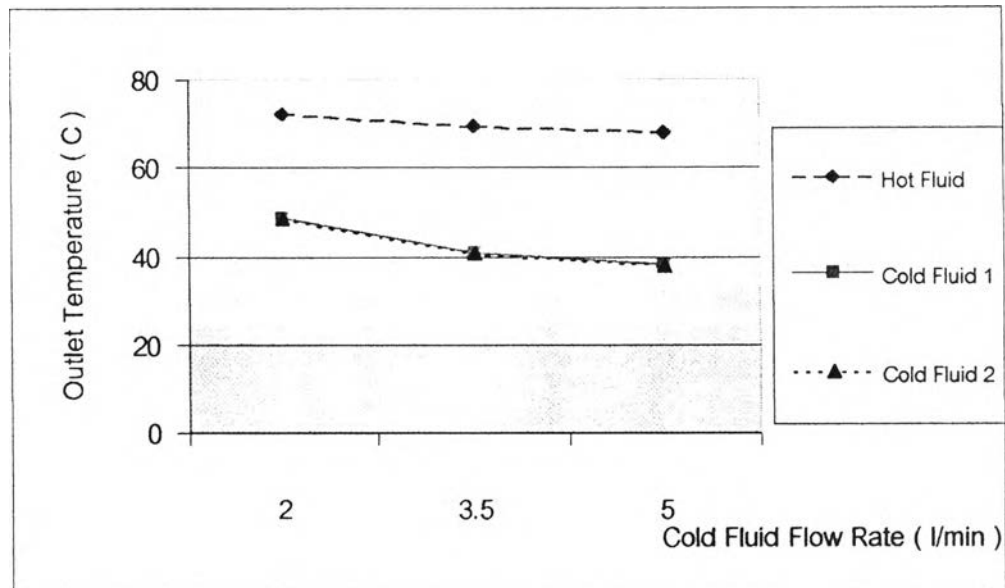
ภาพที่ 4-1 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขาออกของของไหลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 ที่อัตราการไหลของของไหลร้อน 7 ลิตรต่อนาที



ภาพที่ 4-2 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขาออกของของไหลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 ที่อัตราการไหลของของไหลร้อน 7 ลิตรต่อนาที



ภาพที่ 4-3 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขาออกของของไหลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 ที่อัตราการไหลของของไหลร้อน 7 ลิตรต่อนาที



จากผลการทดสอบในตอนที่ 1 สามารถดูข้อมูลได้จาก ภาพที่ ข-1 ถึง ข-9 ในภาคผนวก ข โดยได้นำมาแสดงเฉพาะอุณหภูมิขาออกของของไหลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละแบบ เนื่องจากอุณหภูมิขาเข้าของของไหลมีค่าที่ค่อนข้างคงที่ โดยของไหลร้อนจะมีอุณหภูมิขาเข้าอยู่ที่ 80 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิขาเข้าของของไหลเย็นทั้ง 2 ชนิดอยู่ที่ 27 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 4-1 อุณหภูมิขาออกของของไหล ที่อัตราการไหลของของไหลเย็นต่างๆ ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 พบว่าเมื่ออัตราการไหลของของไหลเย็นเพิ่มขึ้น อุณหภูมิขาออกของของไหลทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มลดลง เช่นเดียวกับในภาพที่ 4-2 สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 และภาพที่ 4-3 สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 แต่ในภาพที่ 4-2 สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 จะเห็นว่าอุณหภูมิขาออกของของไหลเย็นชนิดที่ 1 จะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิขาออกของของไหลเย็นชนิดที่ 2 ที่ทุกอัตราการไหล ในขณะที่ในภาพที่ 4-3 สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 อุณหภูมิขาออกของของไหลเย็นทั้ง 2 ชนิดจะมีค่าใกล้เคียงกันในทุกการทดสอบ และสำหรับผลการทดสอบในการทดสอบตอนที่ 2,3, และ 4 สามารถดูได้จาก

ผลการทดสอบในตอนที่ 2 สามารถดูข้อมูลได้จาก ภาพที่ ข-10 ถึง ข-18 ในภาคผนวก ข
 ผลการทดสอบในตอนที่ 3 สามารถดูข้อมูลได้จาก ภาพที่ ข-19 ถึง ข-27 ในภาคผนวก ข
 ผลการทดสอบในตอนที่ 4 สามารถดูข้อมูลได้จาก ภาพที่ ข-28 ถึง ข-36 ในภาคผนวก ข

4.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

เนื่องจากในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ที่ใช้ของไหล 3 ชนิด ปัจจัยที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งคือ อัตราการไหลของของไหลทั้ง 3 ชนิด โดยในการทดสอบนี้ได้แบ่งออกเป็น 4 ตอนโดยจะมีการทดสอบเพื่อหาผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของทั้งของไหลร้อนและของไหลเย็น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงสภาพการไหลของของไหลทั้ง 3 ชนิด

ตารางที่ 4-1 แสดงค่า Reynold Number ของของไหลร้อน (น้ำ)

อัตราการไหล (l/min)	3	5	7	9
Re	3489	5729	8020	10312

ตารางที่ 4-2 แสดงค่า Reynold Number ของของไหลเย็น

อัตราการไหล (l/min)	2	3.5	5
Re ;Thermia oil B	138.89	243.06	347.22
Re;น้ำมันเตา	74.07	129.63	185.19

จะเห็นได้ว่าสำหรับของไหลร้อน ในอัตราการไหลที่ 3 l/min ค่า $2000 < Re < 4000$ จัดเป็นการไหลแบบเปลี่ยนแปลง (Transition flow) หลังจากนั้นค่า $Re > 4000$ จึงจัดเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)

สำหรับของไหลเย็นทั้ง 2 ชนิดจะเห็นว่าในช่วงของการทดสอบ อัตราการไหล 2,3,5,5 l/min ค่าของ $Re < 2000$ ทั้งสิ้นจึงจัดเป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) และในการวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็น 6 ส่วนด้วยกัน

นอกจากค่าของ Re แล้วค่าของ WC_p ก็เป็นค่าที่จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณค่าของความร้อนโดยจะมีค่าดังนี้

ตารางที่ 4-3 แสดงค่า WC_p ของของไหลร้อน (น้ำ)

อัตราการไหล (l/min)	3	5	7	9
WC_p (kj/s.C)	0.204	0.341	0.477	0.613

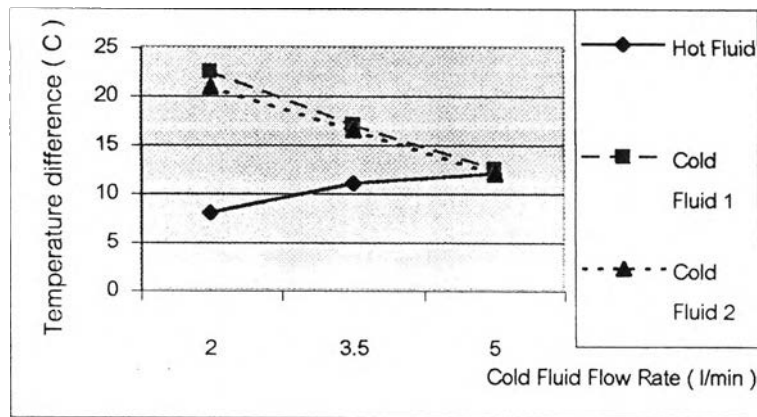
ตารางที่ 4-4 แสดงค่า WCp ของของไหลเย็น

อัตราการไหล (l/min)	2	3.5	5
WCp ;Thermia oil B (kj /s.C)	0.056	0.099	0.141
WCp;น้ำมันเตา (kj /s.C)	0.062	0.108	0.154

4.2.1 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของของไหลเย็นกับผลต่างของอุณหภูมิและค่าอัตราความร้อนของของไหลทั้ง 3 ชนิด

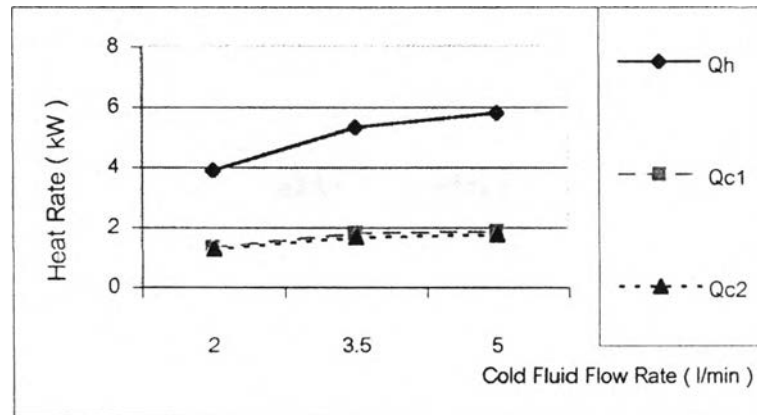
4.2.1.1 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 จากการทดสอบในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของของไหลเย็น โดยให้อัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่

ภาพที่ 4-4 กราฟแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิของไหลร้อนและของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที



จากภาพที่ 4-4 จะพบว่าค่าของ ΔT_h มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของของไหลเย็นเพิ่มขึ้น โดยที่ค่าของ ΔT_{c1} และ ΔT_{c2} จะมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราการไหลของของไหลเย็นเพิ่มขึ้น โดยที่ค่าของ ΔT_{c1} จะมีค่าสูงกว่าค่าของ ΔT_{c2} เสมอ เนื่องมาจากเมื่อของไหลร้อนไหลผ่านท่อของของไหลเย็นชนิดที่ 1 จะมีผลทำให้อุณหภูมิจากของไหลร้อนลดลง จึงเกิดความแตกต่างขึ้น (เนื่องจากการวิเคราะห์ได้ยกตัวอย่างมาเพียงตัวแปรค่าเดียว ซึ่งสามารถดูภาพประกอบการวิเคราะห์ผลที่ตัวแปรอื่นๆ ได้จากภาพที่ ค-1,ค-4,ค-7, และ ค-10 ในภาคผนวก ค.)

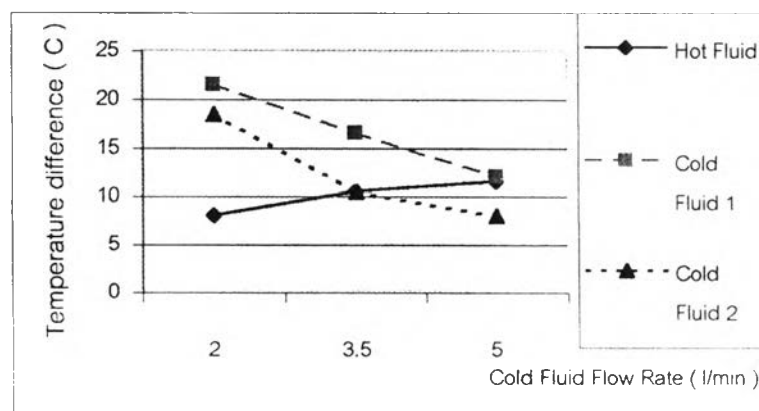
ภาพที่ 4-5 กราฟแสดงค่าอัตราความร้อนของของไหลร้อนและของไหลเย็น กับอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที



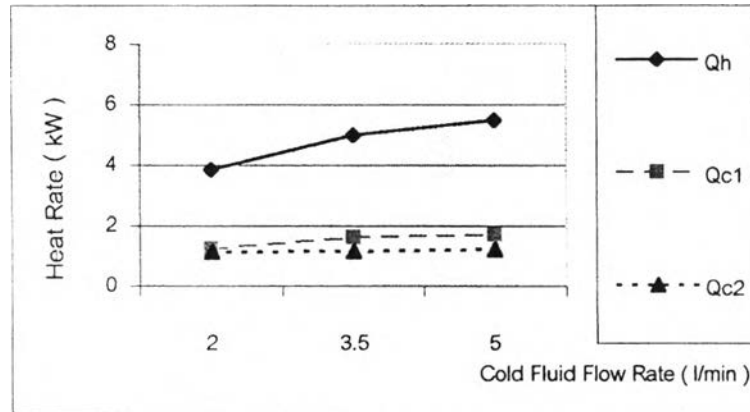
สำหรับค่าอัตราความร้อน จากภาพที่ 4-5 แนวโน้มจะเป็นไปในทางเดียวกันกับค่า ΔT แต่เมื่อนำมาคำนวณค่าอัตราความร้อนจะพบว่าค่าของ Q_{c1} และ Q_{c2} จะมีค่าเกือบเท่ากันในทุกๆ อัตราการไหล เนื่องจาก จากตารางที่ 4-3, 4-4 จะเห็นว่าค่าของ WC_p ของของไหลเย็นชนิดที่ 2 มีค่าสูงกว่า WC_p ของของไหลเย็นชนิดที่ 1 เล็กน้อยซึ่งทำให้ค่าอัตราความร้อนที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน (เนื่องจากในการวิเคราะห์นี้ได้ยกตัวอย่างมาเพียงตัวแปรค่าเดียว ซึ่งสามารถดูภาพประกอบการวิเคราะห์ผลที่ตัวแปรอื่นๆ ได้จากภาพที่ ค-22, ค-25, ค-28, และ ค-31 ในภาคผนวก ค.)

4.2.1.2 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 จากการทดสอบในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของของไหลเย็น โดยให้อัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่

ภาพที่ 4-6 กราฟแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อนและของไหลเย็น กับอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที



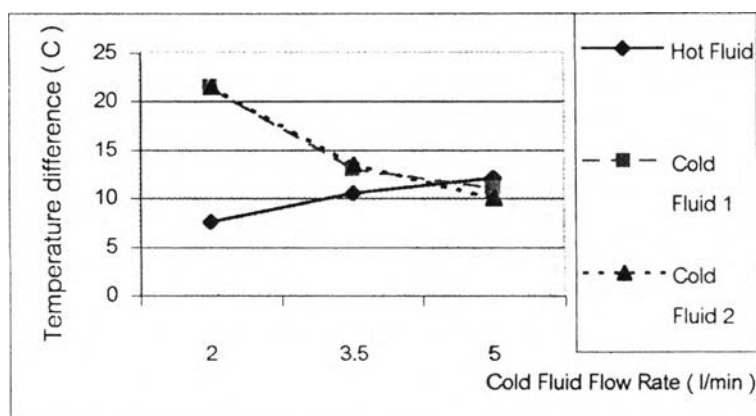
ภาพที่ 4-7 กราฟแสดงค่าอัตราความร้อนของของไหลร้อนและของไหลเย็น
กับอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตรา
การไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที



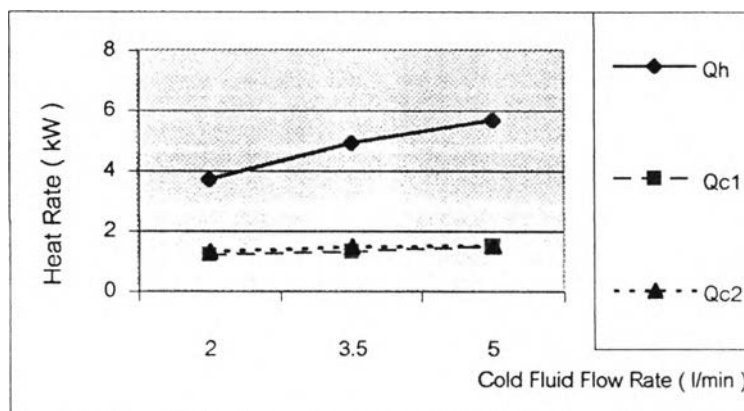
จากภาพที่ 4-6 ความแตกต่างของอุณหภูมิกับการเปลี่ยนอัตราการไหลของของไหลเย็น และ 4-7 ค่าอัตราความร้อนกับการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของของไหลเย็น จะพบว่าค่าของ ΔT_h ; Q_h , ΔT_{c1} ; Q_{c1} และ ΔT_{c2} ; Q_{c2} มีแนวโน้มคล้ายกับของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 แต่จะเห็นว่า ค่าของ ΔT_{c1} ; Q_{c1} จะมีค่าสูงกว่า ΔT_{c2} ; Q_{c2} มาก เนื่องจากจากรูปแบบของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดที่ 2 การกระจายของของไหลจะทำให้ของไหลร้อนในเปลือกส่วนหนึ่งเมื่อไหลผ่านท่อของของไหลเย็นชนิดที่ 1 แล้วไม่สามารถสัมผัสกับท่อที่ 2 ในเปลือกเดียวกันได้ ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับของไหลเย็นชนิดที่ 2 ได้น้อยกว่าในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 (เนื่องจากการวิเคราะห์ได้ยกตัวอย่างมาเพียงตัวแปรค่าเดียว ซึ่งสามารถดูภาพประกอบการวิเคราะห์ที่ตัวแปรอื่นๆ ได้จากภาพที่ ค-2,ค-5,ค-8,และ ค-11 สำหรับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ และภาพ ค-23,ค-26,ค-29,และ ค-32 สำหรับค่าอัตราความร้อน ในภาคผนวก ค.)

4.2.1.3 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 จากการทดสอบในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของของไหลเย็น โดยให้อัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่

ภาพที่ 4-8 กราฟแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อนและของไหลเย็น กับอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที



ภาพที่ 4-9 กราฟแสดงค่าอัตราความร้อนของของไหลร้อนและของไหลเย็น กับอัตราการไหลของของไหลเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที



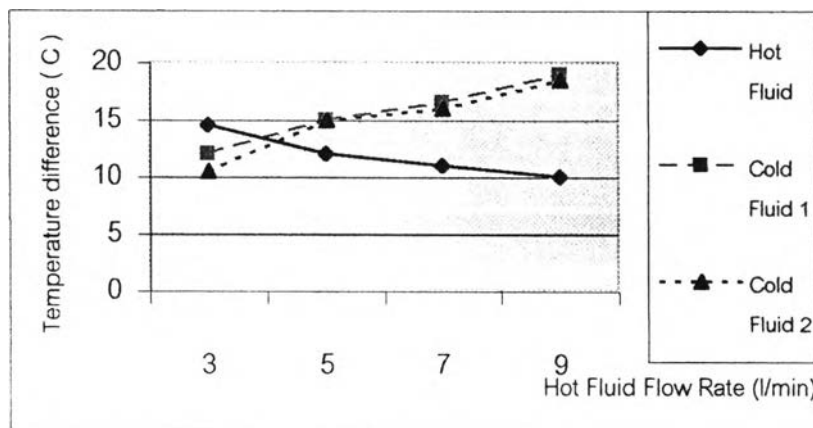
จากภาพที่ 4-8 ความแตกต่างของอุณหภูมิก็กับการเปลี่ยนอัตราการไหลของของไหลเย็น และ 4-9 ค่าอัตราความร้อนก็กับการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของของไหลเย็น จะพบว่าค่าของ ΔT_h และค่า Q_h มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลสูงขึ้น ในขณะที่ค่าของ ΔT_{c1} และ ΔT_{c2} มีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลสูงขึ้น โดยค่าของ ΔT_{c1} และ ΔT_{c2} มีค่าใกล้เคียงกันมาก เนื่องจาก ชุดท่อของของไหลเย็นทั้ง 2 ชนิด ถูกวางในแนวเดียวกัน และค่าของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลทั้ง 2 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกันโดย ค่าของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของ Therminol B (k_1) มีค่า 0.133 W/mC และค่าของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำมันเตา (k_2) มีค่า 0.138 W/mC ซึ่งมีผลทำให้ความสามารถในการรับความร้อนของของไหลเย็นทั้ง 2 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกันมาก และเมื่อนำมาคำนวณค่าความร้อนจะเห็นว่าค่าของ Q_{c2} จะมีค่าสูงกว่า Q_{c1} ในทุกอัตรา

การไหล (เนื่องจากในการวิเคราะห์นี้ได้ยกตัวอย่างมาเพียงตัวแปรค่าเดียวซึ่งสามารถดูภาพประกอบการวิเคราะห์ผลที่ตัวแปรอื่นๆ ได้จากภาพที่ ค-3,ค-6,ค-9, และ ค-12 สำหรับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิและภาพ ค-24,ค-27,ค-30, และ ค-33 สำหรับค่าอัตราความร้อน ในภาคผนวก ค.)

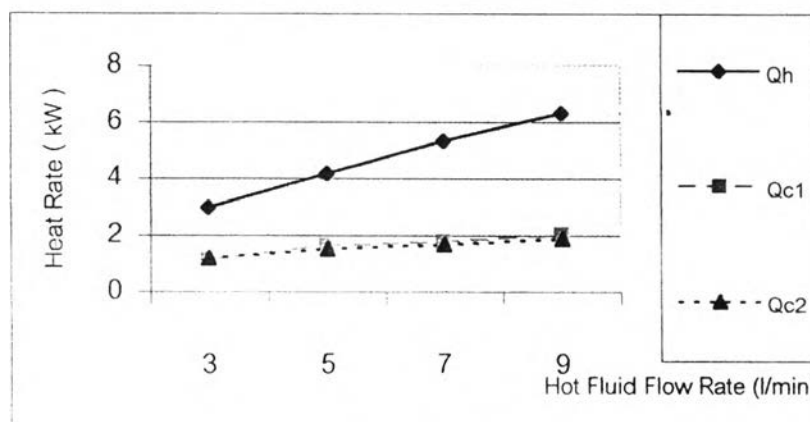
4.2.2 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของของไหลร้อนกับผลต่างของอุณหภูมิและค่าอัตราความร้อนของของไหลทั้ง 3 ชนิด

4.2.2.1 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 จากการทดสอบในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของของไหลร้อน ซึ่งมีการทดสอบที่อัตราการไหล 4 ค่าคือ 3,5,7, และ 9 l/min โดยให้อัตราการไหลของของไหลเย็นคงที่

ภาพที่ 4-10 กราฟแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อนและของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลของของไหลเย็นคงที่ที่ 3.5 ลิตรต่อนาที



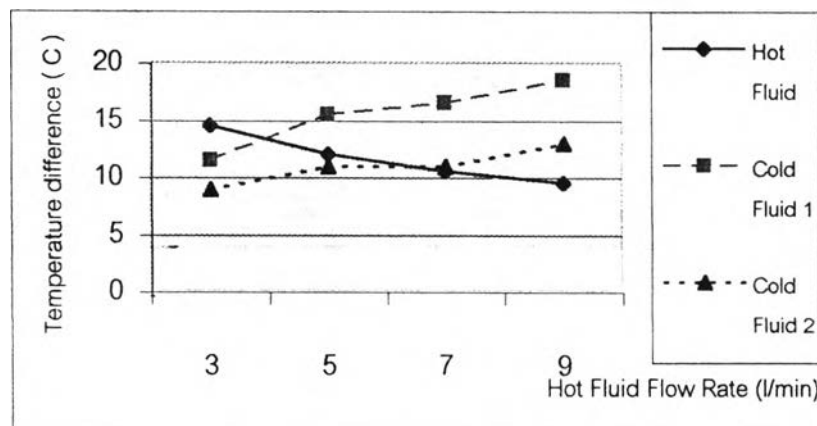
ภาพที่ 4-11 กราฟแสดงค่าอัตราความร้อนของของไหลร้อนและของไหลเย็นกับอัตราการไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 เมื่ออัตราการไหลของของไหลเย็นคงที่ที่ 3.5 ลิตรต่อนาที



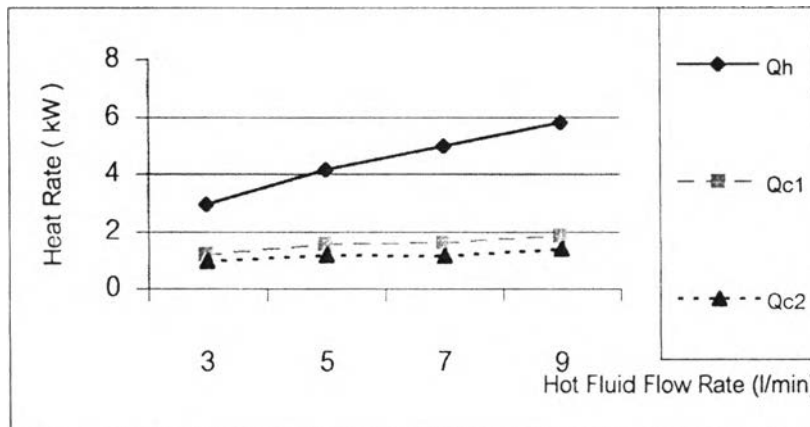
จากภาพที่ 4-10 ความแตกต่างของอุณหภูมิกับการเปลี่ยนอัตราการไหลของของไหลร้อน และ 4-11 ค่าอัตราความร้อนกับการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของของไหลร้อน ค่าของ ΔT_h และ Q_h มีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนเพิ่มขึ้น และค่าของ ΔT_{c1} ; Q_{c1} และ ΔT_{c2} ; Q_{c2} มีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนสูงขึ้น และจะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในช่วงการไหล 3 l/min ถึง 5 l/min มีการเปลี่ยนแปลงสูงซึ่งเป็นช่วงของการเปลี่ยนสภาพการไหลของของไหลร้อน จากการไหลแบบเปลี่ยนแปลง (Transition flow) เป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) หลังจากนั้นการเปลี่ยนแปลงจะสม่ำเสมอขึ้น โดยเฉพาะในกรณีค่าอัตราความร้อน จะเห็นว่า เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนเพิ่มขึ้นจาก 5 l/min เป็น 7 l/min และจาก 7 l/min เป็น 9 l/min ค่า Q_{c1} และ Q_{c2} มีการเปลี่ยนแปลงในอัตราที่ต่ำ และสม่ำเสมอ (เนื่องจากการวิเคราะห์ได้ยกตัวอย่างมาเพียงตัวแปรเดียว ซึ่งสามารถดูภาพประกอบการวิเคราะห์ที่ตัวแปรอื่นๆ ได้จากภาพที่ ค-13, ค-16, และ ค-19 สำหรับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ และภาพที่ ค-34, ค-37, และ ค-40 สำหรับค่าอัตราความร้อน ในภาคผนวก ค.)

4.2.2.2 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 จากการทดสอบในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของของไหลร้อน

ภาพที่ 4-12 กราฟแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อนและของไหลเย็น กับอัตราการไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตราการไหลของของไหลเย็นคงที่ที่ 3.5 ลิตรต่อนาที



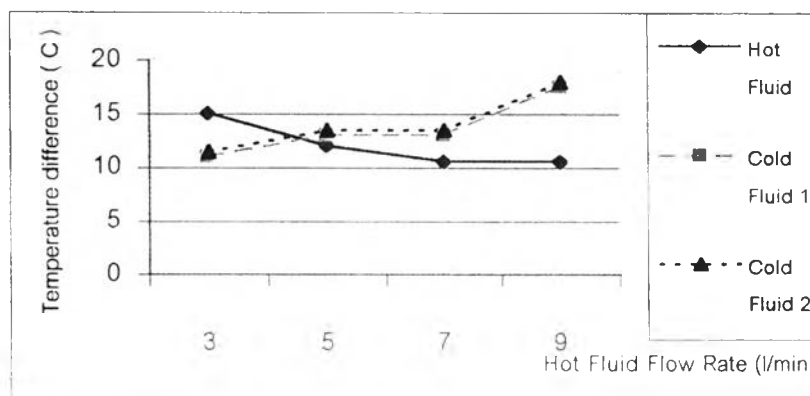
ภาพที่ 4-13 กราฟแสดงค่าอัตราความร้อนของของไหลร้อนและของไหลเย็น กับอัตราการไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 เมื่ออัตราการไหลของของไหลเย็นคงที่ที่ 3.5 ลิตรต่อนาที



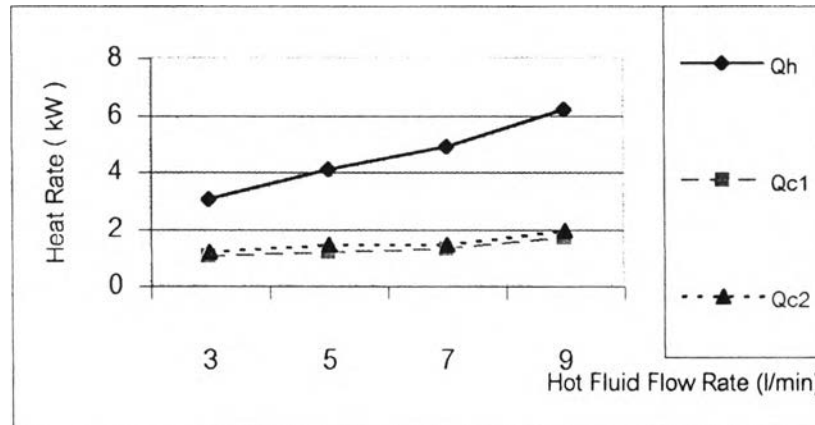
จากภาพที่ 4-12 ความแตกต่างของอุณหภูมิกับการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของของไหลร้อน และ 4-13 ค่าอัตราความร้อนกับการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของของไหลร้อน ค่าของ ΔT_h และ Q_h มีการเปลี่ยนแปลงในแนวเดียวกับแบบที่ 1 โดยจุดสังเกตก็ยังคงอยู่ที่การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลในช่วง 3 l/min ถึง 5 l/min จะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นมากกว่าในช่วงอื่นๆ สำหรับค่าของ ΔT_{c1} ; Q_{c1} และ ΔT_{c2} ; Q_{c2} มีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนสูงขึ้น และมีการเปลี่ยนแปลงมากในช่วงเปลี่ยนสภาพการไหลของของไหลร้อน โดยค่าของ ΔT_{c1} และ Q_{c1} จะมีค่าสูงกว่า ΔT_{c2} และ Q_{c2} ในทุกอัตราการไหล (เนื่องจากการวิเคราะห์นี้ได้ยกตัวอย่างมาเพียงตัวแปรเดียว ซึ่งสามารถดูภาพประกอบการวิเคราะห์ที่ตัวแปรอื่นๆ ได้จากภาพที่ ค-14,ค-17,และ ค-20 สำหรับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ และภาพที่ ค-35,ค-38,และ ค-41 สำหรับค่าอัตราความร้อน ในภาคผนวก ค.)

4.2.2.3 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 จากการทดสอบในสถานะที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของของไหลร้อน

ภาพที่ 4-14 กราฟแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลร้อนและของไหลเย็น กับอัตราการไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลของของไหลเย็นคงที่ที่ 3.5 ลิตรต่อนาที



ภาพที่ 4-15 กราฟแสดงค่าอัตราความร้อนของของไหลร้อนและของไหลเย็น กับอัตราการไหลของของไหลร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 เมื่ออัตราการไหลของของไหลเย็นคงที่ที่ 3.5 ลิตรต่อนาที

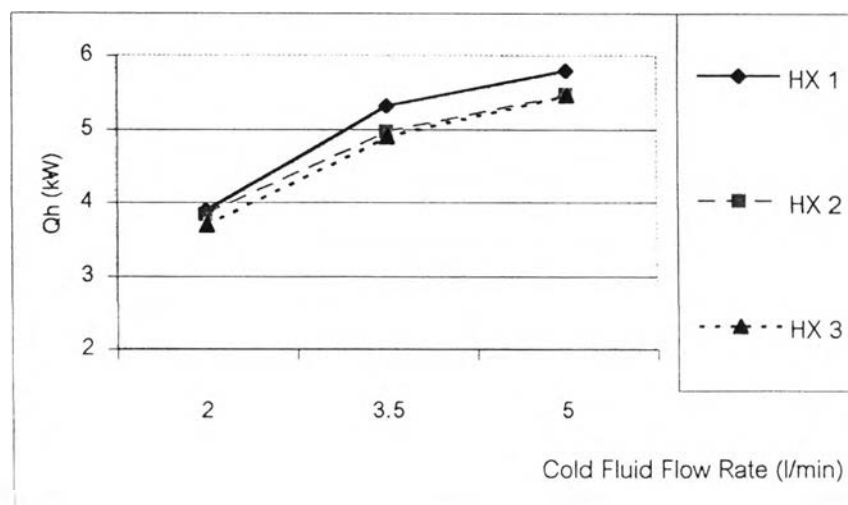


จากภาพที่ 4-14 ความแตกต่างของอุณหภูมิกับการเปลี่ยนอัตราการไหลของของไหลร้อน และ 4-15 ค่าอัตราความร้อนกับการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของของไหลร้อน แนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงของค่า ΔT และ Q จะเป็นแบบเดียวกับในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 โดยค่าของ ΔT_{c2} และ Q_{c2} จะมีค่าสูงกว่า ΔT_{c1} และ Q_{c1} (เนื่องจากการวิเคราะห์ได้ยกตัวอย่างมาเพียงตัวแปรเดียว ซึ่งสามารถดูภาพประกอบการวิเคราะห์ที่ตัวแปรอื่นๆ ได้จากภาพที่ ค-15,ค-18,และ ค-21 สำหรับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ และภาพที่ ค-36,ค-39,และ ค-42 สำหรับค่าอัตราความร้อน ในภาคผนวก ค.)

4.2.3 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของของไหลเย็นกับอัตราความร้อนของของไหล ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 3 แบบ

4.2.3.1 การเปลี่ยนแปลงอัตราความร้อนของของไหลร้อน

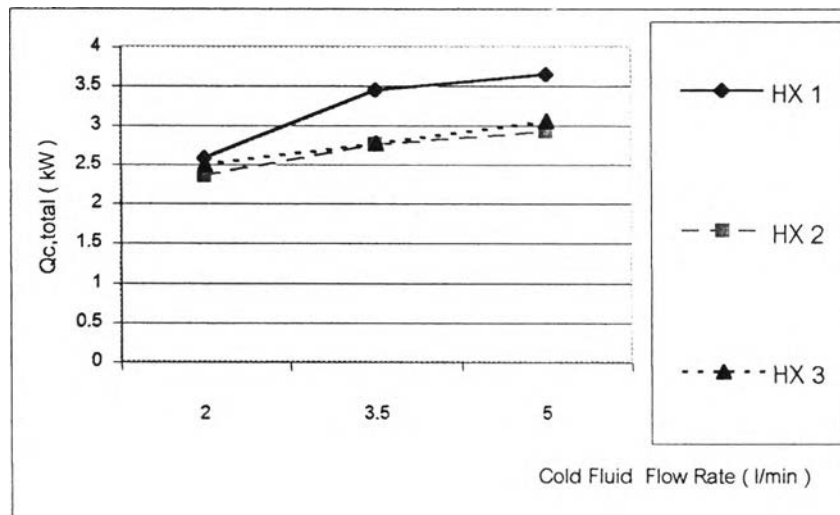
ภาพที่ 4-16 กราฟเปรียบเทียบอัตราความร้อนของของไหลร้อนใน Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบเมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที



จากภาพที่ 4-16 เมื่อเปรียบเทียบอัตราความร้อนของของไหลร้อน, Q_h ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 3 แบบ จะเห็นว่าแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงของทั้ง 3 แบบ จะเป็นไปในทางเดียวกัน โดยจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อ อัตราการไหลของของไหลเย็นสูงขึ้น โดยอัตราความร้อนของอุปกรณ์ทั้ง 3 แบบ ที่อัตราการไหลต่ำ (2 l/min) อัตราความร้อน Q_h ของอุปกรณ์ทั้ง 3 แบบจะมีค่าใกล้เคียงกันมาก และเมื่ออัตราการไหลสูงขึ้น จะเกิดความแตกต่างมากขึ้น โดยค่า Q_h ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 3 จะมีค่าสูงกว่าในแบบที่ 2 ซึ่งเป็นผลมาจากความสามารถในการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่า (ส่วนอื่นดูภาพประกอบได้จากภาพที่ ง-1 ถึง ง-4 ในภาคผนวก ง.)

4.2.3.2 การเปลี่ยนแปลงอัตราความร้อนรวมของของไหลเย็น

ภาพที่ 4-17 กราฟเปรียบเทียบอัตราความร้อนรวมของของไหลเย็นใน Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบ เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที

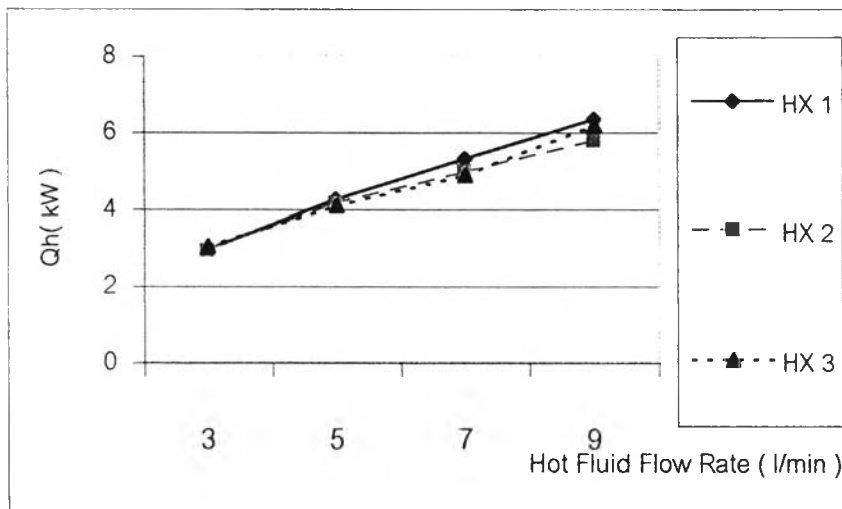


จากภาพที่ 4-17 เมื่อเปรียบเทียบค่าความร้อนรวมของของไหลเย็น Q_c ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 3 แบบ จะเห็นว่าแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงของทั้ง 3 แบบ จะเป็นไปในทางเดียวกัน โดยจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อ อัตราการไหลของของไหลเย็นเพิ่มสูงขึ้น แต่จะเห็นความแตกต่างมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบเส้นกราฟจากอุปกรณ์ทั้ง 3 แบบ ค่า Q_c ที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในแบบที่ 1 จะมีค่าสูงกว่าในแบบที่ 2 และ 3 อย่างชัดเจนในขณะที่ Q_c ของอุปกรณ์แบบที่ 2 ก็ยังคงมีค่าสูงกว่าในแบบที่ 3 (ส่วนอื่นดูภาพประกอบได้จาก ภาพที่ ง-8 ถึงง-11 ในภาคผนวก ง.)

4.2.4 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของของไหลร้อนกับค่าอัตราความร้อนของของไหล ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 3 แบบ

4.2.4.1 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราความร้อนของของไหลร้อน

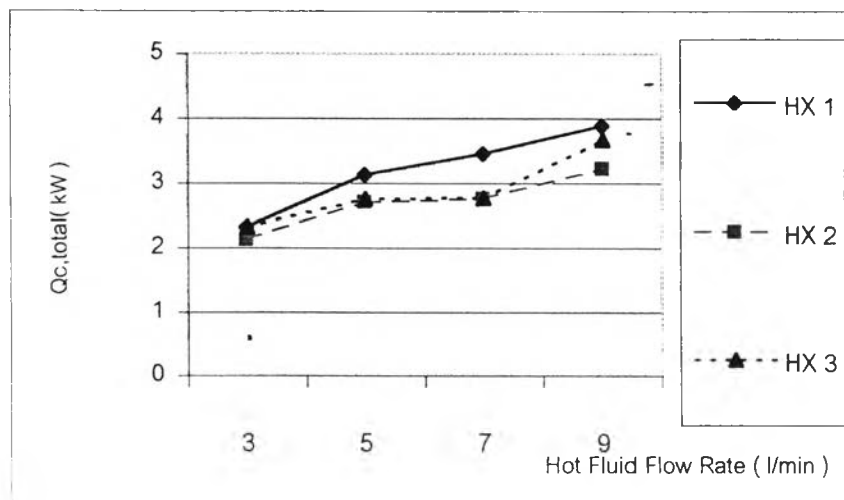
ภาพที่ 4-18 กราฟเปรียบเทียบอัตราความร้อนของของไหลร้อนใน Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบเมื่ออัตราการไหลของของไหลเย็นคงที่ที่ 3.5 ลิตรต่อนาที



จากภาพที่ 4-18 เมื่อเปรียบเทียบอัตราความร้อนของของไหลร้อน , Q_h ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 3 แบบ จะเห็นว่าแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงของทั้ง 3 แบบ มีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของร้อนเพิ่มสูงขึ้น ในกราฟที่ ง-6 ที่อัตราการไหลของของไหลเย็นคงที่ที่ 2 l/min เส้นกราฟในช่วงการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลที่ 3 l/min ถึง 5 l/min จะมีความชันมาก แตกต่างจากช่วงอื่น แต่ในกราฟอื่น ๆ การเปลี่ยนแปลงของอัตราความร้อน จะค่อนข้างสม่ำเสมอ (ส่วนอื่น ดูภาพประกอบจาก ภาพที่ ง-5 ถึง ง-7 ในภาคผนวก ง.)

4.2.4.2 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราความร้อนของของไหลเย็น

ภาพที่ 4-19 กราฟเปรียบเทียบอัตราความร้อนรวมของของไหลเย็นใน Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบเมื่ออัตราการไหลของของไหลเย็นคงที่ที่ 3.5 ลิตรต่อนาที

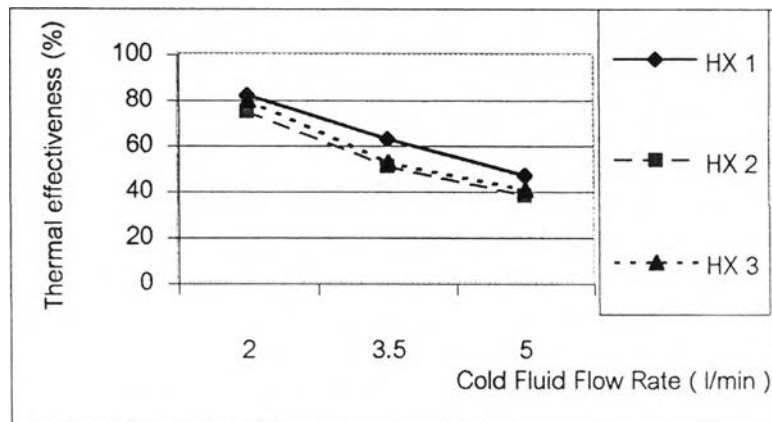


จากภาพที่ 4-19 ค่า Q_c ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราความร้อนโดยความชันของเส้นกราฟจะเพิ่มขึ้นค่อนข้างสม่ำเสมอเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น และสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 และแบบที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราความร้อน Q_c ของทั้ง 2 แบบ จะเพิ่มขึ้นไม่แน่นอน แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากผลของรูปทรงของทั้ง 2 แบบ เนื่องจากในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของไหลร้อนกับของไหลเย็นชนิดที่ 1 และระหว่างของไหลร้อนกับของไหลเย็นชนิดที่ 2 จะมีการแลกเปลี่ยนกันอย่างชัดเจน ในขณะที่แบบที่ 2 และแบบที่ 3 จะไม่ชัดเจน มีผลทำให้พลังงานความร้อนที่ของไหลเย็นทั้ง 2 ชนิดได้รับไม่สม่ำเสมอ (ส่วนอื่นดูภาพประกอบจากภาพที่ ง-12 ถึง ง-14 ในภาคผนวก ง.)

4.2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Thermal Effectiveness (ϵ) ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 3 แบบกับการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของของไหลร้อนและของไหลเย็น

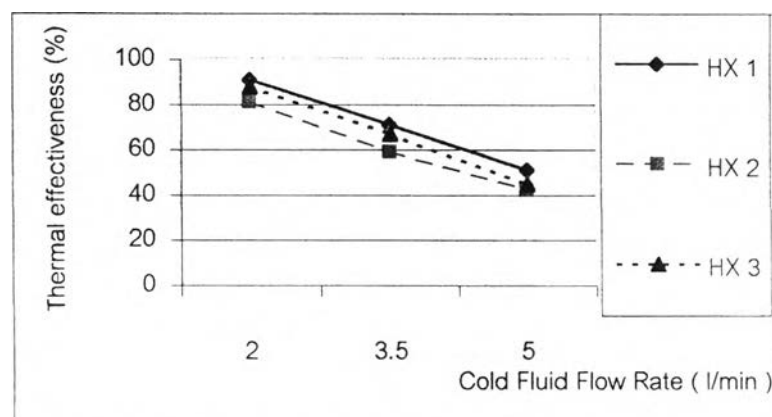
ภาพที่ 4-20 กราฟเปรียบเทียบค่า Thermal effectiveness ของ Heat Exchanger

ทั้ง 3 แบบ เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 7 ลิตรต่อนาที

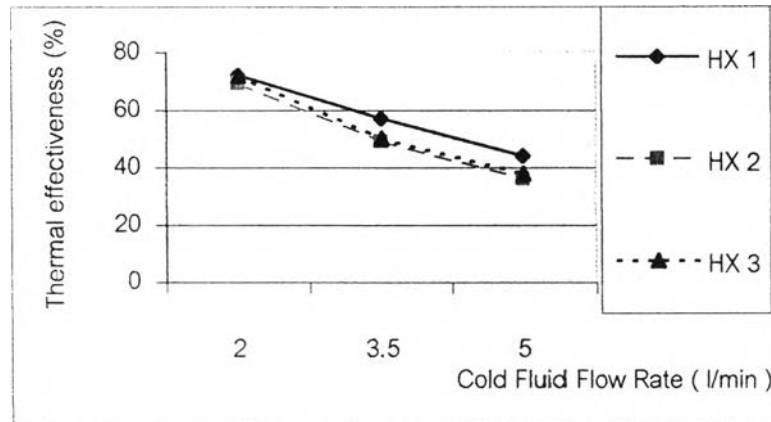


ภาพที่ 4-21 กราฟเปรียบเทียบค่า Thermal effectiveness ของ Heat Exchanger

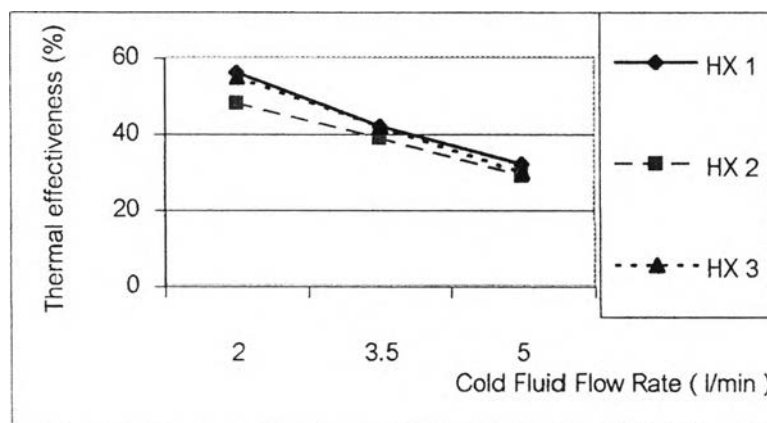
ทั้ง 3 แบบ เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 9 ลิตรต่อนาที



ภาพที่ 4-22 กราฟเปรียบเทียบค่า Thermal effectiveness ของ Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบ เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 5 ลิตรต่อนาที

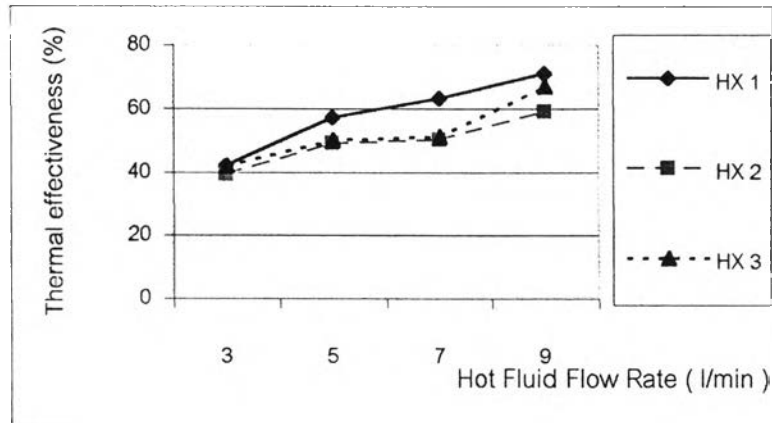


ภาพที่ 4-23 กราฟเปรียบเทียบค่า Thermal effectiveness ของ Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบ เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนคงที่ที่ 3 ลิตรต่อนาที

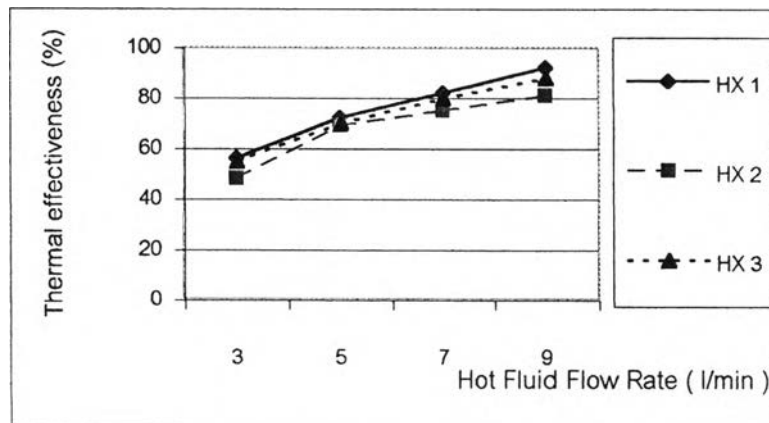


จากภาพที่ 4-20, 4-21, 4-22, และ 4-23 สำหรับการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของของไหลเย็น เมื่อพิจารณาค่า Thermal effectiveness (ϵ) ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 3 แบบ ซึ่งค่า Thermal effectiveness (ϵ) ได้มาจากอัตราส่วนระหว่าง ΔT_c กับ ΔT_{max} จะเห็นว่าค่า ϵ ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 3 แบบจะมีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลของของไหลเย็นเพิ่มขึ้นเนื่องจากความเร็วของของไหลเย็นภายในท่อมีค่าสูงขึ้น ทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าต่ำลง กราฟจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอ โดยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 จะมีค่ามากที่สุด หากพิจารณาที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในแบบที่ 2 เปรียบเทียบกับแบบที่ 1 และ 3 จะได้ว่าในแบบที่ 2 มีค่าประสิทธิภาพต่ำกว่าในแบบที่ 1 ประมาณ 10 % และต่ำกว่าในแบบที่ 2 ประมาณ 2-6 % โดยเฉลี่ย

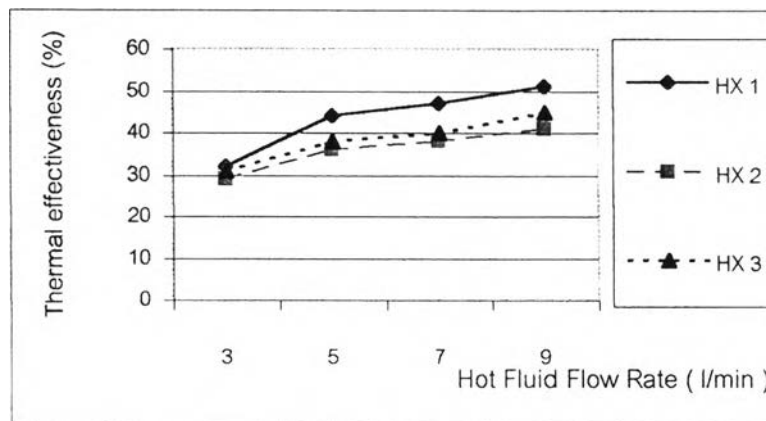
ภาพที่ 4-24 กราฟเปรียบเทียบค่า Thermal effectiveness ของ Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบ เมื่ออัตราการไหลของของไหลเย็นคงที่ที่ 3.5 ลิตรต่อนาที



ภาพที่ 4-25 กราฟเปรียบเทียบค่า Thermal effectiveness ของ Heat Exchanger ทั้ง 3 แบบ เมื่ออัตราการไหลของของไหลเย็นคงที่ที่ 2 ลิตรต่อนาที



ภาพที่ 4-26 กราฟเปรียบเทียบค่า Thermal effectiveness ของ Heat Exchanger - ทั้ง 3 แบบ เมื่ออัตราการไหลของของไหลเย็นคงที่ที่ 5 ลิตรต่อนาที



จากภาพที่ 4-24, 4-25, และ 4-26 เมื่ออัตราการไหลของของไหลร้อนเพิ่มขึ้น Thermal effectiveness ของทั้ง 3 แบบจะเพิ่มขึ้น โดยค่า ϵ ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 จะมีค่ามากที่สุด และจากกราฟจะเห็นว่าในช่วงที่มีการเปลี่ยนสภาพการไหลจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า ϵ โดยมีแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบ ๆ เมื่อการไหลของของไหลร้อนเป็น turbulent มากขึ้นและที่อัตราการไหลของของไหลร้อนสูง และอัตราการไหลของของไหลเย็นต่ำ ค่าของ Thermal effectiveness ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 3 แบบ มีค่าสูงและใกล้เคียงกัน ประมาณ 70-80% อย่างไรก็ตาม โดยเฉลี่ย ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 2 จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบที่ 3 ประมาณ 2-4 % และต่ำกว่าแบบที่ 1 8-10 %

เนื่องจากความเร็วของของไหลในเปลือก ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 สูงกว่าในแบบที่ 2 และแบบที่ 3 จากสมการที่ 2-1 และ 2-2 จะเห็นว่าอัตราความร้อนที่สามารถเกิดขึ้นได้เกิดจากค่า U ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมทั้งพื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อน โดย

$$\frac{1}{A_o U} = \frac{1}{A_i h_i} + \frac{1}{A_o h_o} + \frac{D_o \ln(D_o/D_i)}{2k} + R_d \quad (2-2)$$

เมื่อความเร็วของของไหลในเปลือกมีอัตราไม่เท่ากันจะเห็นว่า ค่าของ h_o จะแตกต่างกันซึ่งจะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของของไหลในเปลือกสูงขึ้น จึงทำให้ค่า U ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ 1 มีค่าสูงกว่าในแบบที่ 2 และ 3