



ผลการวิจัยและการอภิปราย

การวิจัยเพื่อศึกษาและออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่นมีครีป จะกล่าวถึง

- 1) คุณสมบัติทางกายภาพของกระดาษ
- 2) ผลการวัดอุณหภูมิในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
- 3) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลอากาศกับประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิ ประสิทธิภาพเชิงความชื้น และประสิทธิภาพเชิงเอนทัลปี
- 4) พารามิเตอร์ทางความร้อนที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิของตัวแลกเปลี่ยนความร้อน
- 5) พารามิเตอร์ทางความชื้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความชื้นของตัวแลกเปลี่ยนความร้อน
- 6) ปริมาณความร้อนที่ประหยัดได้ในตัวแลกเปลี่ยนความร้อน
- 7) สมการความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์เพื่อใช้ในการออกแบบใช้งาน
- 8) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nusselt number กับ Graetz number ที่ได้จากการวิจัยเปรียบเทียบกับสูตรที่ใกล้เคียง

ส่วนการอภิปรายผลการวิจัย จะกล่าวในตอนท้ายสุด เกี่ยวกับเรื่อง

- 1) อัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ตัวแลกเปลี่ยนความร้อนมีประสิทธิภาพน้อยลง
- 2) สภาวะอากาศภายในห้องและภายนอกห้องทั้ง 3 ฤดูไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของตัวแลกเปลี่ยนความร้อน
- 3) อิทธิพลของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิ
- 4) อิทธิพลของสัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพเชิงความชื้น
- 5) ผลการประหยัดพลังงาน

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยมีดังต่อไปนี้

1) คุณสมบัติทางกายภาพของกระดาษจะประกอบไปด้วย

1.1 ขนาดลอน จำนวนแผ่น และความหนาของกระดาษแผ่นเรียบ
ซึ่งผลการวัดได้แสดงไว้ในตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ผลการวัดขนาดลอน จำนวนแผ่น และความหนาของ
กระดาษแผ่นเรียบ

ชนิดตัวแลกเปลี่ยน ความร้อน	ขนาดลอน มม.	จำนวนแผ่น เรียบ แผ่น	ความหนา แผ่นเรียบ มม.
กระดาษญี่ปุ่น	1.8	158	1.5
ลอนเล็ก+คราฟท์	1.7	116	2.3
ลอนเล็ก+บาง	1.7	124	0.3
ลอนใหญ่+คราฟท์	2.5	77	2.3
ลอนใหญ่+ลอกลาย	2.5	82	0.5

1.2 ค่าสภาพการนำความร้อน ความต้านทานอากาศ และ
ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำของกระดาษ ค่าที่ได้
แสดงไว้ในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ผลการวัดค่าสภาพการนำความร้อน ความต้านทาน-
อากาศ และค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำในกระดาษ

ชนิดตัวแลกเปลี่ยน ความร้อน	สภาพการนำ ^a ความร้อน KJ/°C/m/Hr.	ความต้าน ^a ทานอากาศ sec./100c.c.	สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน ไอน้ำในกระดาษ Kg/m/Hr./mm.Hg
ลอนเล็ก+กราฟท์	3.18×10^{-2}	43	2.18×10^{-5}
ลอนเล็ก+บาง	4.20×10^{-3}	580	3.43×10^{-6}
ลอนใหญ่+กราฟท์	3.18×10^{-2}	43	2.18×10^{-5}
ลอนใหญ่+ลอกลาย	5.80×10^{-3}	8340	5.29×10^{-6}
กระดาษญี่ปุ่น	3.35×10^{-2}	480	1.37×10^{-5}

หมายเหตุ * หมายถึงผลการทดสอบที่ทดสอบโดยกรมวิทยาศาสตร์ [7] และ [8]
ทดสอบที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 ° C

- 2) ข้อมูลวัดอุณหภูมิอากาศร้อนและอากาศเย็นในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง และ กระเปาะเปียก ที่วัดตรงทางเข้าและทางออก
ของอากาศที่ไหลผ่านตัวแลกเปลี่ยนความร้อน ทั้ง 3 จุด ได้แสดงไว้ใน
ตารางที่ ก-1 ถึง ก-15 ของภาคผนวก ก.

3) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลอากาศ กับประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิ ประสิทธิภาพเชิงความชื้น และประสิทธิภาพเชิงเอนทัลปี

เมื่อได้ข้อมูลอุณหภูมิกระเปาะเปียก และ อุณหภูมิกระเปาะแห้งจะได้ค่า ประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิ (ϵ_u) ประสิทธิภาพเชิงความชื้น (ϵ_m) และ ประสิทธิภาพเชิงเอนทัลปี (ϵ_t) แล้วนำมาหาสมการความสัมพันธ์กับอัตราการไหลโดยการวิธี CURVE FITTING ซึ่งสมการที่ใช้จะแสดงอยู่ในภาคผนวก จ.

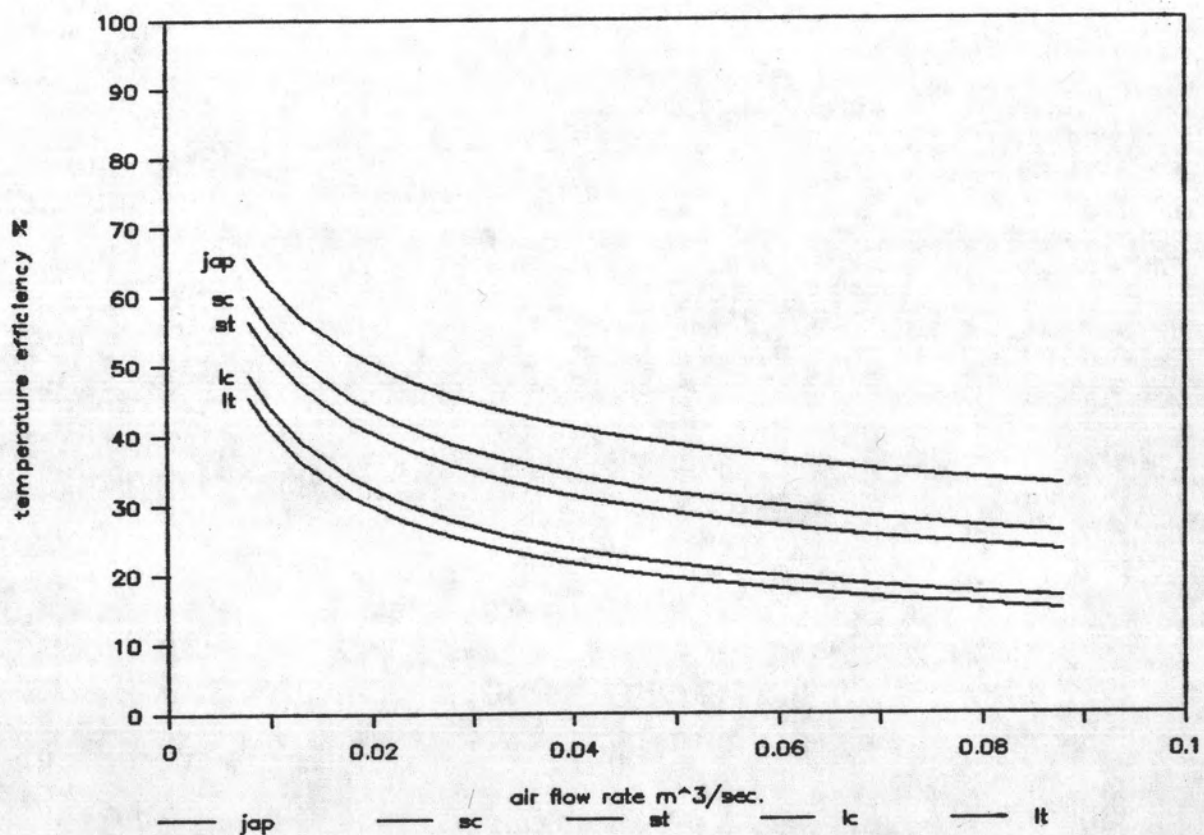
ประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิ ของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนที่อัตราการไหลต่าง ๆ ในแต่ละฤดูจะประกอบด้วยกราฟรูปที่ 4-1 ถึง รูปที่ 4-3 ในหน้า 31-33

กราฟรูปที่ 4-1 แสดง ประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิ กับ อัตราการไหลของอากาศในฤดูร้อน

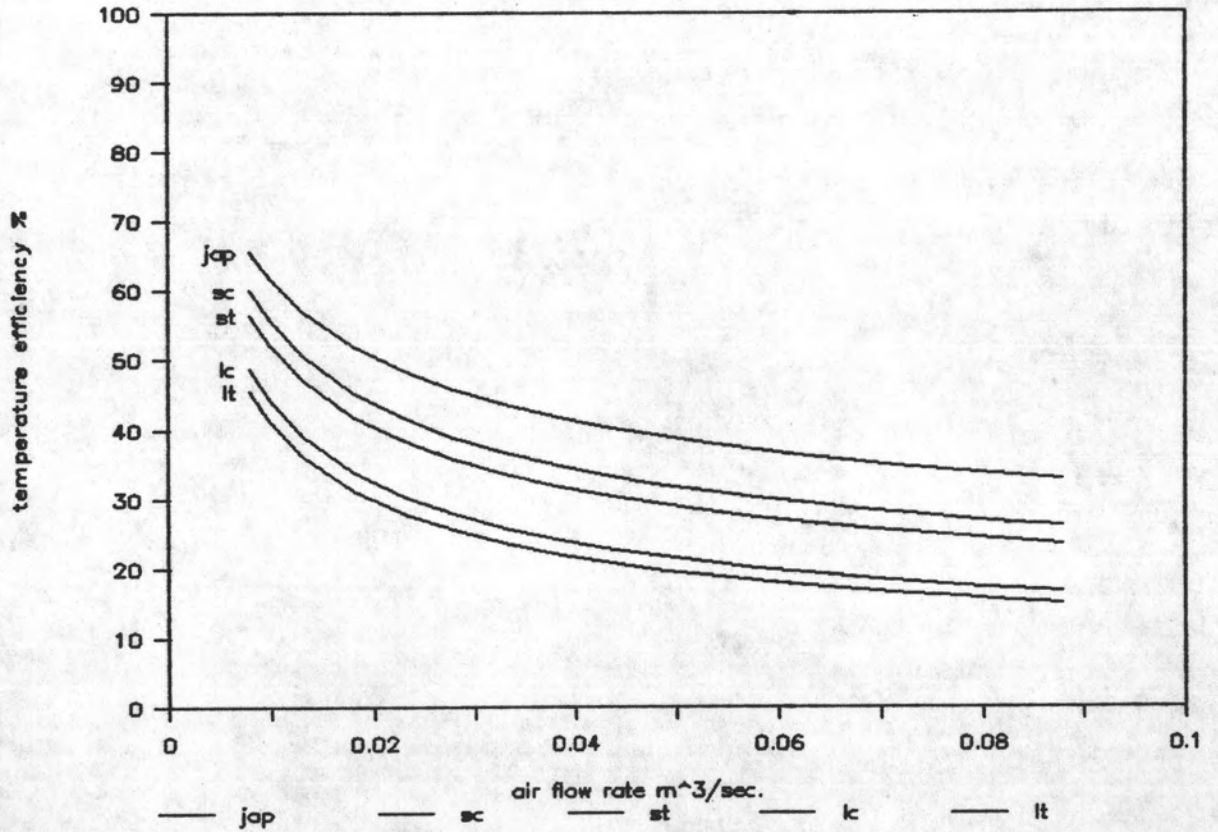
กราฟรูปที่ 4-2 แสดง ประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิ กับ อัตราการไหลของอากาศในฤดูฝน

กราฟรูปที่ 4-3 แสดง ประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิ กับ อัตราการไหลของอากาศในฤดูหนาว

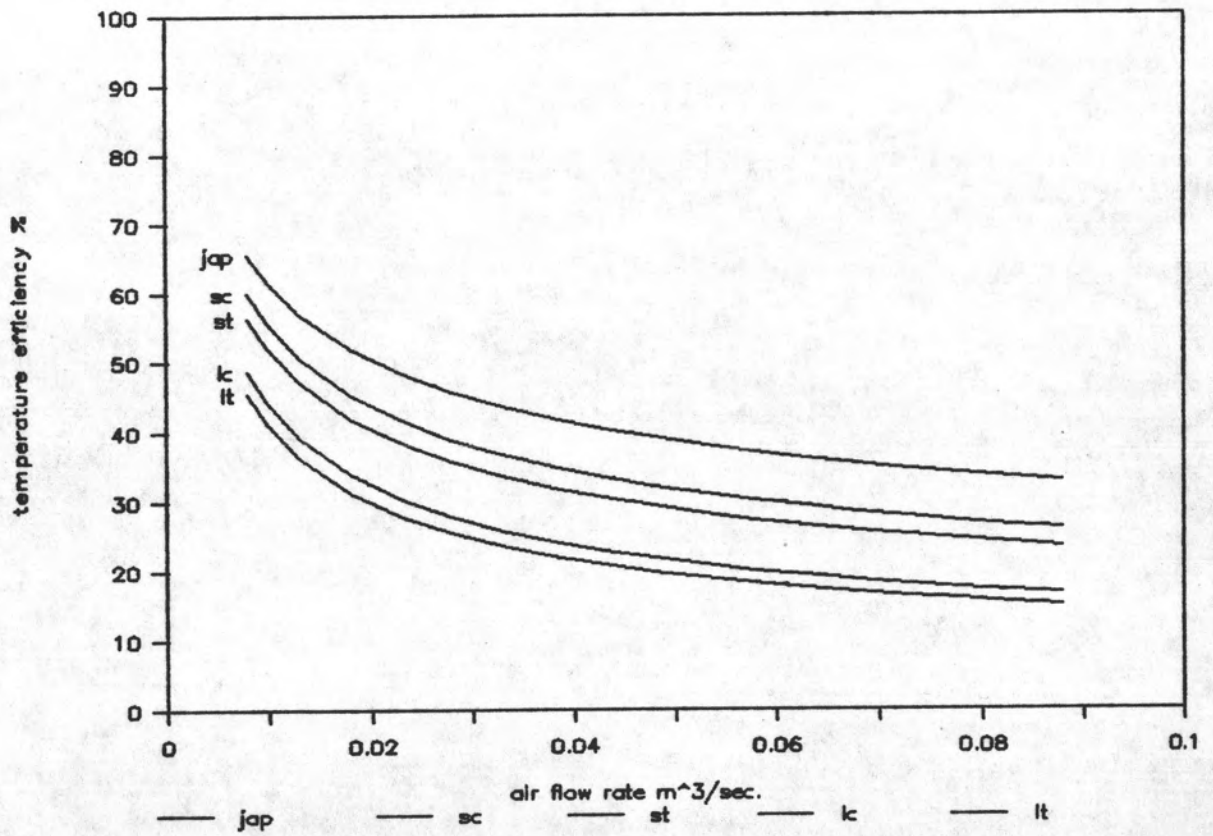
ผลที่ได้จากกราฟทั้ง 3 รูป พบว่าประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนจะลดลงเมื่ออัตราการไหลอากาศเพิ่มขึ้น และมีค่าเท่ากันทั้ง 3 ฤดู ซึ่งจะอภิปรายในหน้า 56



รูปที่ 4-1 กราฟแสดง ประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิ กับ อัตราการไหลอากาศ ของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 5 ชนิด ที่ทดสอบในฤดูร้อน



รูปที่ 4-2 กราฟแสดง ประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิ กับ อัตราการไหลอากาศ
ของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 5 ชนิด ที่ทดสอบในฤดูฝน



รูปที่ 4-3 กราฟแสดง ประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิ กับ อัตราการไหลอากาศ ของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 5 ชนิด ที่ทดสอบในฤดูหนาว

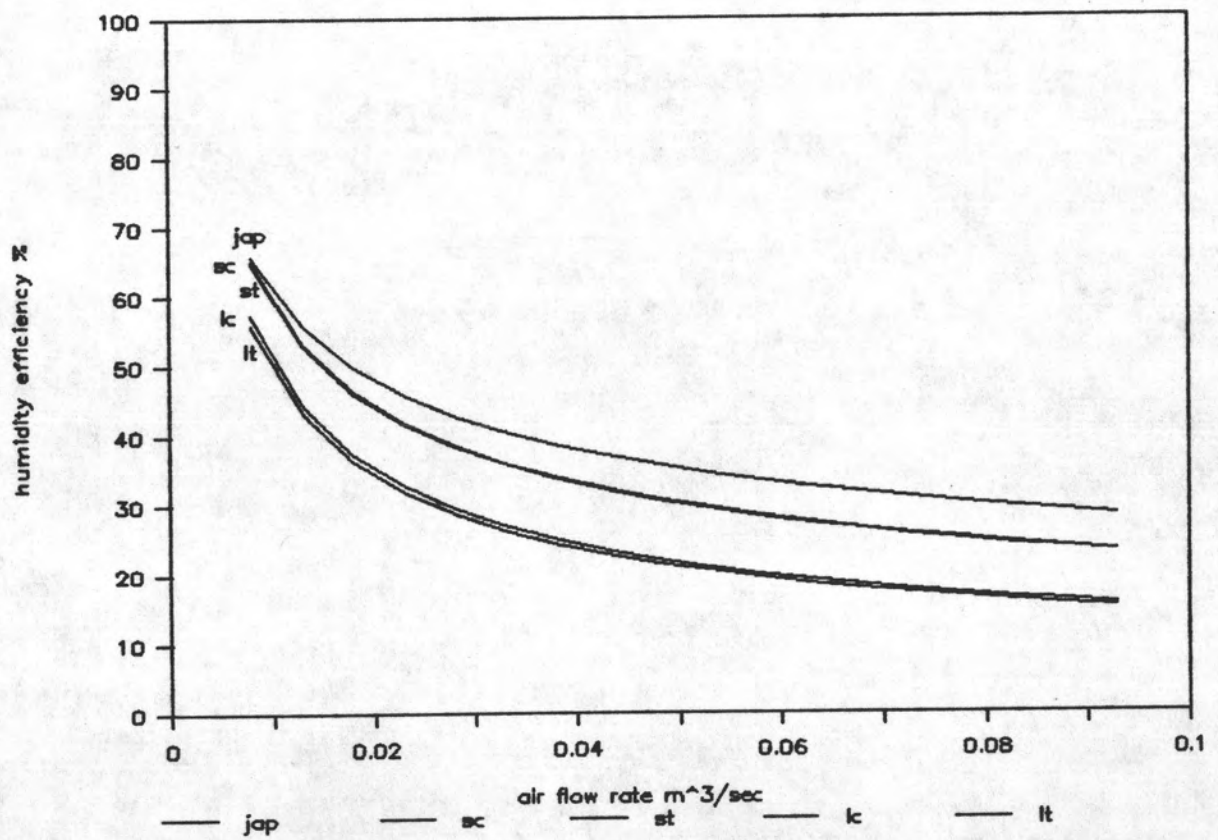
ประสิทธิภาพเชิงความชื้นของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนที่อัตราการไหล
ต่างกัน ในแต่ละฤดูจะประกอบด้วยกราฟรูปที่ 4-4 ถึง รูปที่ 4-6
ในหน้า 35 - 37

กราฟรูปที่ 4-4 แสดง ประสิทธิภาพเชิงความชื้น กับ อัตราการไหล
ของอากาศในฤดูร้อน

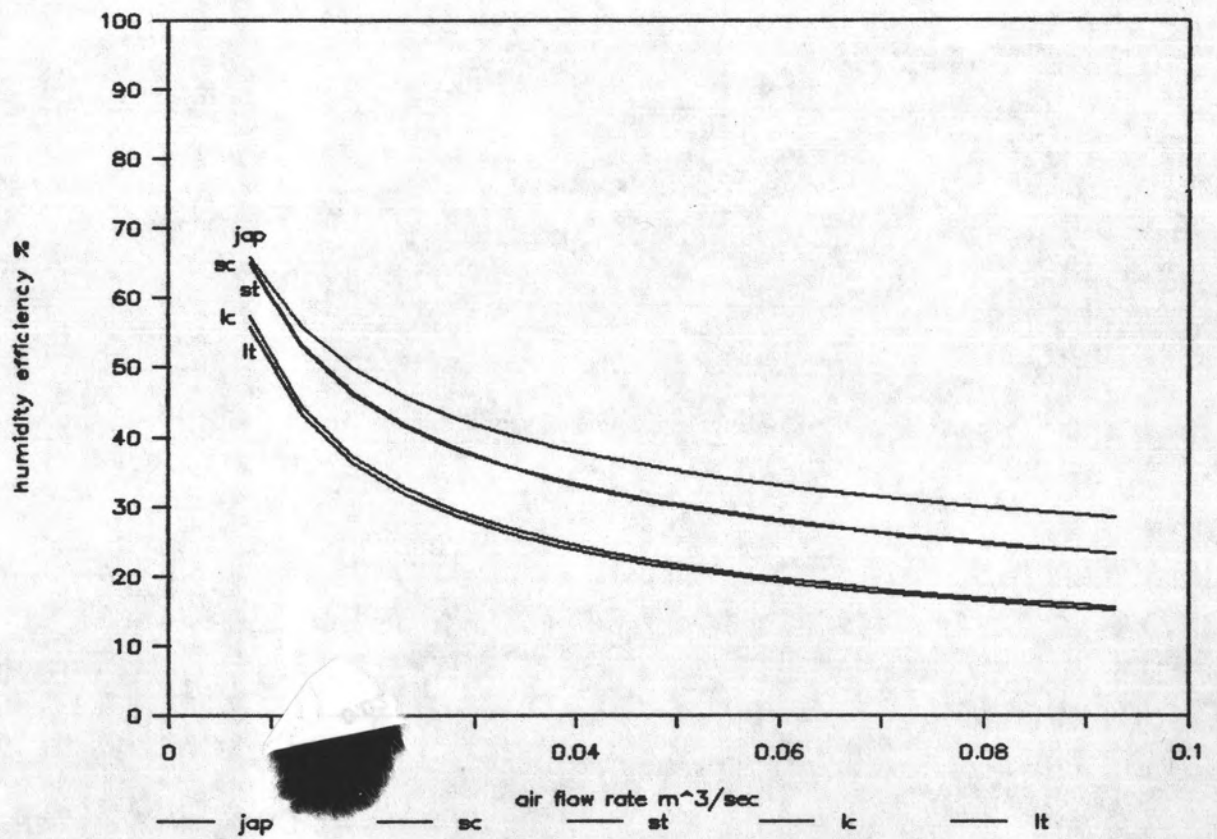
กราฟรูปที่ 4-5 แสดง ประสิทธิภาพเชิงความชื้น กับ อัตราการไหล
ของอากาศในฤดูฝน

กราฟรูปที่ 4-6 แสดง ประสิทธิภาพเชิงความชื้น กับ อัตราการไหล
ของอากาศในฤดูหนาว

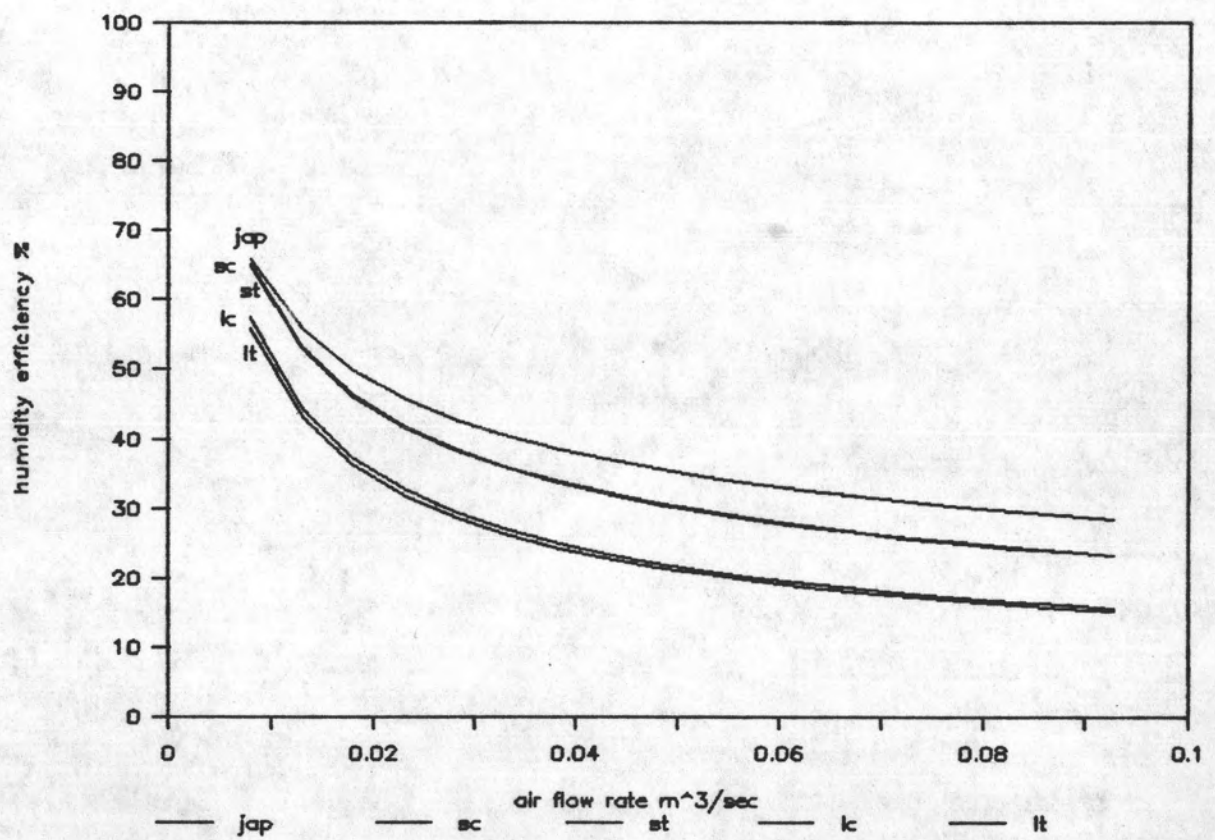
ผลที่ได้จากกราฟทั้ง 3 รูป พบว่าประสิทธิภาพเชิงความชื้นของตัวแลกเปลี่ยน
ความร้อนจะลดลงเมื่ออัตราการไหลอากาศเพิ่มขึ้นและมีค่าเท่ากันทั้ง 3 ฤดู
ซึ่งจะอภิปรายต่อไปในตอนหลัง



รูปที่ 4-4 กราฟแสดง ประสิทธิภาพเชิงความชื้น กับ อัตราการไหลอากาศ ของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 5 ชนิด ที่ทดสอบในฤดูร้อน



รูปที่ 4-5 กราฟแสดง ประสิทธิภาพเชิงความชื้น กับ อัตราการไหลอากาศ
ของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 5 ชนิด ที่ทดสอบในฤดูฝน



รูปที่ 4-6 กราฟแสดง ประสิทธิภาพเชิงความชื้น กับ อัตราการไหลอากาศ ของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 5 ชนิด ที่ทดสอบในฤดูหนาว

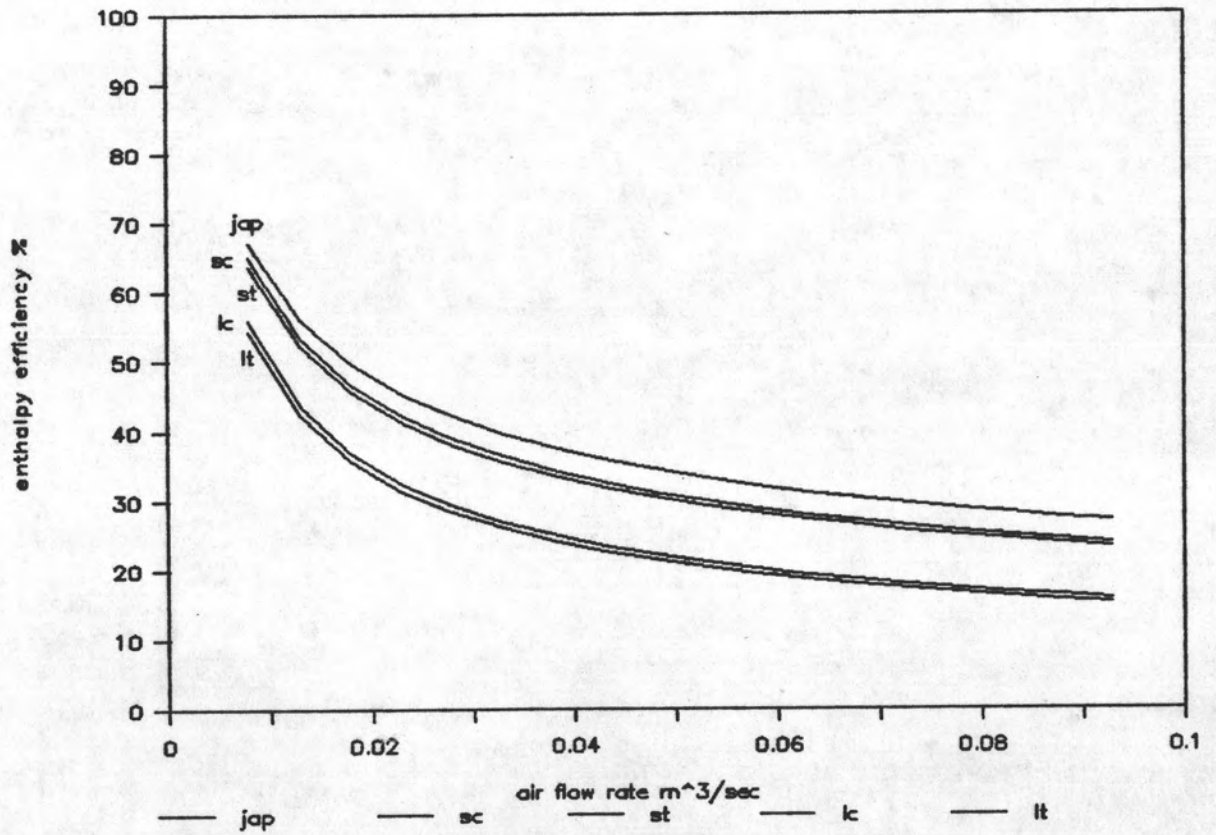
ประสิทธิภาพเชิงเอนทัลปีของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนที่อัตราการไหล
ต่างกันในแต่ละฤดูจะประกอบด้วยกราฟรูปที่ 4-7 ถึง รูปที่ 4-9
ในหน้า 39 - 41

กราฟรูปที่ 4-7 แสดง ประสิทธิภาพเชิงเอนทัลปี กับ อัตราการไหล
ของอากาศในฤดูร้อน

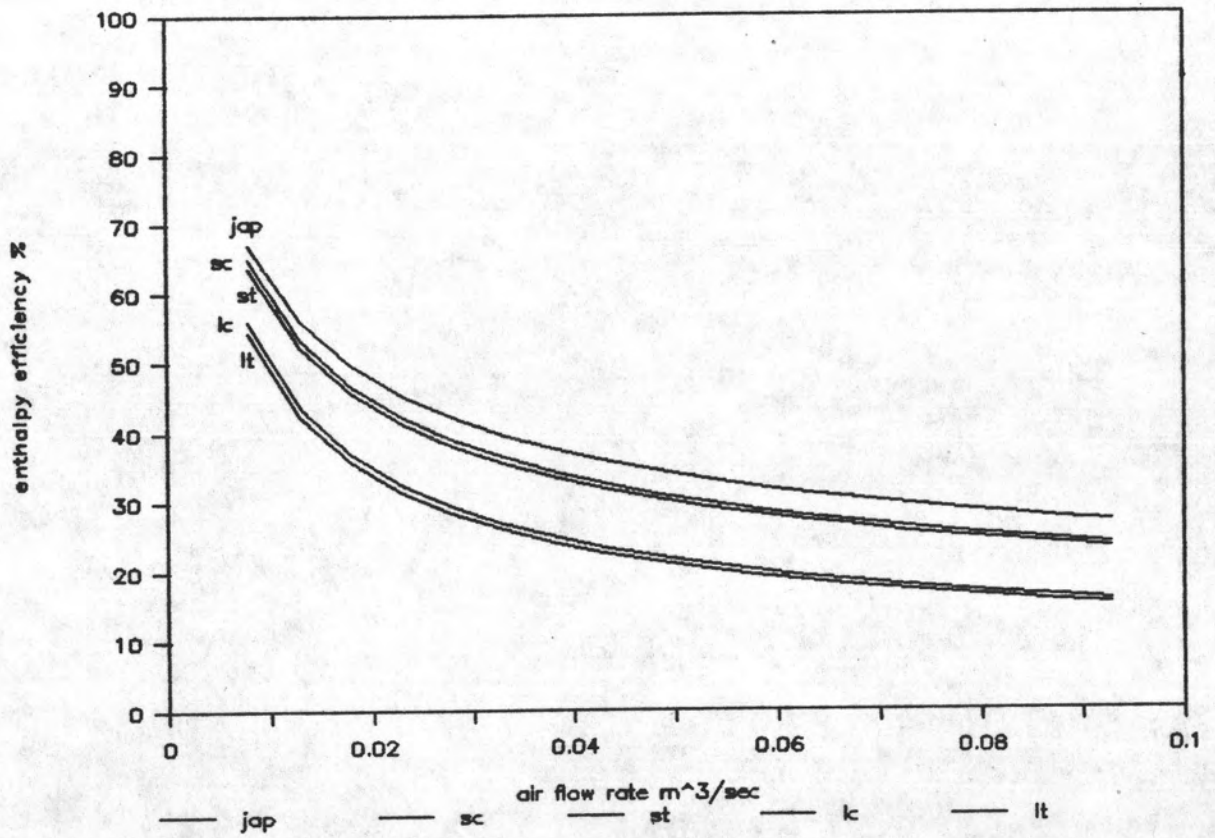
กราฟรูปที่ 4-8 แสดง ประสิทธิภาพเชิงเอนทัลปี กับ อัตราการไหล
ของอากาศในฤดูฝน

กราฟรูปที่ 4-9 แสดง ประสิทธิภาพเชิงเอนทัลปี กับ อัตราการไหล
ของอากาศในฤดูหนาว

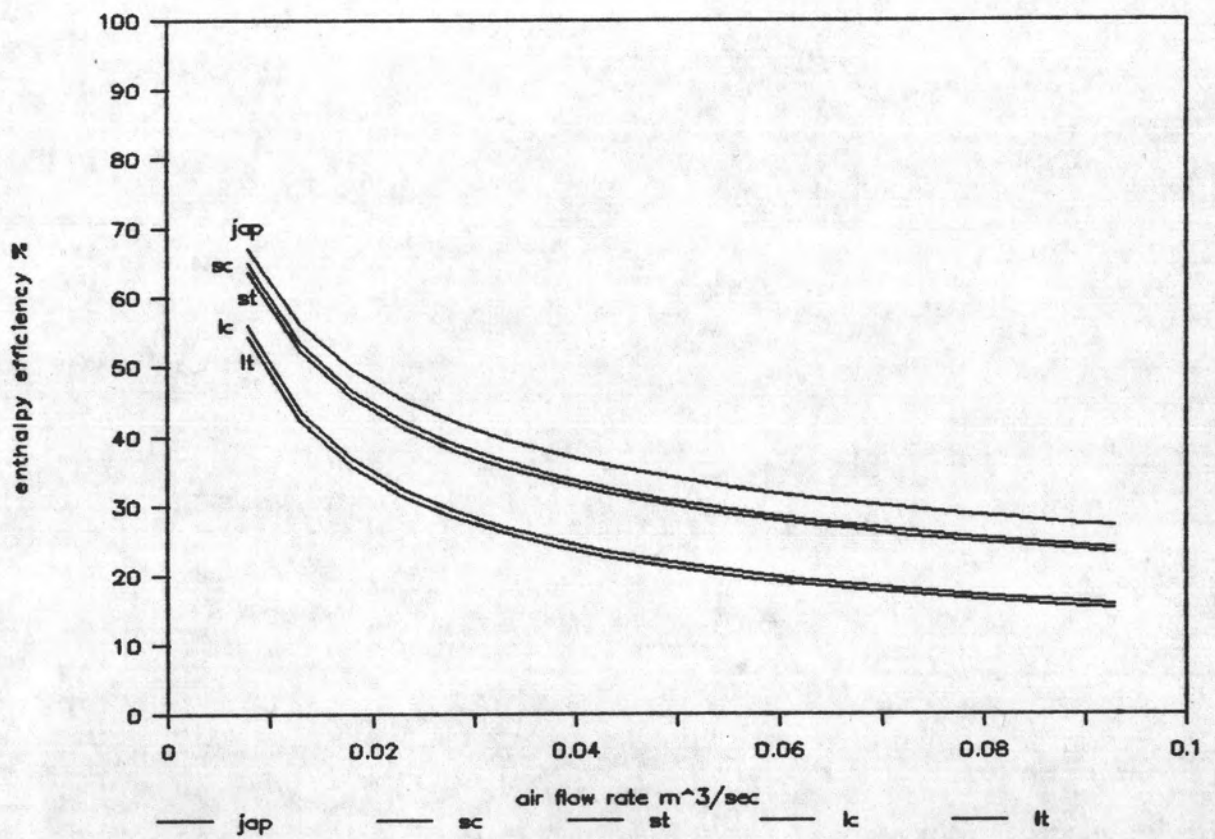
ผลที่ได้จากกราฟทั้ง 3 รูป พบว่าประสิทธิภาพเชิงเอนทัลปีของตัวแลกเปลี่ยน
ความร้อนจะลดลงเมื่ออัตราการไหลอากาศเพิ่มขึ้นและมีค่าเท่ากันทั้ง 3 ฤดู
ซึ่งจะอภิปรายต่อไปในตอนหลัง



รูปที่ 4-7 กราฟแสดง ประสิทธิภาพเชิงเอนทาลปี กับ อัตราการไหลอากาศ ของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 5 ชนิด ที่ทดสอบในฤดูร้อน



รูปที่ 4-8 กราฟแสดง ประสิทธิภาพเชิงเอนทาลปี กับ อัตราการไหลอากาศ
ของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 5 ชนิด ที่ทดสอบในฤดูฝน



รูปที่ 4-9 กราฟแสดง ประสิทธิภาพเชิงเอนทาลปี กับ อัตราการไหลอากาศ ของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 5 ชนิด ที่ทดสอบในฤดูหนาว

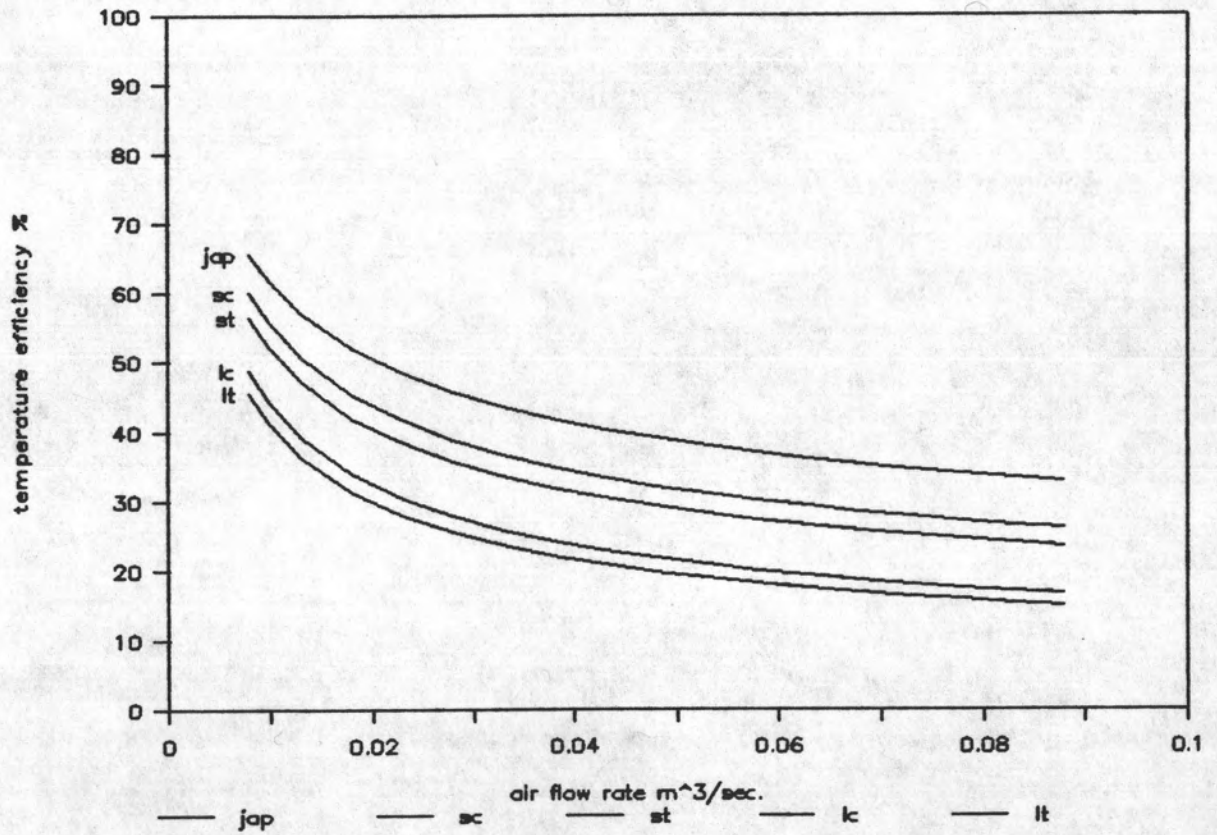
เมื่อทราบค่าประสิทธิภาพทั้ง 3 ประเภทของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 5 ชนิดแล้ว จึงนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิ ประสิทธิภาพเชิงความชื้น และประสิทธิภาพเชิงเอนทัลปี พบว่าตัวแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากกระดาษญี่ปุ่นมีประสิทธิภาพสูงที่สุด รองลงมา คือตัวแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากกระดาษลอนเล็กบิดลงบนกระดาษกราฟ ถัดมาคือ ตัวแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากกระดาษลอนเล็กบิดลงบนกระดาษบาง และ อันดับต่อมาคือ ตัวแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากกระดาษลอนใหญ่บิดลงบนกระดาษกราฟ และอันดับสุดท้าย คือ ตัวแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากกระดาษลอนใหญ่บิดด้วยกระดาษลอกลาย ซึ่งค่าประสิทธิภาพจะแสดงไว้ในภาคผนวก ก. ตารางที่ ก-16 และแสดงผลในกราฟรูปที่ 4-10 ถึง รูปที่ 4-12 ในหน้า 43- 45

กราฟรูปที่ 4-10 แสดง ประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิ กับ อัตราการไหลของอากาศทั้ง 3 ฤดู

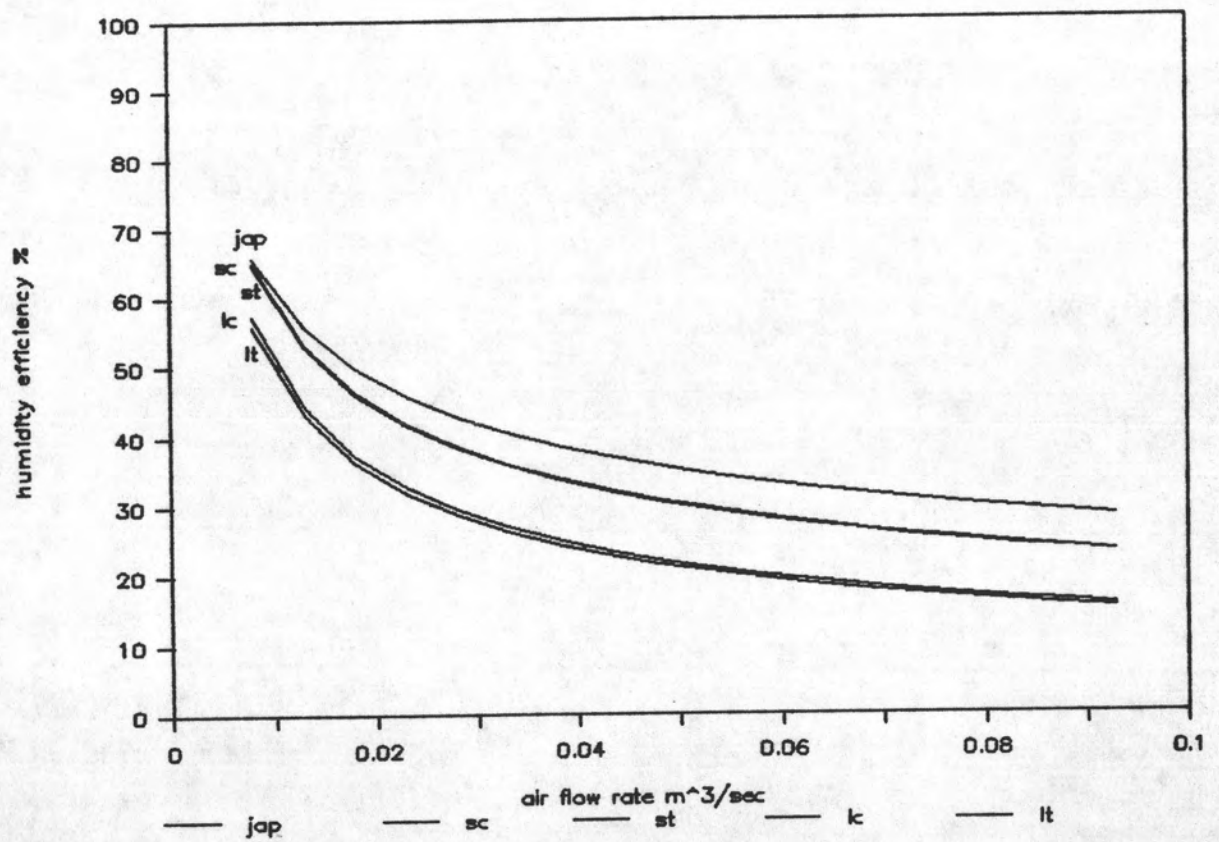
กราฟรูปที่ 4-11 แสดง ประสิทธิภาพเชิงความชื้น กับ อัตราการไหลของอากาศทั้ง 3 ฤดู

กราฟรูปที่ 4-12 แสดง ประสิทธิภาพเชิงเอนทัลปี กับ อัตราการไหลของอากาศทั้ง 3 ฤดู

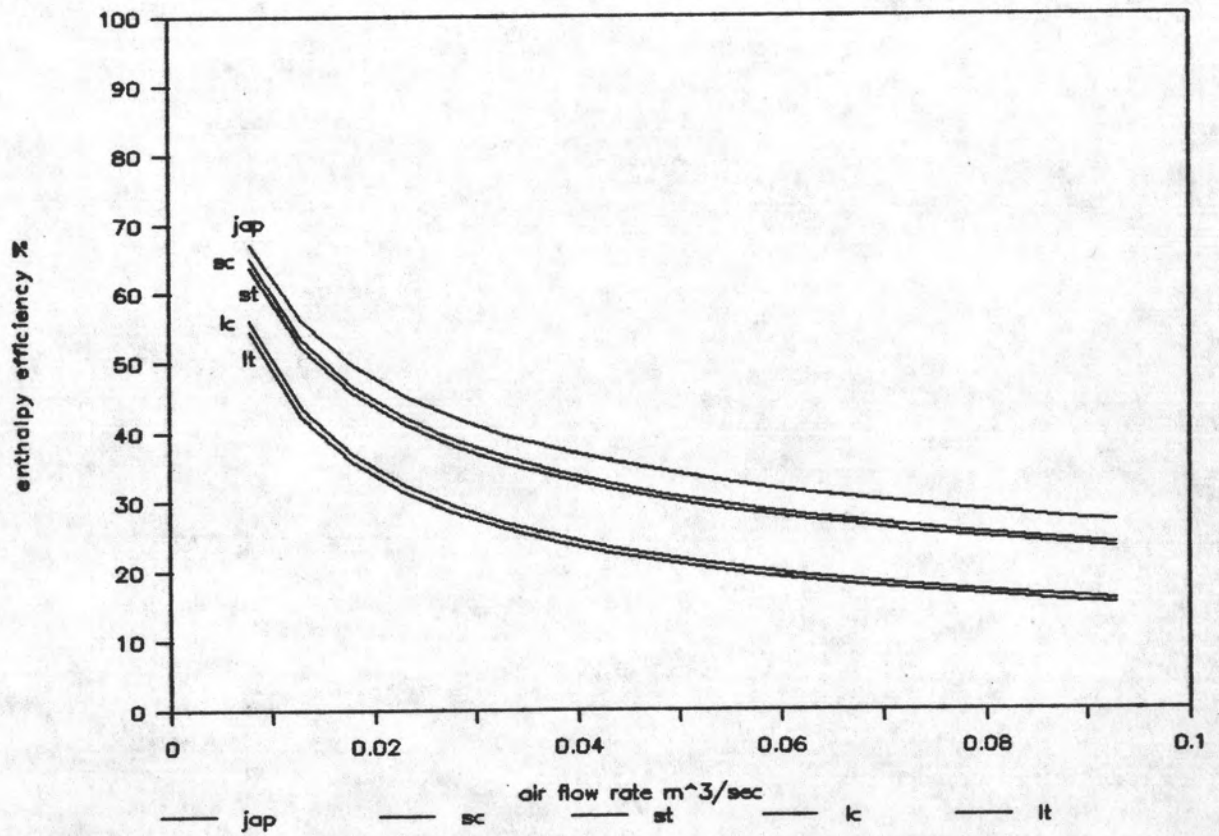




รูปที่ 4-10 กราฟแสดง ประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิ กับ อัตราการไหลอากาศ
ของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 5 ชนิด ทั้ง 3 ฤดู



รูปที่ 4-11 กราฟแสดง ประสิทธิภาพเชิงความชื้น กับ อัตราการไหลอากาศ
ของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 5 ชนิด ทั้ง 3 ฤดู



รูปที่ 4-12 กราฟแสดง ประสิทธิภาพเชิงเอนทาลปี กับ อัตราการไหลอากาศ ของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 5 ชนิด ทั้ง 3 จุด

4) พารามิเตอร์ทางความร้อน

ค่าพารามิเตอร์ทางความร้อนต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิต่อ คือ ค่าความต้านทานความร้อนทั้งหมด ($1/U_h A_h$) ซึ่งมีค่าเท่ากับผลรวมของความต้านทานการพาความร้อนทั้งสองด้าน ($2/(h_h \eta_f A_h)$) กับค่าความต้านทานการนำ ($1/(k_p A_p / t)$) จากผลการวิจัยตัวแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิต่อสูง จะเกิดการถ่ายเทความร้อนได้มาก เนื่องจากตัวแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นมีความต้านทานความร้อนทั้งหมด น้อย พารามิเตอร์ตัวนี้จะเกิดขึ้นจากความต้านทานความร้อนของการนำความร้อนและความต้านทานความร้อนของการพาความร้อน ผลการวิจัยได้ว่า พารามิเตอร์ทางความร้อนที่เกิดจากการพาความร้อน จะมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิต่อมากกว่าการนำความร้อน ซึ่งผลได้แสดงให้เห็นเพียงบางส่วนเพื่อเปรียบเทียบว่า ตัวแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าพารามิเตอร์ต่างกัน ทำให้มีประสิทธิผลต่างกันดังค่าที่ได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 4-3 หน้า 47 ส่วนผลการคำนวณหาประสิทธิภาพของตัวแลกเปลี่ยนความร้อน และ พารามิเตอร์ทางความร้อนจะแสดงอยู่ในภาคผนวก ข.

ตารางที่ 4-3 พารามิเตอร์ทางความร้อนที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิของตัวแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งทดสอบที่อัตราการไหลของอากาศ เท่ากับ $30 \text{ m}^3/\text{hr}$.

ชนิดตัวแลกเปลี่ยนความร้อน	$1/(U_h A_h)$ $^{\circ}\text{C-hr/KJ}$	$2/(h_h \eta_f A_h)$ $^{\circ}\text{C-hr/KJ}$	$1/(k_p A_p / t)$ $^{\circ}\text{C-hr/KJ}$	ประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิ %
กระดาศีปุ่น	1.26×10^{-2}	1.18×10^{-2}	8.2×10^{-4}	63
กระดาศลอนเล็ก ปิดบนกระดาศกราฟท์	1.66×10^{-2}	1.50×10^{-2}	1.55×10^{-3}	58
กระดาศลอนเล็ก ปิดบนกระดาศบาง	2.03×10^{-2}	1.87×10^{-2}	1.65×10^{-3}	54
กระดาศลอนใหญ่ ปิดบนกระดาศกราฟท์	2.84×10^{-2}	2.61×10^{-2}	2.25×10^{-3}	47
กระดาศลอนใหญ่ปิด บนกระดาศลอกลาย	3.26×10^{-2}	2.98×10^{-2}	2.83×10^{-3}	44

5) พารามิเตอร์ทางความชื้น

ค่าพารามิเตอร์ทางความชื้นต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความชื้น คือ ค่าความต้านทานการถ่ายเทมวลทั้งหมด ($1/U_m A_p$) ซึ่งมีค่าเท่ากับผลรวมของความต้านทานการพามวลทั้งสองด้าน ($2/(h_m (A_p + f_m A_f))$) กับความต้านทานการซึมผ่านไอน้ำในกระดาษ ($1/(Kp_p A_p / t)$)

จากผลการวิจัย พบว่าตัวแลกเปลี่ยนความร้อน ที่มีประสิทธิภาพเชิงความชื้นสูงจะเกิดการถ่ายมวลได้มาก เนื่องจากความต้านทานการถ่ายเทมวลทั้งหมดมีค่าน้อย และความต้านทานการถ่ายเทมวลทั้งหมดจะประกอบด้วยความต้านทานการซึมผ่านไอน้ำในกระดาษและความต้านทานการพามวล ซึ่งเมื่อทดสอบตัวแลกเปลี่ยนความร้อนหาประสิทธิภาพเชิงความชื้นได้แล้ว ก็จะสามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ทางความชื้น ผลการคำนวณได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข. ค่าพารามิเตอร์ทางความชื้นที่ได้ จะนำมาเปรียบเทียบว่าตัวแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีค่าพารามิเตอร์ทางความชื้นต่างกัน จะมีประสิทธิภาพเชิงความชื้นต่างกันดังที่ได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 4-4 หน้า 49

ตารางที่ 4-4 พารามิเตอร์ทางความชื้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความชื้นของตัวแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งทดสอบที่อัตราการไหลของอากาศ เท่ากับ $8.3 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sec}$.

ชนิดตัวแลกเปลี่ยนความร้อน	$1/U_m A_p$ mmHg-sec/kg	$2/(h_m(A_p + f_m A_f))$ mmHg-sec/kg	$1/(Kp_p A_p/t)$ mmHg-sec/kg	ประสิทธิภาพเชิงความชื้น %
กระดาศญีปุ่น	54243	24637	29605	64
กระดาศลอนเล็ก ปิดบนกระดาศ คราฟท์	59291	25526	33765	62
กระดาศลอนเล็ก ปิดบนกระดาศบาง	62092	35217	26874	61
กระดาศลอนใหญ่ ปิดบนกระดาศ คราฟท์	92396	43232	49165	54
กระดาศลอนใหญ่ ปิดบนกระดาศ ลอกลาย	98193	51768	46425	53

6) ปริมาณความร้อนที่ประหยัดได้ในตัวแลกเปลี่ยนความร้อน

จากการทดสอบตัวแลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 5 ชนิด ในสภาวะอากาศทั้ง 3 ฤดูผลที่ได้ทำให้ทราบถึงปริมาณความร้อนที่สามารถเรียกกลับคืนมาว่ามีมากหรือน้อย ซึ่งความร้อนที่ถ่ายเทในตัวแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถคำนวณเป็นความร้อนสัมผัส ความร้อนแฝง และความร้อนรวมทั้งหมด ผลการคำนวณปริมาณความร้อนที่ประหยัดได้ในตัวแลกเปลี่ยนความร้อนแสดงอยู่ในภาคผนวก ข. เมื่อเปรียบเทียบปริมาณความร้อนรวมทั้งหมดที่ตัวแลกเปลี่ยนความร้อนประหยัดได้ในแต่ละฤดู ที่อัตราการไหลของอากาศ $180 \text{ m}^3/\text{hr.}$ ผลการเปรียบเทียบได้แสดงไว้ในตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ปริมาณความร้อนรวมทั้งหมดที่ประหยัดได้ในตัวแลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 5 ชนิด ที่อัตราการไหลของอากาศ $180 \text{ m}^3/\text{hr.}$ ในสภาวะอากาศ 3 ฤดู

ชนิดตัวแลกเปลี่ยนความร้อน	ความร้อนรวมทั้งหมดที่ประหยัดได้ (KJ/hr.)		
	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ฤดูหนาว
กระดาศูญี่ปูน	4060	2162	840
กระดาศลอนเล็ก+กราฟท์	3635	1890	768
กระดาศลอนเล็ก+บาง	3545	1806	684
กระดาศลอนใหญ่+กราฟท์	2605	1310	515
กระดาศลอนใหญ่+ลอกลาย	2498	1300	510

7) สมการความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์

พารามิเตอร์ของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่นมีครีบประกอบไปด้วย พารามิเตอร์ทางความร้อน และพารามิเตอร์ทางความชื้น โดยจะนำข้อมูลที่วัดได้มาสร้างความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบ ใช้งานต่อไป

7.1 พารามิเตอร์ทางความร้อน

ตัวแปรต่างๆที่วัดได้และจะนำมาหาความสัมพันธ์ ได้แก่ คุณสมบัติทางกายภาพของตัวแลกเปลี่ยนความร้อน และคุณสมบัติของอากาศ โดยเขียนเป็นกลุ่มตัวแปรได้ดังนี้ Nusselt number เป็นตัวเลขแทนกลุ่มตัวแปร $h_n d_n / k_n$ และ Graetz number เป็นตัวเลขแทนกลุ่มตัวแปร Reynold number $(\rho v d_n / \mu)$ คู่กับ Prandlt number $(C_p \mu / k_n)$ คู่กับ d_n / l ผลของพารามิเตอร์ทางความร้อนจะนำมาแสดงความสัมพันธ์ ในรูปของ Nusselt number กับ Graetz number โดยพิจารณาจากตัวแลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 5 ชนิด แล้วหาสมการที่เหมาะสมโดยใช้วิธี Dimensional Analysis ได้สูตรเอมไพริคัลในรูปของ Nusselt number เป็นฟังก์ชันของ Graetz number สมการที่ได้จะใช้ในการไหลแบบลามินาร์ที่ช่วงอัตราการไหลของอากาศ 30-180 m^3/hr . มีค่า Reynold number ตั้งแต่ 60 -600 และ มีค่า Graetz number ตั้งแต่ 1-20 สมการนั้นคือ

$$Nu = 2.546 \times (Re \times Pr)^{0.35} \times (dh/l)^{0.35}$$

ซึ่งค่า $Pr = 0.7$, $R^2 = 0.98$

เมื่อนำสมการข้างต้นมาเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nusselt number กับ Graetz number จะพบว่าเมื่อ Graetz number เพิ่มขึ้น Nusselt number จะเพิ่มขึ้นด้วย ดังรูปที่ 4-13

7.2 พารามิเตอร์ทางความชื้น

ตัวแปรต่างๆที่วัดได้และจะนำมาหาความสัมพันธ์ ได้แก่ คุณสมบัติทางกายภาพของตัวแลกเปลี่ยนความร้อน และคุณสมบัติของอากาศโดยเขียนเป็นกลุ่มตัวแปรได้ดังนี้ Sherwood number เป็นตัวเลขแทนกลุ่มตัวแปร

$h_m d_n / k_{p,n}$ และ Graetz number เป็นตัวเลขแทนกลุ่มตัวแปร Reynold number ($Re d_n / \mu$) คู่กับ Schmidt number ($C_m \mu / k_{p,n}$) คู่กับ d_n / l ผลของพารามิเตอร์ทางความชื้นจะนำมาแสดงความสัมพันธ์ ในรูปของ Sherwood number กับ Graetz number โดยพิจารณาจากตัวแลกเปลี่ยน ความร้อนทั้ง 5 ชนิด แล้วหาสมการที่เหมาะสมโดยใช้วิธี Dimensional Analysis ได้สูตรเอมไพริคัลในรูปของ Sherwood number เป็นฟังก์ชัน ของ Graetz number สมการที่ได้จะใช้ในการไหลแบบลามินาร์ในช่วง อัตราการไหลของอากาศ 30-180 m^3/hr . มีค่า Reynold number ตั้งแต่ 60 - 600 และ มีค่า Graetz number ตั้งแต่ 1-20 สมการนั้นคือ

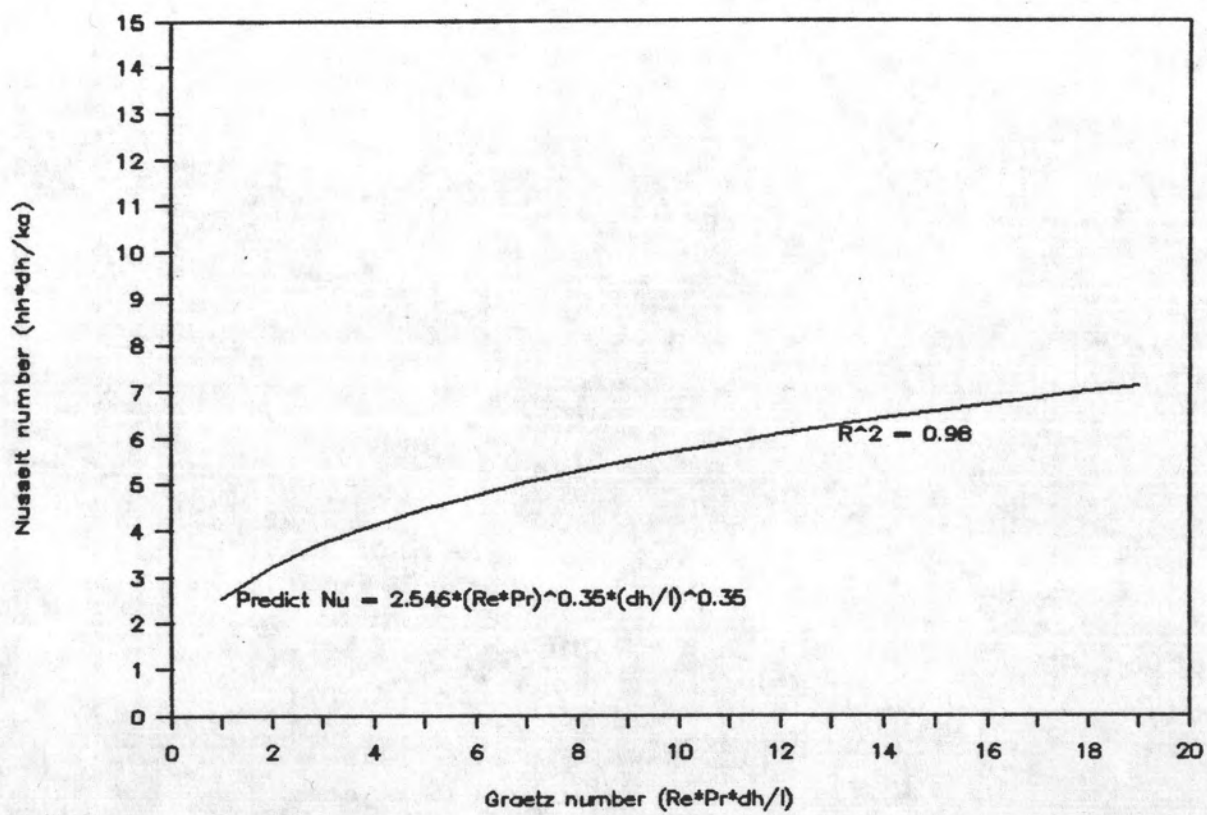
$$Sh = 0.0004 \times (Re \times Sc)^{0.287} \times (dh/l)^{0.287}$$

ซึ่งค่า $Sc = 0.7$, $Re = 0.9$

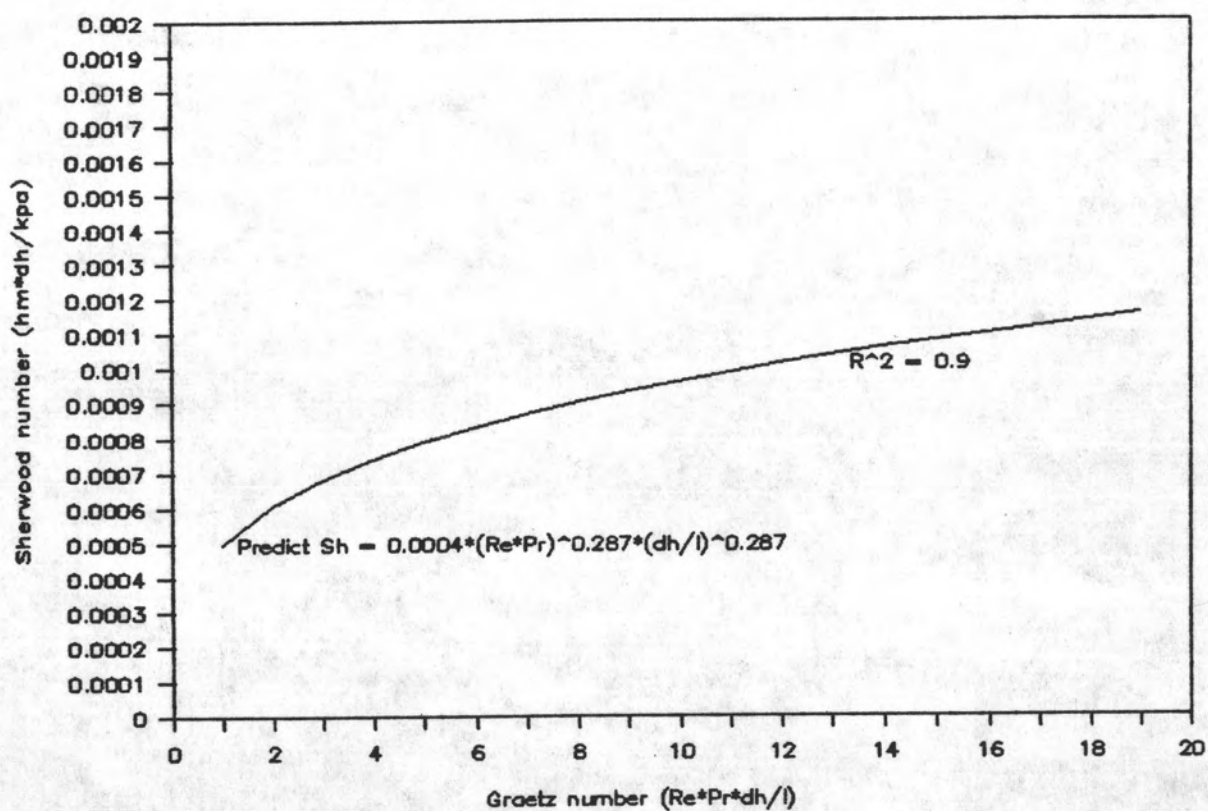
เมื่อนำสมการข้างต้นมาเขียนเป็น กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง Sherwood number กับ Graetz number จะพบว่าเมื่อ Graetz number เพิ่มขึ้น Sherwood number จะเพิ่มขึ้นด้วย ดังรูปที่ 4-14

8) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nusselt number กับ Graetz number ที่ได้จากการวิจัย เปรียบเทียบกับผู้วิจัยอื่น

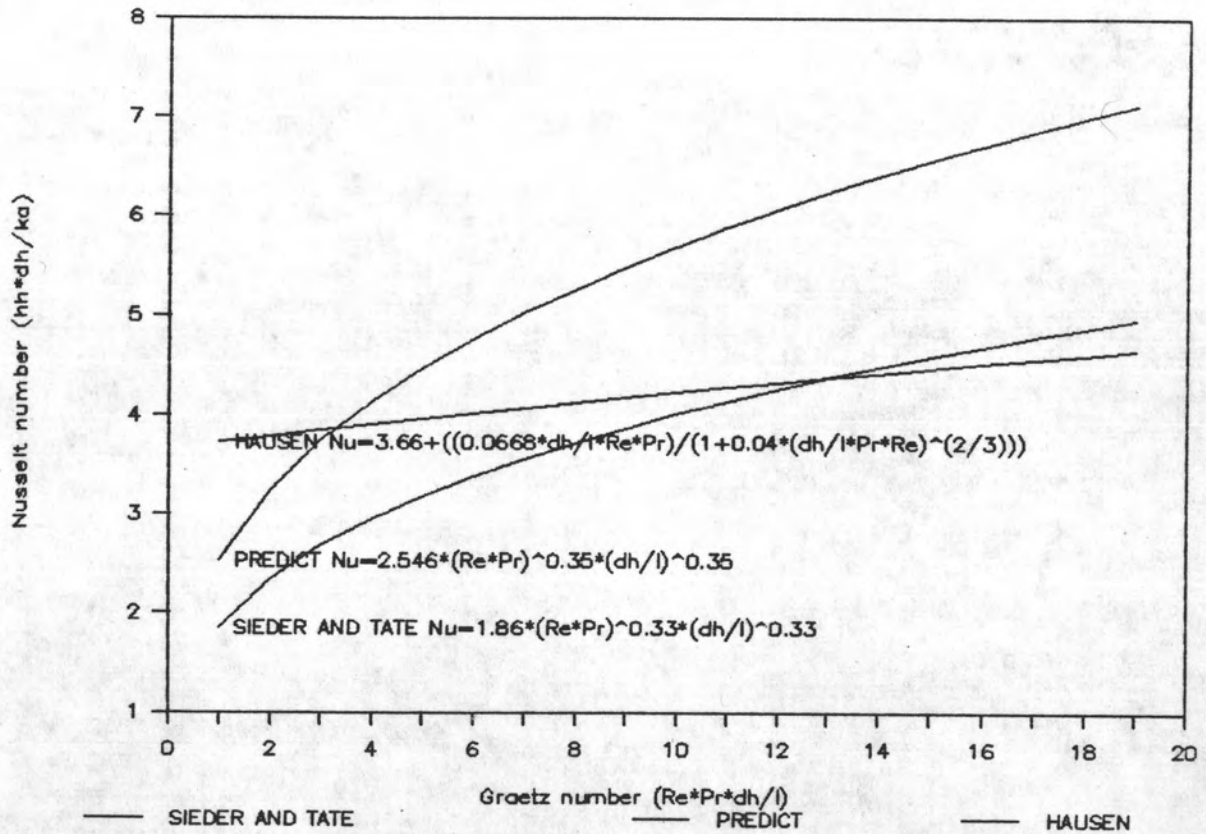
กราฟของสมการความสัมพันธ์ระหว่าง Nusselt number กับ Graetz number ที่ได้จากการวิจัยเปรียบเทียบกับกราฟของสมการที่ได้ จาก Hausen และกราฟของสมการที่ได้จาก Sieder and Tate ดังรูปที่ 4-15 จะพบว่าสมการความสัมพันธ์ที่ได้จากการวิจัยมีความแตกต่าง ไปบ้างเนื่องจากการหา Nusselt number กับ Graetz number ที่ได้ จากการวิจัยทำการทดสอบ ในช่วง Graetz number ตั้งแต่ 1-20 และ $Pr = 0.7$ แต่สมการที่ได้จาก Hausen จะใช้ได้ดีในช่วง Graetz number มากกว่า 10 โดยมีอุณหภูมิที่ผนังของท่อคงที่ และค่าสัมประสิทธิ์ การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยมีค่าเท่ากันตลอดความยาวท่อ ส่วนสมการที่ได้ จาก Sieder and Tate จะใช้ได้ดีในช่วง Graetz number มากกว่า 10 โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะหาจากค่าเฉลี่ย ของอุณหภูมิของของไหลและความหนืดของของไหลจะหาจากอุณหภูมิที่ผนังท่อ



รูปที่ 4-13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nusselt number กับ Graetz number



รูปที่ 4-14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Sherwood number กับ Graetz number



รูปที่ 4-15 กราฟเปรียบเทียบสมการความสัมพันธ์ระหว่าง Nusselt number กับ Graetz number ที่ได้จากการวิจัย กับ สมการของ Hausen และ สมการของ Sieder and Tate

การอภิปราย

การอภิปรายผลการวิจัยมีดังนี้

1) อัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ตัวแลกเปลี่ยนความร้อนมีประสิทธิภาพน้อยลง

ประสิทธิภาพของตัวแลกเปลี่ยนความร้อน (ϵ_u) เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้เปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจริง กับ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่สามารถเกิดขึ้นได้สูงสุด ซึ่งหาได้จากสมการที่ (2.25) ในการแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น จะเกิดการถ่ายเทความร้อนมากขึ้น ทำให้ผลต่างของอุณหภูมิอากาศร้อนกับอากาศเย็นเพิ่มขึ้น สำหรับ Temperature Profile ในตัวแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดของไหลไหลขวางตัดกัน เมื่อผลต่างของอุณหภูมิอากาศร้อนกับอากาศเย็นเพิ่มขึ้น ทำให้ผลต่างของอุณหภูมิอากาศร้อน ($T_{u1} - T_{u2}$) น้อยลง และเมื่อนำไปแทนในสมการข้างบน จะทำให้ประสิทธิภาพ (ϵ_u) ต่ำลง จึงกล่าวได้ว่าอัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ตัวแลกเปลี่ยนความร้อนมีประสิทธิภาพน้อยลง สำหรับกรณีนี้ (ϵ_u) จะเรียกเป็นประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิ (temperature efficiency) และทำนองเดียวกันสำหรับทางด้านความชื้นจะหาประสิทธิภาพเชิงความชื้น (ϵ_m) ได้ โดยใช้สมการที่ (2.36) ซึ่งเปรียบเทียบ อัตราการถ่ายเทความชื้นที่เกิดขึ้นจริง กับอัตราการถ่ายเทความชื้นที่สามารถเกิดขึ้นได้สูงสุด จากผลที่ได้จะพบว่าที่อัตราการไหลเพิ่มขึ้นอัตราการถ่ายเทความชื้นจะเพิ่มขึ้น ทำให้ผลต่างของอัตราส่วนความชื้นของอากาศร้อนกับอากาศเย็นเพิ่มขึ้นด้วย จึงทำให้ผลต่างของอัตราส่วนความชื้นของอากาศร้อนน้อยลง และเมื่อนำไปหารด้วยผลต่างอัตราส่วนความชื้นของอากาศร้อน กับ อากาศเย็น จะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความชื้น (humidity efficiency) ต่ำลง

เมื่อประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิ และ ประสิทธิภาพเชิงความชื้น ต่ำลงเนื่องจากผลต่างอุณหภูมิอากาศร้อนต่ำลง และ ผลต่างของอัตราส่วนความชื้นของอากาศต่ำลง ย่อมจะทำให้ผลต่างเอนทาลปีอากาศร้อนต่ำลงด้วย ซึ่งเป็นคุณสมบัติของอากาศดังนั้น จะหาประสิทธิภาพเชิงเอนทาลปี (ϵ_i)

ได้โดยการใช้เอนทาลปีของอากาศ แทนอุณหภูมิในสมการที่ (2-37) ซึ่งก็เป็นการเปรียบเทียบ อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้นจริง กับ อัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดที่สามารถเกิดขึ้นได้สูงสุด ผลที่ได้จะพบว่าอัตราการไหลเพิ่มขึ้นอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมทั้งหมด มากขึ้น ทำให้ ผลต่างของเอนทาลปีอากาศร้อนกับอากาศเย็นเพิ่มขึ้นด้วย จึงทำให้ ผลต่างของเอนทาลปีอากาศร้อนน้อยลง และเมื่อนำไปหารด้วย ผลต่างเอนทาลปีของอากาศร้อนกับอากาศเย็นจะทำให้ ประสิทธิภาพเชิงเอนทาลปี (enthalpy efficiency) ต่ำลง

2) สภาวะอากาศภายในห้องและภายนอกห้องทั้ง 3 ฤดู ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของตัวแลกเปลี่ยนความร้อน

เนื่องจากประสิทธิภาพของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนจะหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจริงกับ ปริมาณความร้อนที่มีได้สูงสุดเมื่อเขียนเป็นสมการที่ (2.25)

จากกราฟรูปที่ 4-1 ถึง 4-3 จะพบว่าเมื่อ สภาวะอากาศภายนอกเปลี่ยนแปลงไป 3 ฤดู คือ ฤดูร้อน อากาศมีอุณหภูมิ 35 °Cdb. ความชื้น 80%RH. ฤดูฝน อากาศมีอุณหภูมิ 31 °Cdb. ความชื้น 70%RH. และ ฤดูหนาว อากาศมีอุณหภูมิ 28 °Cdb ความชื้น 63% RH. แต่ประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิที่อัตราการไหลเดียวกันไม่เปลี่ยนแปลง

ดังนั้นประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิของตัวแลกเปลี่ยนความร้อน จะไม่ขึ้นกับสภาวะอากาศภายนอกอาคาร แต่จะขึ้นกับ $U_n A_n / (WCp)_n$ และ $(WCp)_n / (WCp)_n$ ซึ่งหาได้จากสมการที่ (2.24) สำหรับการทดสอบในการวิจัยครั้งนี้จะควบคุมอัตราการไหลของอากาศร้อนให้เท่ากับอัตราการไหลของอากาศเย็น

จากผลของข้อนี้ทำให้การวิเคราะห์ทางความร้อนและทางความชื้นสามารถแยกออกจากกัน ทั้งๆที่การแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นเกิดขึ้นพร้อมๆกัน

3) อิทธิพลของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิ

สำหรับอิทธิพลของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิ เมื่อพิจารณาถึงตัวแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากกระดาดลอนเล็กปิดด้วยกระดาดกราฟท์ และ ตัวแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากกระดาดลอนใหญ่ปิดด้วยกระดาดกราฟท์พบว่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนคูณกับพื้นที่ของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากกระดาดลอนเล็กปิดด้วยกระดาดกราฟท์ ($361 \text{ KJ/Hr/}^{\circ}\text{C}$) ซึ่งมีค่าสูงกว่าตัวแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากกระดาดลอนใหญ่ปิดด้วยกระดาดกราฟท์ ($207 \text{ KJ/Hr/}^{\circ}\text{C}$) มีผลทำให้ประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากกระดาดลอนเล็กปิดด้วยกระดาดกราฟท์ (58%) สูงกว่าตัวแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากกระดาดลอนใหญ่ปิดด้วยกระดาดกราฟท์ (47%)

ผลการทดสอบทางด้านความร้อน การวิเคราะห์ทางด้านความร้อน จะใช้สมมุติฐานว่า อากาศมีส่วนประกอบระหว่างอากาศแห้ง และไอน้ำเพียงสองชนิดเท่านั้นซึ่งปริมาณไอน้ำมีน้อยกว่าปริมาณอากาศแห้ง โดยใช้ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนมาวิเคราะห์ผลที่ได้ พบว่าผลการทดลองอาจจะมีความคลาดเคลื่อนจากการวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ไปบ้างเล็กน้อย เนื่องจากความชื้นของอากาศ และความเร็วของอากาศมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน กล่าวคือ ที่ความเร็วสูงตัวแลกเปลี่ยนความร้อน จะมีประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิสูงกว่า ที่ความเร็วต่ำ ทั้งที่กระดาดมีค่าสภาพการนำความร้อนเท่ากัน ดังนั้นการส่งผ่านทางด้านความร้อนจะมากหรือน้อยเกิดขึ้นจากการพาความร้อนมากกว่า การนำความร้อนของกระดาด หรือ อาจจะกล่าวได้ว่าประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิจะขึ้นอยู่กับความเร็วของอากาศ และรูปร่างขนาดของลอนที่อากาศวิ่งผ่าน มากกว่า ค่าสภาพการนำความร้อน

4) อิทธิพลของสัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพเชิงความชื้น

เมื่อพิจารณาถึงตัวแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากกระดาดลอนเล็กปิดด้วยกระดาดกราฟท์ กับ ตัวแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากกระดาดลอนเล็กปิดด้วยกระดาดบาง พบว่า ความหนา / สัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำ

ของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากกระดาษลอนเล็ก และแผ่นเรียบทำจากกระดาษกราฟ (38500 mmHg-sec/kg) สูงกว่าตัวแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากกระดาษลอนเล็กปิดด้วยกระดาษบาง (38414 mmHg-sec/kg) มีผลทำให้ ประสิทธิภาพเชิงความชื้นของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากกระดาษลอนเล็กปิดด้วยกระดาษกราฟ (62%) สูงกว่าตัวแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากกระดาษลอนเล็กปิดด้วยกระดาษบาง (61%) ความแตกต่างของประสิทธิภาพเชิงความชื้น ของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนในกรณีที่ค่าความหนา/ ลัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำเท่ากันจะเกิดขึ้นเนื่องจาก

จำนวนแผ่นเรียบของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนมากขึ้น มีผลทำให้การซึมผ่านไอน้ำมากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพเชิงความชื้นมากขึ้น

ผลการทดสอบทางด้านความชื้น จากการวิเคราะห์ทางด้านมวล ความชื้น โดยตั้งข้อสมมุติฐานว่าอากาศ มีส่วนประกอบระหว่างอากาศแห้ง และไอน้ำเพียงสองชนิดเท่านั้นซึ่งปริมาณน้ำมีอยู่น้อยกว่า ปริมาณอากาศแห้ง เมื่อนำเอาทฤษฎีการส่งผ่านมวลมาวิเคราะห์พบว่า ผลของการทดลองที่ได้มีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง เนื่องจากการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่ความเร็วต่ำ ส่วนที่ความเร็วสูงจะให้ผลใกล้เคียงกับทฤษฎี จากผลการทดลองพบว่ากระดาษที่มีความพรุนมากจะยอมให้อากาศผ่านไปได้ดี และ ตัวแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้วัสดุชนิดนี้จะมีค่าประสิทธิภาพเชิงความชื้นสูง ดังนั้น จากผลการวิจัยจะกล่าวได้ว่าการแลกเปลี่ยนความชื้นจะเกิดขึ้นมาก หรือ น้อย ขึ้นกับความสามารถของกระดาษที่จะยอมให้ ไอน้ำซึมผ่านไปได้อีก หรือ น้อย กล่าวคือ กระดาษที่มีความพรุนมาก ไอน้ำก็จะซึมผ่านกระดาษ ได้ดีกว่ากระดาษที่มีความพรุนน้อย ทั้งที่ความเร็วของอากาศเท่ากัน แสดงให้เห็นว่าค่าลัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนความชื้น ขึ้นกับคุณสมบัติกระดาษมากกว่าค่าลัมประสิทธิ์การพามวลของอากาศ

5) ผลของการประหยัดพลังงาน

ผลของการประหยัดพลังงานนั้นจะต้องพิจารณาถึงการใช้พลังงานในการทำให้อากาศไหลในตัวแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งมีขนาดลอนต่างๆกันทำให้เกิดการสูญเสียความดันในตัวแลกเปลี่ยนความร้อน

สำหรับปริมาณความร้อนที่ประหยัดได้นั้น จะพบว่าตัวแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่นมีครีบทึ่ทำจากกระดาษลอนเล็กปิดบนกระดาษกราฟที่ จะประหยัดพลังงานได้สูงสุดเท่ากับ 3635 KJ/hr ที่อัตราการไหลของอากาศ $180 \text{ m}^3/\text{hr}$ อุณหภูมิภายนอกอาคาร $35^\circ\text{Cdb}/32^\circ\text{Cwb}$ ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 4-5 หน้า 50 แต่ก็เกิดการสูญเสียความดันในท่อมากกว่าตัวแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากกระดาษลอนใหญ่ปิดบนกระดาษกราฟที่เล็กน้อยดังได้แสดงค่าไว้ในภาคผนวก ง. ซึ่งจะทำให้เพิ่มพลังงานที่ใช้กับพัดลมเพียงเล็กน้อยเท่านั้น