

บทที่ 5

ผลการทดสอบและวิจารณ์ผลการทดสอบ

จากการศึกษาถึงการใช้เทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบในระบบอบแห้งชนิดบีบความร้อน โดยมีเงื่อนไขการทดสอบ 3 เงื่อนไข คือเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนอากาศที่ไม่ผ่านส่วนทำระเหยหรือ BAR (Bypass Air Ratio) 3 ค่า และมีเงื่อนไขการทดสอบอีก 2 เงื่อนไข คือ ก่อนติดตั้งและหลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ โดยในการทดสอบทุก ๆ เงื่อนไขจะควบคุมให้มีอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่ 55°C ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกประมาณ 11-13% มาตรฐานเปียก ใช้เวลาในการอบ 7 ชั่วโมงจนเหลือความชื้นสุดท้ายคือ 5-7% มาตรฐานเปียก และอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศอบแห้งคือประมาณ 0.4 kg/s ซึ่งสามารถอธิบายผลการทดสอบได้ตามหัวข้อดังต่อไปนี้

5.1 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

สำหรับการใช้อากาศเป็นตัวกลางในการอบแห้งนั้น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้งเป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญ ดังนั้นจึงต้องศึกษาถึงผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้งที่มีต่อระบบดังต่อไปนี้

5.1.1 อุณหภูมิการอบแห้งของเครื่องอบแห้งชนิดบีบความร้อน

5.1.1.1 อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าและหลังออกส่วนทำระเหยของบีบความร้อน

ก. ผลของ BAR สำหรับระบบการอบแห้งชนิดบีบความร้อนก่อนติดตั้งเทอร์โมไซฟอน

รูป 5.1 และ 5.2 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่ออุณหภูมิอากาศก่อนเข้าและหลังออกส่วนทำระเหยของบีบความร้อนที่เวลาต่าง ๆ จากรูป 5.1 พบว่าอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าส่วนทำระเหยสำหรับทุกค่า BAR คือในช่วงแรกมีค่าต่ำแล้วจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แต่ช่วงท้ายจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่น้อยกว่า และสำหรับกรณี BAR 20% มีอุณหภูมิสูงกว่าที่ BAR 0% และ 40% (ซึ่งทั้ง 2 กรณีนี้มีค่าใกล้เคียงกัน) โดยมีค่าเฉลี่ย คือ 44.40°C , 45.51°C และ 43.81°C สำหรับกรณี BAR 0, 20 และ 40% ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากค่าความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์เฉลี่ยสำหรับกรณี BAR 20% มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่ากรณี BAR 0% และ 40% ดังนี้คือ 12.23%wb, 11.5%wb และ 11.99%wb สำหรับกรณี BAR 0, 20 และ 40% ตามลำดับ และจากรูป 5.2 พบว่าอุณหภูมิอากาศหลังออกส่วนทำระเหยสำหรับทุกกรณีคือในช่วงแรกมีค่าต่ำแล้วจะเพิ่มขึ้นจนค่อนข้างคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 3 ชั่วโมง แต่ถ้าต่อเวลาไปอีกเรื่อย ๆ อุณหภูมิที่จุดนี้ก็มักจะเพิ่มขึ้นอีกคือมีแนวโน้มเหมือนกับอุณหภูมิอากาศที่จุดก่อนเข้า เพราะอุณหภูมิของทุกจุดในระบบนี้จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ถ้าต่อเวลาเพิ่มขึ้นไปอีก

และพบว่าอุณหภูมิอากาศหลังออกส่วนทำระเหย กรณี BAR 0%, 20% และ 40% มีค่าเฉลี่ย คือ 34.66 °C, 33.93 °C และ 30.81 °C ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณอากาศที่ผ่านส่วนทำระเหยของปั๊มความร้อนมีค่าน้อยลงจึงทำให้อุณหภูมิหลังออกส่วนทำระเหยมีค่าต่ำลง ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการติดตั้งเทอร์โมไซฟอนนี้ค่า BAR ทำให้ อุณหภูมิอากาศหลังออกส่วนทำระเหยมีค่าต่ำลง ในขณะที่ค่าความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ก็มีผลต่ออุณหภูมิอากาศก่อนเข้าส่วนทำระเหยด้วย ผลของ BAR สำหรับระบบการอบแห้งชนิดปั๊มความร้อนก่อนติดตั้งเทอร์โมไซฟอน

ข. ผลของ BAR สำหรับระบบการอบแห้งชนิดปั๊มความร้อนหลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอน

จากรูป 5.1 พบว่าอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าส่วนทำระเหยในกรณี BAR 0%, 20% และ 40% มีค่าเฉลี่ย คือ 41.89 °C, 41.36 °C และ 40.59 °C ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์เฉลี่ยใกล้เคียงกัน คือ 12.78%wb, 12.82%wb และ 13.04%wb ตามลำดับ และจากรูป 5.2 พบว่าอุณหภูมิอากาศหลังออกส่วนทำระเหยในกรณี BAR 0%, 20% และ 40% มีค่าเฉลี่ยคือ 34.17 °C, 33.22 °C และ 32.24 °C ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มไปตามอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าส่วนทำระเหย นั่นคือ หลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอน ค่า BAR ที่เพิ่มขึ้นทำให้ อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าและหลังเข้าส่วนทำระเหยมีค่าต่ำลง

ค. ผลของเทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดปั๊มความร้อนในกรณี BAR 0%

จากรูป 5.1 และ 5.2 พบว่าก่อนติดตั้งเทอร์โมไซฟอนอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าและหลังออกส่วนทำระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 44.40 °C และ 34.66 °C ตามลำดับ ลดลง 9.74 °C หลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแล้ว อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าและหลังออกส่วนทำระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 41.89 °C และ 34.17 °C ตามลำดับ ลดลง 7.72 °C

ง. ผลของเทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดปั๊มความร้อนในกรณี BAR 20%

จากรูป 5.1 และ 5.2 พบว่าก่อนติดตั้งเทอร์โมไซฟอนอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าและหลังออกส่วนทำระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 45.51 °C และ 33.93 °C ตามลำดับ ลดลง 11.58 °C หลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแล้ว อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าและหลังออกส่วนทำระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 41.36 °C และ 33.22 °C ตามลำดับ ลดลง 8.14 °C

จ. ผลของเทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดปั๊มความร้อนในกรณี BAR 40%

จากรูป 5.1 และ 5.2 พบว่าก่อนติดตั้งเทอร์โมไซฟอนอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าและหลังออกส่วนทำระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 43.81 °C และ 30.81 °C ตามลำดับ ลดลง 13.00 °C หลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแล้ว อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าและหลังออกส่วนทำระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 40.59 °C และ 32.24 °C ตามลำดับ ลดลง 8.35 °C

ซึ่งได้ผลที่มีแนวโน้มเดียวกับ สาขา ไหวนเคลื่อน (2540) ที่มีการใช้เทอร์โมไซฟอนแบบ 4 ลูบ และ 8 ลูบ กับส่วนทำระเหยของระบบควบคุมสภาวะอากาศห้อง แล้วพบว่าการใช้เทอร์โมไซฟอนทั้งแบบ 4 ลูบ และ 8 ลูบ นี้จะทำให้อากาศก่อนเข้าส่วนทำระเหยมีอุณหภูมิต่ำกว่าและความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า และทำให้ อากาศหลังออกส่วนทำระเหยมีอุณหภูมิต่ำกว่าและความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าก่อนติดตั้งเทอร์โมไซฟอน

นั่นคือเมื่อมีการใช้เทอร์โมไซฟอนแล้วทำให้อากาศก่อนเข้าส่วนทำระเหยของปั๊มความร้อนมี อุณหภูมิต่ำลงในทุกกรณี BAR เช่นต่ำลง 2.51 °C, 4.15 °C และ 3.22 °C สำหรับกรณี BAR.0%, 20% และ 40% ตามลำดับ และไม่มีผลต่ออุณหภูมิของอากาศหลังออกส่วนทำระเหยของปั๊มความร้อน

5.1.1.2 อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าและหลังออกเครื่องอบแห้ง

ก. ผลของ BAR สำหรับระบบการอบแห้งชนิดบีบความร้อนก่อนติดตั้งเทอร์โมไซฟอน

รูป 5.3 และ 5.4 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่ออุณหภูมิอากาศก่อนเข้าและหลังออกเครื่องอบแห้งที่เวลาต่าง ๆ จากรูป 5.3 พบว่าอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอบแห้งมีแนวโน้มเหมือนกับอากาศจุดหลังออกส่วนทำระเหยของบีบความร้อนในรูป 5.2 โดยมีค่าเฉลี่ยคือ 53.85 °C, 53.91 °C และ 53.5 °C สำหรับในกรณี BAR 0%, 20% และ 40% ตามลำดับ และจากรูป 5.4 พบว่าอุณหภูมิอากาศหลังออกเครื่องอบแห้ง มีแนวโน้มเหมือนกับอากาศจุดก่อนเข้าส่วนทำระเหยของบีบความร้อนในรูป 5.1 โดยมีค่าเฉลี่ยในกรณี BAR 0%, 20% และ 40% คือ 42.62 °C, 44.27 °C และ 42.11 °C ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากค่าความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์เฉลี่ยสำหรับกรณี BAR 20% มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่ากรณี BAR 0% และ 40% ดังนี้คือ 12.23%wb, 11.5%wb และ 11.99%wb สำหรับกรณี BAR. 0, 20 และ 40% ตามลำดับ จึงทำให้อุณหภูมิอากาศหลังออกเครื่องอบแห้งในกรณี BAR 20% มีค่าสูงกว่ากรณีอื่น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าก่อนติดตั้งเทอร์โมไซฟอนนี้ค่า BAR ไม่มีผลกับอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าและหลังออกเครื่องอบแห้ง ในขณะที่ค่าความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์มีผลต่ออุณหภูมิอากาศหลังออกเครื่องอบแห้ง

ข. ผลของ BAR สำหรับระบบการอบแห้งชนิดบีบความร้อนหลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอน

จากรูป 5.3 พบว่าอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอบแห้งในกรณี BAR 0%, 20% และ 40% มีค่าเฉลี่ยคือ 53.79 °C, 54.29 °C และ 55.04 °C ตามลำดับ และจากรูป 5.4 พบว่าอุณหภูมิอากาศหลังออกเครื่องอบแห้งในกรณี BAR 0%, 20% และ 40% มีค่าเฉลี่ยคือ 42.73 °C, 43.27 °C และ 42.98 °C ตามลำดับ นั่นคือ หลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอน ค่า BAR ไม่มีผลกับอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าและหลังออกเครื่องอบแห้ง

ค. ผลของเทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดบีบความร้อนในกรณี BAR 0%

จากรูป 5.3 และ 5.4 พบว่าก่อนติดตั้งเทอร์โมไซฟอนอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าและหลังออกเครื่องอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 53.85 °C และ 42.62 °C ตามลำดับ ลดลง 11.23 °C หลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแล้ว อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าและหลังออกเครื่องอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 53.79 °C และ 42.73 °C ตามลำดับ ลดลง 11.06 °C

ง. ผลของเทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดบีบความร้อนในกรณี BAR 20%

จากรูป 5.3 และ 5.4 พบว่าก่อนติดตั้งเทอร์โมไซฟอนอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าและหลังออกเครื่องอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 53.91 °C และ 44.27 °C ตามลำดับ ลดลง 9.64 °C หลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแล้ว อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าและหลังออกเครื่องอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 54.29 °C และ 43.27 °C ตามลำดับ ลดลง 11.02 °C

จ. ผลของเทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดบีบความร้อนในกรณี BAR 40%

จากรูป 5.3 และ 5.4 พบว่าก่อนติดตั้งเทอร์โมไซฟอนอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าและหลังออกเครื่องอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 53.50 °C และ 42.11 °C ตามลำดับ ลดลง 11.39 °C หลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแล้ว อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าและหลังออกเครื่องอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 55.04 °C และ 42.98 °C ตามลำดับ ลดลง 12.06 °C

นั่นคือ เมื่อมีการใช้เทอร์โมไซฟอนแล้วไม่มีผลต่ออุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าและหลังออกเครื่องอบแห้งในทุกกรณีของ BAR

5.1.2 ความชื้นสัมพัทธ์ของการอบแห้งชนิดบีบความร้อน

5.1.2.1 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเข้าและหลังออกส่วนทำระเหย

ก. ผลของ BAR สำหรับระบบการอบแห้งชนิดบีบความร้อนก่อนติดตั้งเทอร์โมไฮฟอน

รูป 5.5 และ 5.6 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไฮฟอน ที่มีต่อความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าและหลังออกส่วนทำระเหยของบีบความร้อนที่เวลาต่าง ๆ จากรูป 5.5 พบว่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าส่วนทำระเหยสำหรับทุกกรณีคือในช่วงแรกมีค่าสูงแล้วจะลดลงเรื่อย ๆ แต่ช่วงท้ายจะลดลงด้วยอัตราที่น้อยกว่า และพบว่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าส่วนทำระเหยสำหรับกรณี BAR 20% มีค่าต่ำกว่าที่ BAR 0% และ 40% ซึ่งทั้ง 2 กรณีนี้มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ย คือ 50.61 %RH, 45.81 %RH และ 50.07 %RH สำหรับในกรณี BAR 0%, 20% และ 40% ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากค่าความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์เฉลี่ยสำหรับกรณี BAR 20% มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่ากรณี BAR 0% และ 40% จากรูป 5.6 พบว่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศหลังออกส่วนทำระเหย สำหรับทุกกรณีคือในช่วงแรกมีค่าสูงแล้วจะลดลงเรื่อย ๆ แต่ถ้าต่อเวลาไปอีกความชื้นสัมพัทธ์ที่จุดนี้ก็จะน่าจะลดลงไปอีกคือมีแนวโน้มเหมือนกับความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่จุดก่อนเข้าเพราะความชื้นเข้ามาเปลี่ยนจะลดลงเรื่อย ๆ ถ้าต่อเวลาเพิ่มขึ้นไปอีก และความชื้นสัมพัทธ์อากาศหลังออกส่วนทำระเหย กรณี BAR 0%, 20% และ 40% มีค่าเฉลี่ย คือ 73.24 %RH, 71.37 %RH และ 75.12 %RH ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณอากาศที่ผ่านส่วนทำระเหยมีค่าน้อยลงจึงทำให้ความชื้นสัมพัทธ์หลังออกส่วนทำระเหยมีค่าสูงขึ้นในกรณี BAR 0% และ 40% ในขณะที่ค่าความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์มีผลต่อความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าและหลังออกส่วนทำระเหยด้วยในกรณี BAR 20%

ข. ผลของ BAR สำหรับระบบการอบแห้งชนิดบีบความร้อนหลังติดตั้งเทอร์โมไฮฟอน

จากรูป 5.5 พบว่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าส่วนทำระเหยในกรณี BAR 0%, 20% และ 40% มีค่าเฉลี่ยคือ 53.73 %RH, 54.64 %RH และ 58.80 %RH ตามลำดับ และจากรูป 5.6 พบว่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศหลังออกส่วนทำระเหยในกรณี BAR 0%, 20% และ 40% มีค่าเฉลี่ยคือ 68.82 %RH, 70.62 %RH และ 73.98 %RH ตามลำดับ นั่นคือ หลังติดตั้งเทอร์โมไฮฟอน ค่า BAR ที่เพิ่มขึ้นทำให้ความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าและหลังเข้าส่วนทำระเหยมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณอากาศที่ผ่านส่วนทำระเหยของบีบความร้อนมีค่าน้อยลง

ค. ผลของเทอร์โมไฮฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดบีบความร้อนในกรณี BAR 0%

จากรูป 5.5 และ 5.6 พบว่าก่อนติดตั้งเทอร์โมไฮฟอนความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าและหลังออกส่วนทำระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 50.61 %RH และ 73.24 %RH ตามลำดับ หลังติดตั้งเทอร์โมไฮฟอนแล้วความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าและหลังออกส่วนทำระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 53.73 %RH และ 68.82 %RH ตามลำดับ

ง. ผลของเทอร์โมไฮฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดบีบความร้อนในกรณี BAR 20%

จากรูป 5.5 และ 5.6 พบว่าก่อนติดตั้งเทอร์โมไฮฟอนความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าและหลังออกส่วนทำระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 45.81 %RH และ 71.37 %RH ตามลำดับ หลังติดตั้งเทอร์โมไฮฟอนแล้ว

ความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าและหลังออกส่วนทำระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 54.64 %RH และ 70.62 %RH ตามลำดับ

จ. ผลของเทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดบีบความร้อนในกรณี BAR 40%

จากรูป 5.5 และ 5.6 พบว่าก่อนติดตั้งเทอร์โมไซฟอนความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าและหลังออกส่วนทำระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 50.07 %RH และ 75.12 %RH ตามลำดับ หลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแล้วความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าและหลังออกส่วนทำระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 58.80 %RH และ 73.98 %RH ตามลำดับ

จากข้อมูลของ สาขา ไหวนเคลื่อน (2540) ที่มีการใช้เทอร์โมไซฟอนแบบ 4 ลูบ และ 8 ลูบ กับส่วนทำระเหยของระบบควบคุมสภาวะอากาศห้อง พบว่าการใช้เทอร์โมไซฟอนทั้งแบบ 4 ลูบ และ 8 ลูบ นี้ จะทำให้อากาศก่อนเข้าส่วนทำระเหยมีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าซึ่งผลที่ได้เป็นไปในทำนองเดียวกันกับงานวิจัยครั้งนี้ และทำให้อากาศหลังออกส่วนทำระเหยมีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าก่อนติดตั้งเทอร์โมไซฟอนซึ่งผลที่ได้ขัดแย้งกับงานวิจัยครั้งนี้ ทั้งนี้เนื่องจากเทอร์โมไซฟอนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ยังทำการ precool อากาศได้ไม่มากเท่ากับงานวิจัยของสาขา ไหวนเคลื่อน (2540)

นั่นคือ เมื่อมีการใช้เทอร์โมไซฟอนแล้วทำให้อากาศก่อนเข้าส่วนทำระเหยมีความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น คือสูงขึ้น 3.12%RH, 8.83%RH และ 8.73 %RH สำหรับกรณี BAR.0%, 20% และ 40% ตามลำดับ และทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหลังออกส่วนทำระเหยของบีบความร้อนมีค่าต่ำลง 4.42%RH, 0.75%RH และ 1.14 %RH สำหรับกรณี BAR.0%, 20% และ 40% ตามลำดับ

5.1.2.2 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเข้าและหลังออกเครื่องอบแห้ง

ก. ผลของ BAR สำหรับระบบการอบแห้งชนิดบีบความร้อนก่อนติดตั้งเทอร์โมไซฟอน

รูป 5.7 และ 5.8 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่อความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าและหลังออกเครื่องอบแห้งที่เวลาต่าง ๆ จากรูป 5.7 พบว่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าเครื่องอบแห้งสำหรับทุกกรณีคือในช่วงแรกมีค่าประมาณ 30-40%RH แล้วจะลดลงเรื่อย ๆ ในช่วงท้ายจะมีค่าค่อนข้างคงที่คือประมาณ 20%RH และพบว่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าเครื่องอบแห้งสำหรับกรณี BAR 0%, 20% และ 40% มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ย คือ 27.54 %RH, 26.82 %RH และ 26.54 %RH ตามลำดับ จากรูป 5.8 พบว่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศหลังออกเครื่องอบแห้งสำหรับทุกกรณีคือในช่วงแรกมีค่าสูงแล้วจะลดลงเรื่อย ๆ แต่ถ้าวเวลาไปอีก ความชื้นสัมพัทธ์ที่จุดนี้ก็น่าจะลดลงไปอีกคือมีแนวโน้มเหมือนกับความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่จุดก่อนเข้าส่วนทำระเหยในรูป 5.5 เพราะความชื้นข้าวเปลือกจะลดลงเรื่อย ๆ ถ้าวเวลาเพิ่มขึ้นไปอีก และความชื้นสัมพัทธ์อากาศหลังออกเครื่องอบแห้ง กรณี BAR 0%, 20% และ 40% มีค่าเฉลี่ย คือ 57.36 %RH, 50.86 %RH และ 56.85 %RH ตามลำดับ ทั้งนี้สำหรับกรณี BAR 20% ที่มีค่าน้อยนี้อาจเนื่องมาจากค่าความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์เฉลี่ยสำหรับกรณี BAR 20% มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่ากรณี BAR 0% และ 40%

ข. ผลของ BAR สำหรับระบบการอบแห้งชนิดบีบความร้อนหลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอน

จากรูป 5.7 พบว่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าเครื่องอบแห้งในกรณี BAR 0%, 20% และ 40% มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยคือ 25.56 %RH, 24.85 %RH และ 25.14 %RH ตามลำดับ และจากรูป 5.8

พบว่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศหลังออกเครื่องอบแห้งในกรณี BAR 0%, 20% และ 40% มีค่าเฉลี่ยคือ 55.24 %RH, 53.70 %RH และ 55.94 %RH ตามลำดับ

ค. ผลของเทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดบีบความร้อนในกรณี BAR 0%

จากรูป 5.7 และ 5.8 พบว่าก่อนติดตั้งเทอร์โมไซฟอนความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าและหลังออกเครื่องอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 27.54 %RH และ 57.36 %RH ตามลำดับ หลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแล้วความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าและหลังออกเครื่องอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 25.56 %RH และ 55.24 %RH ตามลำดับ

ง. ผลของเทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดบีบความร้อนในกรณี BAR 20%

จากรูป 5.7 และ 5.8 พบว่าก่อนติดตั้งเทอร์โมไซฟอนความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าและหลังออกเครื่องอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 26.82 %RH และ 50.86 %RH ตามลำดับ หลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแล้วความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าและหลังออกเครื่องอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 24.85 %RH และ 53.70 %RH ตามลำดับ

จ. ผลของเทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดบีบความร้อนในกรณี BAR 40%

จากรูป 5.7 และ 5.8 พบว่าก่อนติดตั้งเทอร์โมไซฟอนความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าและหลังออกเครื่องอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 26.54 %RH และ 56.85 %RH ตามลำดับ หลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแล้วความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าและหลังออกเครื่องอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 25.14 %RH และ 55.94 %RH ตามลำดับ

นั่นคือ เมื่อมีการใช้เทอร์โมไซฟอนแล้วไม่มีผลต่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเข้าและหลังออกเครื่องอบแห้งในทุกกรณีของ BAR

5.2 ค่าสมรรถนะต่าง ๆ ของระบบอบแห้งชนิดบีบความร้อน

เนื่องจากในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้เกี่ยวข้องกับทั้งเครื่องอบแห้งและบีบความร้อน ดังนั้นจึงต้องมีค่าสมรรถนะต่าง ๆ เพื่อใช้ประเมินทั้งในส่วนเครื่องอบแห้งและบีบความร้อน คือ ค่าสัมประสิทธิ์เชิงสมรรถนะ (COP) ใช้เพื่อประเมินในส่วนบีบความร้อน และ ค่าอัตราปริมาณน้ำกลั่นตัวจำเพาะที่ส่วนทำระเหย (SMCR), ค่าอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER) และ ค่าประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง (DE) จะใช้เพื่อประเมินในส่วนเครื่องอบแห้ง นอกจากนี้ยังมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของส่วนบีบความร้อนและของเครื่องทำความร้อน ในการที่จะประเมินการประหยัดพลังงานของระบบ

5.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์เชิงสมรรถนะ

ก. ผลของ BAR สำหรับระบบการอบแห้งชนิดบีบความร้อนก่อนติดตั้งเทอร์โมไซฟอน

รูป 5.9 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์เชิงสมรรถนะที่เวลาต่าง ๆ จากรูปพบว่าค่าสัมประสิทธิ์เชิงสมรรถนะของระบบในช่วงเวลาเริ่มต้นของการทดลองในทุก ๆ เดือน ไขมี

ค่าสูง หลังจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงจนค่อนข้างคงที่ไปตลอดหลังจากเวลาประมาณ 3 ชม. ซึ่งเป็นไปตามแนวโน้มของ kWhp. ในรูปที่ 5.13 ซึ่งในช่วงแรก ๆ นั้นอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยยังมีค่าต่ำอยู่จึงทำให้ kWhp. ในช่วงนี้มีค่าน้อย และพบอีกว่า COPhp. กรณี BAR 0%, 20% และ 40% มีค่าเฉลี่ย คือ 2.68, 2.58 และ 2.87 ตามลำดับ ซึ่งในกรณี BAR 40% มีค่าสูงกว่าที่ BAR 0% และ 20% แต่ของกรณี BAR 20% ที่ต่ำกว่ากรณี BAR 0% นี้ อาจเนื่องมาจากค่าความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์เฉลี่ยในกรณี BAR 20% มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าในกรณี BAR 0% และ 40% ดังนี้ คือ 12.23%wb, 11.5%wb และ 11.99%wb สำหรับกรณี BAR 0, 20 และ 40% ตามลำดับ ซึ่งการที่ค่าความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์น้อยนี้ เป็นผลให้ Qevap น้อยลงทำให้ Qcond น้อยลงด้วย จึงทำให้ได้ค่า COPhp น้อยลง ดังนั้นจะเห็นได้ว่าที่ก่อนติดตั้งเทอร์โมไซฟอนนี้ ค่าความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์มีผลต่อค่า COPhp. ของระบบ

ข. ผลของ BAR สำหรับระบบการอบแห้งชนิดป้อนความร้อนหลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอน

จากรูป 5.9 พบว่า COPhp. กรณี BAR 0%, 20% และ 40% มีค่าเฉลี่ย คือ 2.53, 2.47 และ 2.65 ตามลำดับ ซึ่งในกรณี BAR 40% มีค่าสูงกว่าที่ BAR 0% และ 20% ซึ่งทั้งสองค่านี้ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าที่หลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนนี้ ค่า BAR ไม่มีผลมากนักต่อค่า COPhp. ของระบบ

ค. ผลของเทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดป้อนความร้อนในกรณี BAR 0%

จากรูป 5.9 พบว่าค่า COPhp. เฉลี่ยก่อนและหลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนเท่ากับ 2.68 และ 2.53 ตามลำดับ ดังนั้นในกรณี BAR 0% นี้ ค่า COPhp. ของระบบหลังจากติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแล้วมีค่าลดลง 5.6%

ง. ผลของเทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดป้อนความร้อนในกรณี BAR 20%

จากรูป 5.9 พบว่าค่า COPhp. เฉลี่ยก่อนและหลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนเท่ากับ 2.58 และ 2.47 ตามลำดับ ดังนั้นในกรณี BAR 20% นี้ ค่า COPhp. ของระบบหลังจากติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแล้วมีค่าลดลง 4.3%

จ. ผลของเทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดป้อนความร้อนในกรณี BAR 40%

จากรูป 5.9 พบว่าค่า COPhp. เฉลี่ยก่อนและหลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนเท่ากับ 2.87 และ 2.65 ตามลำดับ ดังนั้นในกรณี BAR 40% นี้ ค่า COPhp. ของระบบหลังจากติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแล้วมีค่าลดลง 7.7%

จากข้อมูลของ สารโซล ไทวเคลชั่น (2540) ที่มีการใช้เทอร์โมไซฟอนแบบ 4 ลูบ และ 8 ลูบ กับส่วนทำระเหยของระบบควบคุมสถานะอากาศห้อง แล้วพบว่าการใช้เทอร์โมไซฟอนทั้งแบบ 4 ลูบ และ 8 ลูบ นี้จะทำให้ COPrefrig. ลดลงคิดเป็น 19.4% และ 32.6% ตามลำดับ ซึ่งได้ผลเป็นแนวโน้มเดียวกันกับการศึกษาครั้งนี้

นั่นคือ เมื่อมีการใช้เทอร์โมไซฟอนแล้วทำให้ค่า COPhp. ของระบบต่ำลงในทุกกรณี BAR ซึ่งเป็นผลมาจากเมื่อติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแล้วทำให้อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าส่วนทำระเหยต่ำลง เป็นผลให้ Qevap. น้อยลงทำให้ Qcond. น้อยลงด้วย จึงทำให้ได้ค่า COPhp. น้อยลง โดยมีค่าดังนี้คือ เมื่อมีการใช้เทอร์โมไซฟอนแล้วทำให้ COPhp. น้อยลง 5.6%, 4.3% และ 7.7% สำหรับกรณี BAR.0%, 20% และ 40% ตามลำดับ

5.2.2 ค่าอัตราปริมาณน้ำกลั่นตัวจำเพาะที่ส่วนทำระเหยของป้อนความร้อน (SMCR)

ก. ผลของ BAR สำหรับระบบการอบแห้งชนิดป้อนความร้อนก่อนติดตั้งเทอร์โมไซฟอน

รูป 5.10 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่อค่าอัตราปริมาณน้ำกลั่นตัวจำเพาะที่ส่วนทำระเหยที่เวลาต่าง ๆ จากรูปพบว่าค่า SMCR ของระบบในช่วงเวลาเริ่มต้นของการทดลองในทุก ๆ เงื่อนไข

มีค่าต่ำ หลังจากนั้นจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิการอบแห้งที่สูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่เวลาการอบแห้งประมาณ 1.5 ชม หลังจากนั้นก็จะลดลง เนื่องจากความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงเรื่อย ๆ และพบว่า SMCR กรณี BAR 0%, 20% และ 40% มีค่าเฉลี่ย คือ 1.01, 0.96 และ 1.18 $\text{kg}_{\text{water}} / \text{kWh}$ ตามลำดับ ซึ่งในกรณี BAR 40% มีค่าสูงกว่าที่ BAR 0% และ 20% ซึ่งทั้งสองค่านี้ใกล้เคียงกัน อาจเนื่องมาจากค่าความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์เฉลี่ยสำหรับกรณี BAR 20% มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่ากรณี BAR 0% และ 40% ซึ่งการที่ค่าความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์น้อยนี้ ทำให้ได้ปริมาณน้ำกลั่นตัวที่ส่วนทำระเหยน้อยลง

ข. ผลของ BAR สำหรับระบบการอบแห้งชนิดบีบความร้อนหลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอน

จากรูป 5.10 พบว่า SMCR กรณี BAR 0%, 20% และ 40% มีค่าเฉลี่ย คือ 0.99, 1.15 และ 1.31 $\text{kg}_{\text{water}} / \text{kWh}$ ตามลำดับ คือเมื่อค่า BAR เพิ่มขึ้นแล้วจะทำให้ SMCR มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย

ค. ผลของเทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดบีบความร้อนในกรณี BAR 0%

จากรูป 5.10 พบว่าค่า SMCR เฉลี่ยก่อนและหลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนเท่ากับ 1.01 และ 0.99 $\text{kg}_{\text{water}} / \text{kWh}$ ตามลำดับ

ง. ผลของเทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดบีบความร้อนในกรณี BAR 20%

จากรูป 5.10 พบว่าค่า SMCR เฉลี่ยก่อนและหลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนเท่ากับ 0.96 และ 1.15 $\text{kg}_{\text{water}} / \text{kWh}$ ตามลำดับ ดังนั้นในกรณี BAR 20% นี้ ค่า SMCR ของระบบหลังจากติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแล้วมีค่าเพิ่มขึ้น 19.8%

จ. ผลของเทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดบีบความร้อนในกรณี BAR 40%

จากรูป 5.10 พบว่าค่า SMCR เฉลี่ยก่อนและหลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนเท่ากับ 1.18 และ 1.31 $\text{kg}_{\text{water}} / \text{kWh}$ ตามลำดับ ดังนั้นในกรณี BAR 40% นี้ ค่า SMCR ของระบบหลังจากติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแล้วมีค่าเพิ่มขึ้น 11%

นั่นคือ เมื่อมีการใช้เทอร์โมไซฟอนแล้วทำให้ค่า SMCR ของระบบสูงขึ้น 19.8% และ 11% สำหรับกรณี BAR 20% และ 40% ตามลำดับ

5.2.3 ค่าอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER)

ก. ผลของ BAR สำหรับระบบการอบแห้งชนิดบีบความร้อนก่อนติดตั้งเทอร์โมไซฟอน

รูป 5.11 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่อค่าอัตราการระเหยน้ำจำเพาะที่เวลาต่าง ๆ จากรูปพบว่าค่า SMER ของระบบในช่วงเวลาเริ่มต้นของการทดลองในทุก ๆ เงื่อนไขมีค่าต่ำ หลังจากนั้นจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิการอบแห้งที่สูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่เวลาการอบแห้งประมาณ 2 ชม หลังจากนั้นก็จะลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงเรื่อย ๆ และพบว่าค่า SMER กรณี BAR 0%, 20% และ 40% มีค่าเฉลี่ย คือ 1.16, 0.89 และ 1.29 $\text{kg}_{\text{water}} / \text{kWh}$ ตามลำดับ ซึ่งในกรณี BAR 40% มีค่าสูงกว่าที่ BAR 0% และ 20% แต่ของกรณี BAR 20% ที่ต่ำกว่ากรณี BAR 0% นี้ อาจเนื่องมาจากค่าความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์เฉลี่ยสำหรับกรณี BAR 20% มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่ากรณี BAR 0% และ 40% ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกับค่า SMCR

- ข. ผลของ BAR สำหรับระบบการอบแห้งชนิดบีบความร้อนหลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอน
จากรูป 5.11 พบว่า SMER กรณี BAR 0%, 20% และ 40% มีค่าเฉลี่ย คือ 1.22, 1.40 และ 1.40 $\text{kg}_{\text{water}} / \text{kWh}$ ตามลำดับ
- ค. ผลของเทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดบีบความร้อนในกรณี BAR 0%
จากรูป 5.11 พบว่าค่า SMER เฉลี่ยก่อนและหลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนเท่ากับ 1.16 และ 1.22 $\text{kg}_{\text{water}} / \text{kWh}$ ตามลำดับ ดังนั้นในกรณี BAR 0% นี้ ค่า SMER ของระบบหลังจากติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแล้วมีค่าเพิ่มขึ้น 5.2%
- ง. ผลของเทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดบีบความร้อนในกรณี BAR 20%
จากรูป 5.11 พบว่าค่า SMER เฉลี่ยก่อนและหลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนเท่ากับ 0.89 และ 1.40 $\text{kg}_{\text{water}} / \text{kWh}$ ตามลำดับ ดังนั้นในกรณี BAR 20% นี้ ค่า SMER ของระบบหลังจากติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแล้วมีค่าเพิ่มขึ้น 57.3%
- จ. ผลของเทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดบีบความร้อนในกรณี BAR 40%
จากรูป 5.11 พบว่าค่า SMER เฉลี่ยก่อนและหลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนเท่ากับ 1.29 และ 1.40 $\text{kg}_{\text{water}} / \text{kWh}$ ตามลำดับ ดังนั้นในกรณี BAR 40% นี้ ค่า SMER ของระบบหลังจากติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแล้วมีค่าเพิ่มขึ้น 8.53%
- นั่นคือ เมื่อมีการใช้เทอร์โมไซฟอนแล้วทำให้ค่า SMER ของระบบสูงขึ้น 5.2%, 57.3% และ 8.53% สำหรับกรณี BAR 0%, 20% และ 40% ตามลำดับ

5.2.4 ค่าประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง (DE)

- ก. ผลของ BAR สำหรับระบบการอบแห้งชนิดบีบความร้อนก่อนติดตั้งเทอร์โมไซฟอน
รูป 5.12 แสดงผลของค่า DE ของระบบในช่วงเวลาเริ่มต้นของการทดลองในทุก ๆ เงื่อนไขมีค่าสูง หลังจากนั้นจะลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงเรื่อย ๆ คล้ายกันกับในกรณีของ SMCR และ SMER ในช่วงที่ผ่านจุดสูงสุดมาแล้ว และพบว่าค่า DE กรณี BAR 0%, 20% และ 40% มีค่าเฉลี่ย คือ 0.446, 0.343 และ 0.471 ตามลำดับ ซึ่งในกรณีที่ BAR 0% และ 40% มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ของกรณี BAR 20% ที่ต่ำกว่านี้ เนื่องมาจากค่าความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์เฉลี่ยสำหรับกรณี BAR 20% มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่ากรณี BAR 0% และ 40% ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกับค่า SMCR และ SMER
- ข. ผลของ BAR สำหรับระบบการอบแห้งชนิดบีบความร้อนหลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอน
จากรูป 5.12 พบว่า DE กรณี BAR 0%, 20% และ 40% มีค่าเฉลี่ย คือ 0.445, 0.493 และ 0.506 ตามลำดับ คือที่หลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนนี้เมื่อค่า BAR เพิ่มขึ้นแล้วจะทำให้ DE มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย
- ค. ผลของเทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดบีบความร้อนในกรณี BAR 0%
จากรูป 5.12 พบว่าค่า DE เฉลี่ยก่อนและหลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนเท่ากับ 0.446 และ 0.445 ตามลำดับ

ง. ผลของเทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดบีบความร้อนในกรณี BAR 20%

จากรูป 5.12 พบว่าค่า DE เฉลี่ยก่อนและหลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนเท่ากับ 0.343 และ 0.493 ตามลำดับ ดังนั้นในกรณี BAR 20% นี้ ค่า DE ของระบบหลังจากติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแล้วมีค่าเพิ่มขึ้น 43.7%

จ. ผลของเทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดบีบความร้อนในกรณี BAR 40%

จากรูป 5.12 พบว่าค่า DE เฉลี่ยก่อนและหลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนเท่ากับ 0.471 และ 0.506 ตามลำดับ ดังนั้นในกรณี BAR 40% นี้ ค่า DE ของระบบหลังจากติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแล้วมีค่าเพิ่มขึ้น 7.43%

นั่นคือ เมื่อมีการใช้เทอร์โมไซฟอนแล้วทำให้ค่า DE ของระบบสูงขึ้น 43.7% และ 7.43% สำหรับกรณี BAR 20% และ 40% ตามลำดับ

5.2.5 ค่าพลังงานไฟฟ้า

5.2.5.1 ค่าพลังงานไฟฟ้าของระบบบีบความร้อน (kWhp.)

ก. ผลของ BAR สำหรับระบบการอบแห้งชนิดบีบความร้อนก่อนติดตั้งเทอร์โมไซฟอน

รูป 5.13 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่อค่าพลังงานไฟฟ้าของระบบบีบความร้อนที่เวลาต่าง ๆ จากรูปพบว่า kWhp กรณี BAR 0%, 20% และ 40% มีค่าเฉลี่ย คือ 3.28, 3.23 และ 3.02 ตามลำดับ ซึ่งในกรณีที่ BAR 0% และ 20% มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ของกรณี BAR 40% มีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย และจะเห็นได้ว่า ค่า kWhp. ของระบบในช่วงเวลาเริ่มต้นของการทดลองในทุก ๆ เงื่อนไขมีค่าต่ำ หลังจากนั้นจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนค่อนข้างคงที่หลังจากเวลาประมาณ 2 ชม. ซึ่งเป็นเพราะในช่วงแรก ๆ นี้ อุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยยังมีค่าต่ำอยู่จึงทำให้ kWhp. ในช่วงนี้มีค่าน้อย

ข. ผลของ BAR สำหรับระบบการอบแห้งชนิดบีบความร้อนหลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอน

จากรูป 5.13 พบว่า kWhp กรณี BAR 0%, 20% และ 40% มีค่าเฉลี่ย คือ 3.29, 3.25 และ 3.19 ตามลำดับ

ค. ผลของเทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดบีบความร้อนในกรณี BAR 0%

จากรูป 5.13 พบว่าค่า kWhp เฉลี่ยก่อนและหลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนเท่ากับ 3.28 และ 3.29 ตามลำดับ หรือเพิ่มขึ้นคิดเป็น 0.3%

ง. ผลของเทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดบีบความร้อนในกรณี BAR 20%

จากรูป 5.13 พบว่าค่า kWhp เฉลี่ยก่อนและหลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนเท่ากับ 3.23 และ 3.25 ตามลำดับ หรือเพิ่มขึ้นคิดเป็น 0.6%

จ. ผลของเทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดบีบความร้อนในกรณี BAR 40%

จากรูป 5.13 พบว่าค่า kWhp เฉลี่ยก่อนและหลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนเท่ากับ 3.02 และ 3.19 ตามลำดับ หรือเพิ่มขึ้นคิดเป็น 5.6% ซึ่งกรณี BAR 40% นี้จะเห็นผลการ reheat ของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบได้ชัดเจนมากขึ้น คืออุณหภูมิอากาศก่อนเข้าส่วนควบแน่นของบีบความร้อนจะสูงกว่าก่อนติดตั้งเทอร์โมไซฟอนเป็นผลให้การถ่ายเทความร้อนที่ส่วนควบแน่นของบีบความร้อนทำได้ไม่ดี ดังนั้น kWhp จึงเพิ่มขึ้น

จากข้อมูลของ สาโรช ไหวเคลื่อน (2540) ที่มีการใช้เทอร์โมไซฟอนแบบ 4 ลูบ และ 8 ลูบ กับส่วนทำระเหยของระบบควบคุมสภาวะอากาศห้อง แล้วพบว่าการใช้เทอร์โมไซฟอนทั้งแบบ 4 ลูบ และ 8 ลูบ นี้จะทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ เพิ่มขึ้นคิดเป็น 3.2% และ 9.6% ตามลำดับ

นั่นคือ เมื่อมีการใช้เทอร์โมไซฟอนแล้วทำให้ค่า kWhp. ของระบบเพิ่มขึ้นเล็กน้อย คือเพิ่มขึ้น 0.3%, 0.6% และ 5.6% สำหรับกรณี BAR 0%, 20% และ 40% ตามลำดับ

5.2.5.2 ค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำความร้อน (kWheater)

ก. ผลของ BAR สำหรับระบบการอบแห้งชนิดบีบความร้อนก่อนติดตั้งเทอร์โมไซฟอน

รูป 5.14 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่อค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำความร้อนที่เวลาต่าง ๆ จากรูปพบว่า kWheater กรณี BAR 0%, 20% และ 40% มีค่าเฉลี่ย คือ 2.76, 2.84 และ 2.84 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 3 กรณี BAR และจะเห็นได้ว่า ค่า kWheater ของระบบในช่วงเวลาเริ่มต้นของการทดลองในทุก ๆ เดือนไขมีค่าสูง หลังจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งเป็นเพราะว่าอุณหภูมิอากาศอบแห้งของการอบแห้งชนิดบีบความร้อนในระบบปิดนี้จะมีค่าสูงขึ้นตลอด

ข. ผลของ BAR สำหรับระบบการอบแห้งชนิดบีบความร้อนหลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอน

จากรูป 5.14 พบว่า kWheater กรณี BAR 0%, 20% และ 40% มีค่าเฉลี่ย คือ 2.97, 2.38 และ 2.17 ตามลำดับ คือที่หลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนนี้เมื่อค่า BAR เพิ่มขึ้นแล้วจะทำให้ kWheater มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อค่า BAR สูงขึ้นนี้จะทำให้มีอุณหภูมิแตกต่างระหว่างก่อนเข้าและหลังออกส่วนทำระเหยหรือ Tso และ Tsi ของเทอร์โมไซฟอนมีค่าสูงขึ้น ทำให้เห็นผลของเทอร์โมไซฟอนมากขึ้น

ค. ผลของเทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดบีบความร้อนในกรณี BAR 0%

จากรูป 5.14 พบว่าค่า kWheater เฉลี่ยก่อนและหลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนเท่ากับ 2.76 และ 2.97 ตามลำดับ

ง. ผลของเทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดบีบความร้อนในกรณี BAR 20%

จากรูป 5.14 พบว่าค่า kWheater เฉลี่ยก่อนและหลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนเท่ากับ 2.84 และ 2.38 ตามลำดับ ดังนั้นในกรณี BAR 20% นี้ ค่า kWheater ของระบบหลังจากติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแล้วมีค่าลดลง 16.2%

จ. ผลของเทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบอบแห้งชนิดบีบความร้อนในกรณี BAR 40%

จากรูป 5.14 พบว่าค่า kWheater เฉลี่ยก่อนและหลังติดตั้งเทอร์โมไซฟอนเท่ากับ 2.84 และ 2.17 ตามลำดับ ดังนั้นในกรณี BAR 40% นี้ ค่า kWheater ของระบบหลังจากติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแล้วมีค่าลดลง 23.6%

ข้อมูลของ สาโรช ไหวเคลื่อน (2540) ที่มีการใช้เทอร์โมไซฟอนแบบ 4 ลูบ และ 8 ลูบ กับส่วนทำระเหยของระบบควบคุมสภาวะอากาศห้อง แล้วพบว่าการใช้เทอร์โมไซฟอนทั้งแบบ 4 ลูบ และ 8 ลูบ นี้ จะทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำความร้อน ลดลงคิดเป็น 35.3% และ 47.1% ตามลำดับ ซึ่งได้ผลที่มีแนวโน้มเดียวกับการศึกษาครั้งนี้

นั่นคือ เมื่อมีการใช้เทอร์โมไซฟอนแล้วทำให้ค่า kWheater ของระบบลดลงในกรณี BAR.20% และ 40% กล่าวคือทำให้ kWheater ลดลง 16.2% และ 23.6% สำหรับกรณี BAR 20% และ 40% ตามลำดับ

5.2.6 ค่าการประหยัดพลังงานไฟฟ้า

จากรูปที่ 5.13 และ 5.14 กับตาราง ก.3.1, ก.3.2 และ ก.3.3 เมื่อพิจารณาถึงค่าพลังงานไฟฟ้าของระบบ บั้มความร้อน และของเครื่องทำความร้อน เพื่อจะหาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า (Electric power consumption) พบว่าเมื่อมีการใช้เทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบแล้ว ค่าkWhp ของระบบเพิ่มขึ้นไม่มากนัก ในขณะที่ ค่าkWheater ของระบบลดลงมากโดยจะเห็นได้ในกรณี BAR 20% และ 40% ดังนั้นเมื่อรวมค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของบั้มความร้อนกับของ Heater ให้เป็นค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของระบบหรือ kWsystem แล้วจะมีค่าลดลงในกรณี BAR 20% และ 40% ดังนี้คือ

สำหรับกรณี BAR 0% ค่า kWsystem เฉลี่ยของระบบหลังจากติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแล้วมีค่าเพิ่มขึ้น จาก 6.04 kW เป็น 6.26 คือเพิ่มขึ้น 0.22 kW หรือคิดเป็น 3.6%

สำหรับกรณี BAR 20% ค่า kWsystem เฉลี่ยของระบบหลังจากติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแล้วมีค่าลดลง จาก 6.07 kW เหลือ 5.63 คือลดลง 0.44 kW หรือคิดเป็น 7.2% ซึ่งเมื่อคิดที่มีการทดลอง 7 ชม. ต่อการทดลอง 1 ครั้งแล้ว จะสามารถประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบได้ 3.08 kWh ต่อ 1 การทดลอง

สำหรับกรณี BAR 40% ค่า kWsystem เฉลี่ยของระบบหลังจากติดตั้งเทอร์โมไซฟอนแล้วมีค่าลดลง จาก 5.86 kW เหลือ 5.36 คือลดลง 0.50 kW หรือคิดเป็น 8.5% ซึ่งเมื่อคิดที่มีการทดลอง 7 ชม. ต่อการทดลอง 1 ครั้งแล้ว จะสามารถประหยัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบได้ 3.50 kWh ต่อ 1 การทดลอง

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล (2540) ใช้เทอร์โมไซฟอนแบบ 4 ลูก และ 8 ลูก กับส่วนทำระเหยของระบบ ควบคุมสภาวะอากาศห้อง พบว่าหลังจากใช้เทอร์โมไซฟอนแบบ 4 ลูก และ 8 ลูก แล้วทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นคิดเป็น 3.6% และ 10.2% ตามลำดับ แต่ของเครื่องทำความร้อนมีค่าลดลงคิดเป็น 34.8% และ 48.2% ตามลำดับ และการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของระบบฯ มีค่าลดลงคิดเป็น 6.6% และ 5.4% หรือสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้ารวมของระบบฯ ได้ 0.76 kWh ต่อวัน และ 0.62 kWh ต่อวัน ตามลำดับ

นั่นคือ เมื่อมีการใช้เทอร์โมไซฟอนแล้วทำให้ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบลดลง 3.08 kWh ต่อ 1 การทดลอง และ 3.50 kWh ต่อ 1 การทดลอง สำหรับกรณี BAR 20% และ 40% ตามลำดับ ส่วนกรณี BAR 0% นั้นเมื่อมีการใช้เทอร์โมไซฟอนแล้วทำให้ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบเพิ่มขึ้น 3.6% ดังนั้นเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมกับระบบอบแห้งแบบบั้มความร้อนนี้คือที่ BAR 20 และ 40%

5.2.7 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

สำหรับการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ในที่นี้ จะไม่พิจารณาถึงผลจากค่าเสื่อมราคา (Depreciation cost) ของเทอร์โมไซฟอน ภาษีเงินได้ (Income tax) และเงินเฟ้อ (Inflation) และมูลค่าหรือราคาของเทอร์โมไซฟอนที่ใช้ในการวิเคราะห์ก็จะไม่รวมถึงค่าติดตั้ง ค่าซ่อมบำรุง และค่าซ่อมแซมกรณีเทอร์โมไซฟอนเกิดการรั่วของสารทำงาน

กำหนด มูลค่าหรือราคาปัจจุบันของเทอร์โมไซฟอน = 7,700 บาท (แบบ 42 ลูกป)
(แยกเป็น ราคาคอยล์เก่า 2,000 บาท , ค่าท่อทองแดง ลวดเชื่อม รวมถึง หัวครุเดมน้ำยา เป็นเงิน 3,700 บาท และ ค่าสารทำงาน R-123 ปริมาณ 4 kg. เป็นเงิน 2,000 บาท)

อายุการใช้งานของเทอร์โมไซฟอน = 15 ปี
ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย (คงที่) = 2.50 บาทต่อหน่วย
อัตราดอกเบี้ยแบบทบต้น = 11.5% ต่อปี (เงินกู้ของ ธ.กรุงไทย ณ.วันที่ 21 ก.ย.43)
การใช้งานเครื่องอบแห้งชนิดบีบีความร้อน = 8 เดือน ใน 1 ปี

จาก มูลค่าอนาคต = $P(1+i)^n$ สมการ (1)

เมื่อ $P =$ มูลค่าปัจจุบันที่มีการจ่ายครั้งเดียว = 7,700 บาท

$i =$ อัตราดอกเบี้ยทบต้น = 0.115

$n =$ จำนวนปี = 15 ปี

ดังนั้น มูลค่าอนาคตของเทอร์โมไซฟอนแบบ 42 ลูกป = $7700(1+0.115)^{15}$
= 39,410.66 บาท

จากข้อมูลการทดสอบ ระบบอบแห้งชนิดบีบีความร้อน 1 การทดลอง = 7 ชั่วโมง (ใน 1 วัน)

จากการใช้เทอร์โมไซฟอน กรณี BAR.20% สามารถประหยัดพลังงานได้เฉลี่ย = 3.08 kWh ต่อวัน

และการใช้เทอร์โมไซฟอน กรณี BAR.40% สามารถประหยัดพลังงานได้เฉลี่ย = 3.50 kWh ต่อวัน

ดังนั้น ถ้าใช้งานเครื่องอบแห้งชนิดบีบีความร้อน 8 เดือน ใน 1 ปี

ค่าไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ต่อปี = $3.08 \times 2.50 \times 30 \times 8 = 1,848$ บาท (สำหรับ BAR.20%)

ค่าไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ต่อปี = $3.50 \times 2.50 \times 30 \times 8 = 2,100$ บาท (สำหรับ BAR.40%)

จาก มูลค่าอนาคต = $\frac{A}{i}[(1+i)^n - 1]$ สมการ(2)

เมื่อ $A =$ มูลค่าปัจจุบันของเงินรายปีที่เท่ากัน = 1,848 บาท (สำหรับ BAR.20%)

= 2,100 บาท (สำหรับ BAR.40%)

อัตราดอกเบี้ยทบต้น = 11.5% = 0.115

จำนวนปี = 15 ปี

$$\text{มูลค่าอนาคตสำหรับสำหรับ BAR.20\%} = \frac{1848}{0.115} [(1+0.115)^{15} - 1] = 66,178.77 \text{ บาท}$$

$$\text{มูลค่าอนาคตสำหรับสำหรับ BAR.40\%} = \frac{2100}{0.115} [(1+0.115)^{15} - 1] = 75,203.15 \text{ บาท}$$

ดังนั้น

การใช้เทอร์โมไซฟอน กรณี BAR.20% สามารถประหยัดเงินได้ = 66,178.77 - 39,410.66 = 26,768.11 บาท

การใช้เทอร์โมไซฟอน กรณี BAR.40% สามารถประหยัดเงินได้ = 75,203.15 - 39,410.66 = 35,792.49 บาท

ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย

จากมูลค่าหรือราคาของเทอร์โมไซฟอนแบบ 42 ลูบ = 7,700 บาท

และการใช้เทอร์โมไซฟอน กรณี BAR.20% สามารถประหยัดพลังงานได้เฉลี่ย = 3.08 kWhr ต่อวัน หรือ ต่อการอบ 1 ครั้ง คือ สามารถคืนทุนได้ = 7,700 / (3.08*2.50) = 1,000 วัน หรือ 2.74 ปี

และการใช้เทอร์โมไซฟอน กรณี BAR.40% สามารถประหยัดพลังงานได้เฉลี่ย = 3.50 kWhr ต่อวัน หรือ ต่อการอบ 1 ครั้ง คือ สามารถคืนทุนได้ = 7,700 / (3.50*2.50) = 880 วัน หรือ 2.41 ปี

อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return, IRR)

ในที่นี้จะหมายถึงอัตราผลตอบแทนคิดเป็นดอกเบี้ยที่ทำให้มูลค่าอนาคตของเทอร์โมไซฟอนเท่ากับมูลค่าอนาคตของค่าไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ การทดลองเงื่อนไขไหนที่ให้อัตราผลตอบแทนภายในสูง ก็จะเป็นเงื่อนไขที่สมควรแก่การลงทุนมากที่สุด

นั่นคือ สมการ(1) = สมการ(2)

$$P(1+i)^n = \frac{A}{i} [(1+i)^n - 1] \quad \text{สมการ(3)}$$

สำหรับการใช้เทอร์โมไซฟอน กรณี BAR.20% แทนค่าในสมการ (3) จะได้

$$7700 (1+i)^{15} = \frac{1848}{i} [(1+i)^{15} - 1]$$

ทำการแก้สมการแล้วจะได้ $i = \text{IRR} = 22.90\%$

และสำหรับการใช้เทอร์โมไซฟอน กรณี BAR.40% แทนค่าในสมการ (3) จะได้

$$7700 (1+i)^{15} = \frac{2100}{i} [(1+i)^{15} - 1]$$

แก้สมการแล้ว ได้ $i = \text{IRR} = 26.45\%$

ดังนั้นเมื่อใช้เทอร์โมไซฟอนแบบ 42 รูป สำหรับกรณี BAR.20% แล้วจะสามารถประหยัดเงินได้ 26,768.11 บาท มีอัตราผลตอบแทนภายใน 22.90% และมีระยะคืนทุน 2.74 ปี ส่วนสำหรับกรณี BAR.40% สามารถประหยัดเงินได้ 35,792.49 บาท มีอัตราผลตอบแทนภายใน 26.45% และมีระยะคืนทุน 2.41 ปี ซึ่งแสดงผลของเทอร์โมไซฟอนแบบ 42 รูป ได้อย่างชัดเจนในกรณี BAR.40% คือเป็นการประหยัดพลังงานที่เครื่องทำความร้อนของระบบอบแห้งแบบบีบความร้อนนั่นเอง ส่วนกรณี BAR 0% นั้นเมื่อมีการใช้เทอร์โมไซฟอนแล้วไม่ทำให้มีการประหยัดขึ้น ดังนั้นเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมกับระบบอบแห้งแบบบีบความร้อนนี้คือที่ BAR 20 และ 40%

5.3 คุณลักษณะทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอน

5.3.1 ผลของค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์กับค่าประสิทธิภาพ

รูป 5.15 แสดงผลของค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์ ของด้านส่วนทำระเหย ต่อค่าประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน พบว่าค่าประสิทธิภาพลดลง เมื่อเรย์โนลด์์นัมเบอร์มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์เพิ่มขึ้นจาก 1695.48, 2188.19 และ 2671.91 ทำให้ค่าประสิทธิภาพลดลงจาก 0.288, 0.257 และ 0.217 ตามลำดับ

Khantha and Terdtoon (1998) ได้ศึกษาถึงเครื่องอุ่นอากาศแบบท่อความร้อนและการประยุกต์ใช้งานในการอบแห้งยิปซั่ม โดยใช้ท่อความร้อนที่ทำจากท่อทองแดง ขนาด 12.7 มิลลิเมตร จำนวน 76 ท่อ มีน้ำเป็นสารทำงาน อุณหภูมิของไอเสีย 170 °C และความเร็วของไอเสีย 8.5 เมตรต่อวินาที พบว่า สำหรับทุก ๆ อุณหภูมิขาเข้าของไอเสีย (45 ถึง 180 °C) ที่ค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์ ด้านส่วนควบแน่น เพิ่มขึ้นจาก 3578 ถึง 9864 จะทำให้ค่าประสิทธิภาพของเครื่องอุ่นน้ำป้อนลดลงจาก 74.53 เปอร์เซ็นต์ เป็น 64.17 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลที่ได้เป็นไปในทำนองเดียวกันกับค่าที่ได้จากงานวิจัยชิ้นนี้

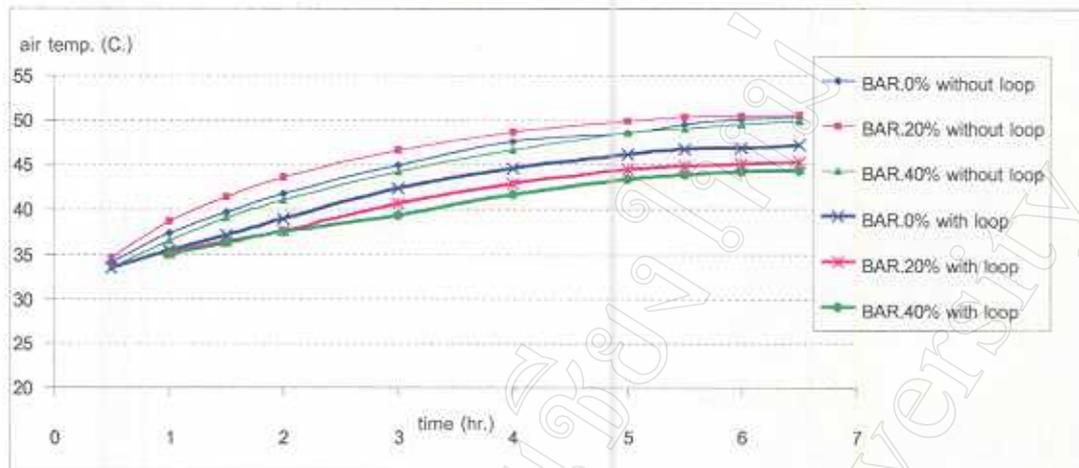
สรุปได้ว่า เมื่อค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์ เพิ่มขึ้นจาก 1695.48 เป็น 2671.91 จะทำให้ค่าประสิทธิภาพลดลงจาก 0.288 เป็น 0.217 ตามลำดับ

5.3.2 ผลของค่า NTU กับค่าประสิทธิผล

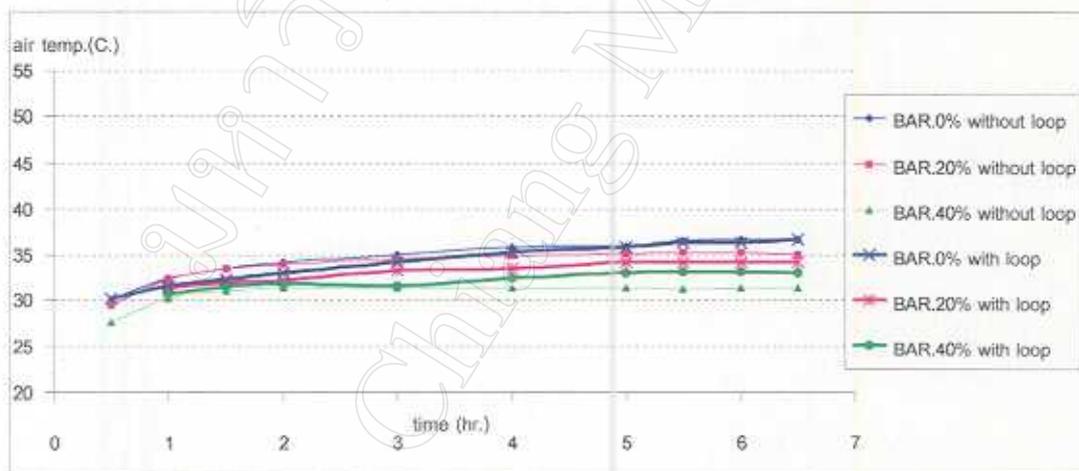
รูป 5.16 แสดงผลของค่า NTU ต่อค่าประสิทธิผลของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน พบว่าค่าประสิทธิผลเพิ่มขึ้น เมื่อ NTU มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนี้คือ ค่า NTU เพิ่มขึ้นจาก 0.044, 0.047 และ 0.050 ทำให้ค่าประสิทธิผลเพิ่มขึ้นจาก 0.217, 0.257 และ 0.288 ตามลำดับ

จากข้อมูลของ Khantha and Terdtoon (1998) สำหรับทุก ๆ อุณหภูมิขาเข้าของไอเสีย (45 ถึง 180 °C) ที่ค่า NTU เพิ่มขึ้นจาก 1.51 ถึง 1.85 จะทำให้ค่าประสิทธิผลของเครื่องอุ่นน้ำป้อนเพิ่มขึ้นจาก 64.17 เปอร์เซ็นต์ เป็น 74.53 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลที่ได้เป็นไปในทำนองเดียวกันกับค่าที่ได้จากงานวิจัยชิ้นนี้

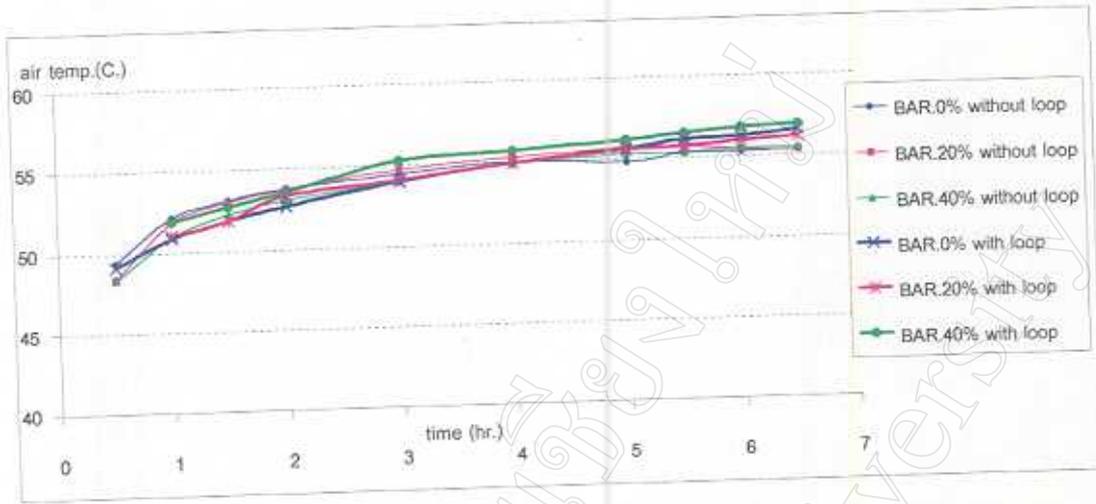
สรุปได้ว่า เมื่อค่า NTU เพิ่มขึ้นจาก 0.044 เป็น 0.050 จะทำให้ค่าประสิทธิผลเพิ่มขึ้นจาก 0.217 เป็น 0.288 ตามลำดับ



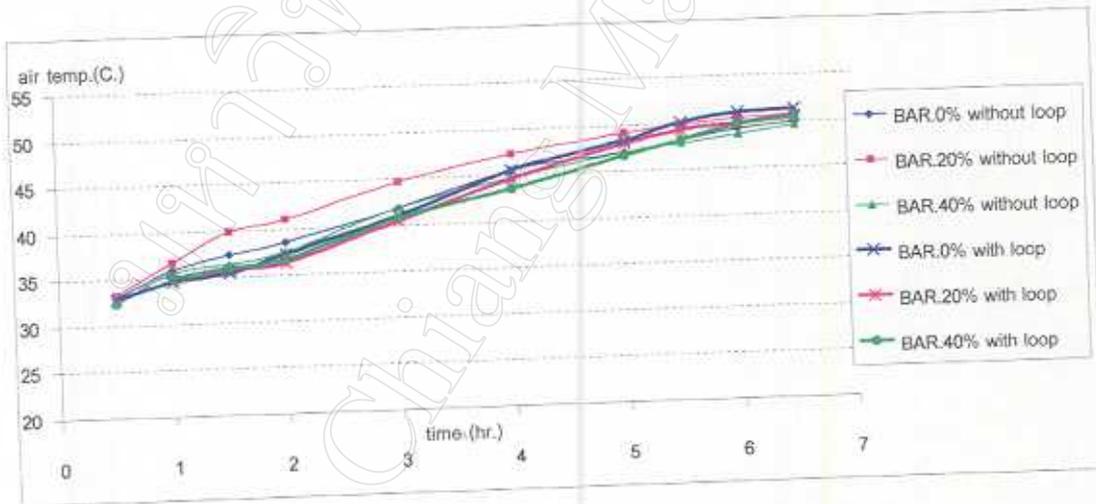
รูป 5.1 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่ออุณหภูมิอากาศก่อนเข้า ส่วนทำระเหยของปั๊มความร้อน



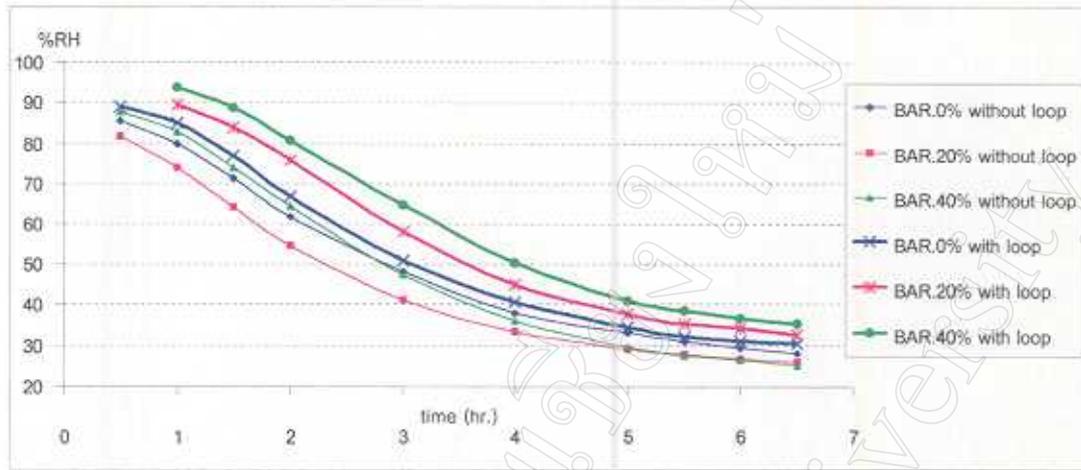
รูป 5.2 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่ออุณหภูมิอากาศหลังออก ส่วนทำระเหยของปั๊มความร้อน



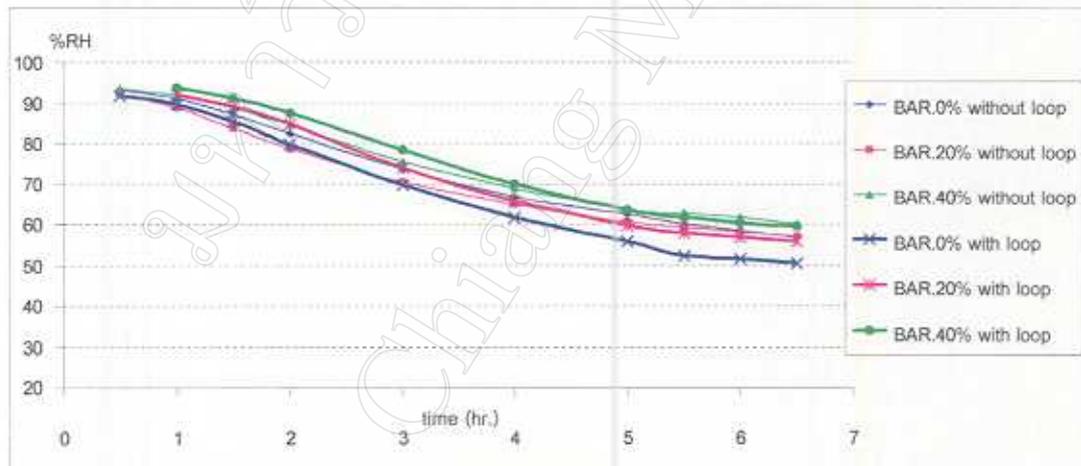
รูป 5.3 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่ออุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอบแห้ง



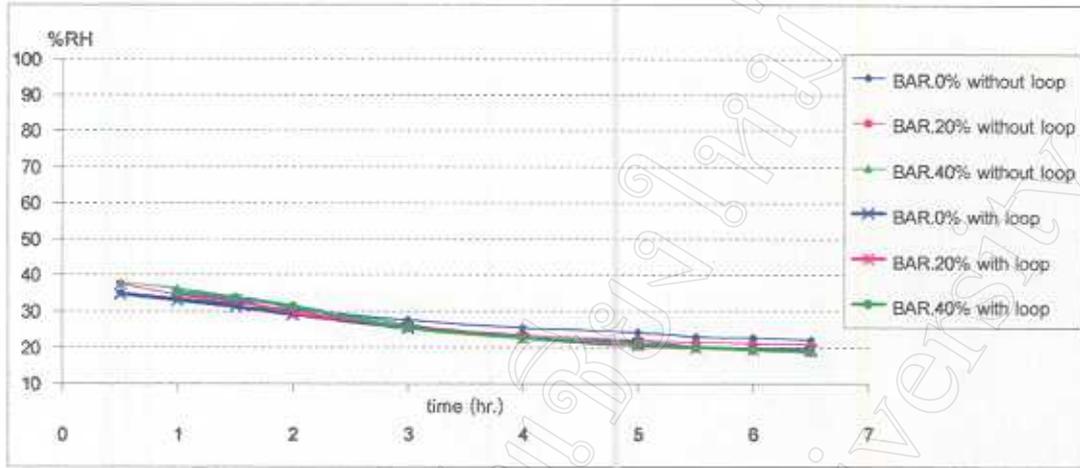
รูป 5.4 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่ออุณหภูมิอากาศหลังออกเครื่องอบแห้ง



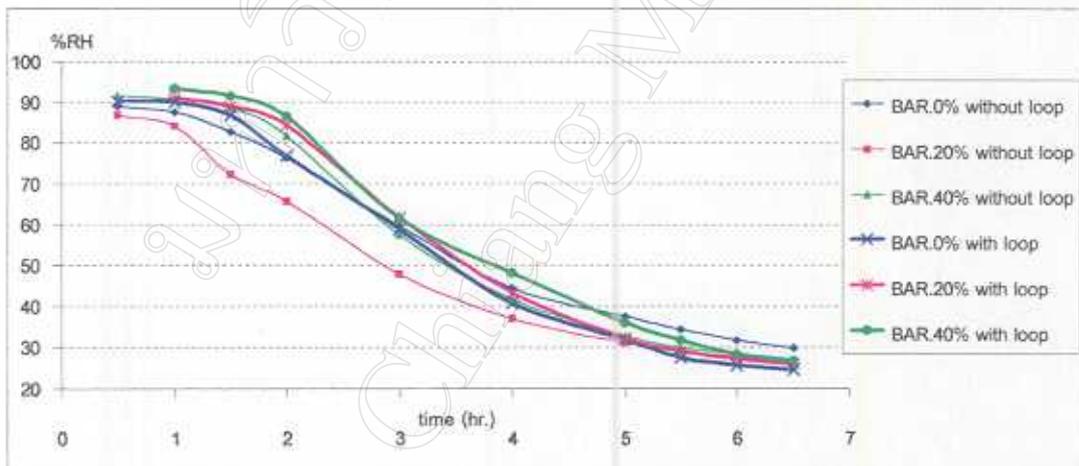
รูป 5.5 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่อความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้า ส่วนทำระเหยของปั๊มความร้อน



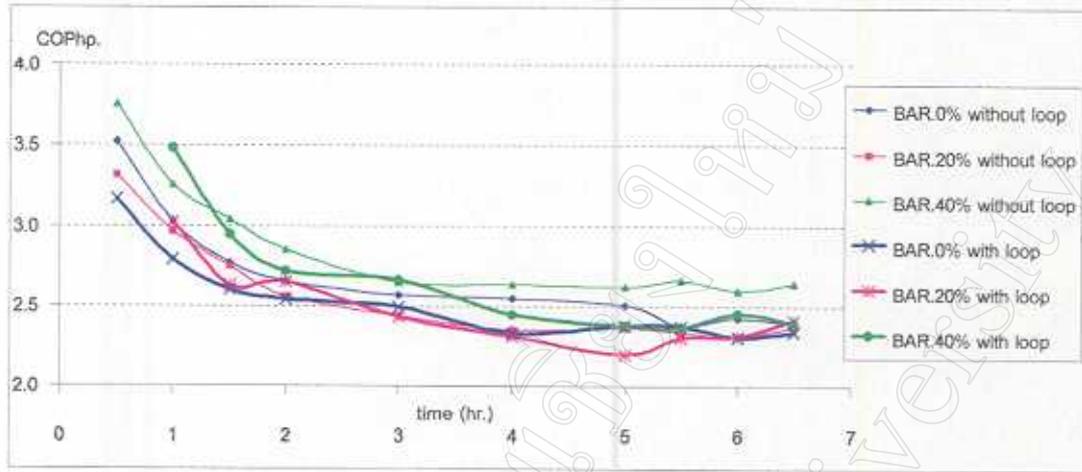
รูป 5.6 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่อความชื้นสัมพัทธ์อากาศหลังออก ส่วนทำระเหยของปั๊มความร้อน



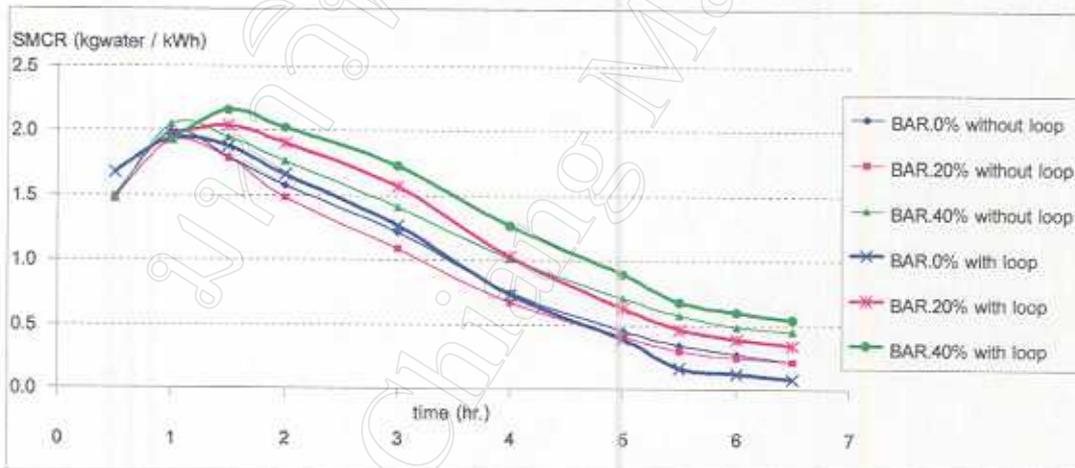
รูป 5.7 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่อความชื้นสัมพัทธ์อากาศก่อนเข้าเครื่องอบแห้ง



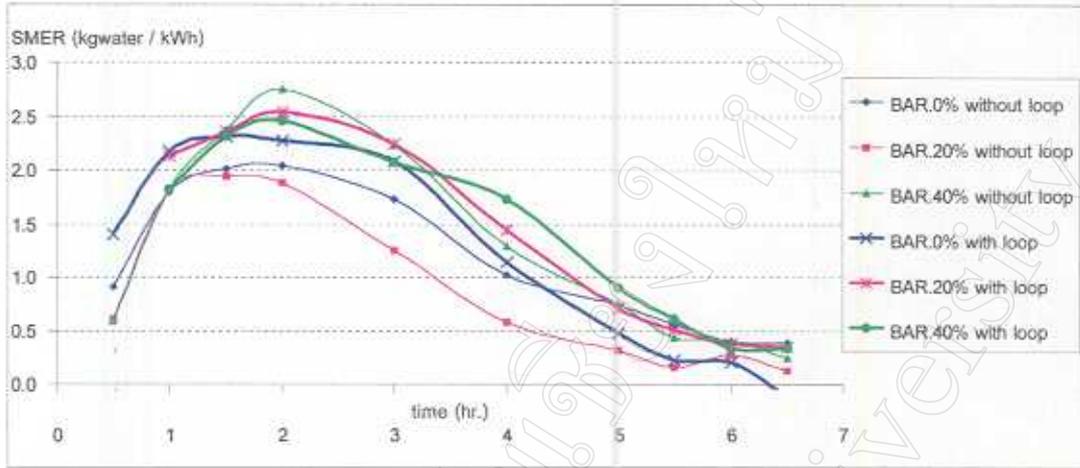
รูป 5.8 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่อความชื้นสัมพัทธ์อากาศหลังออกเครื่องอบแห้ง



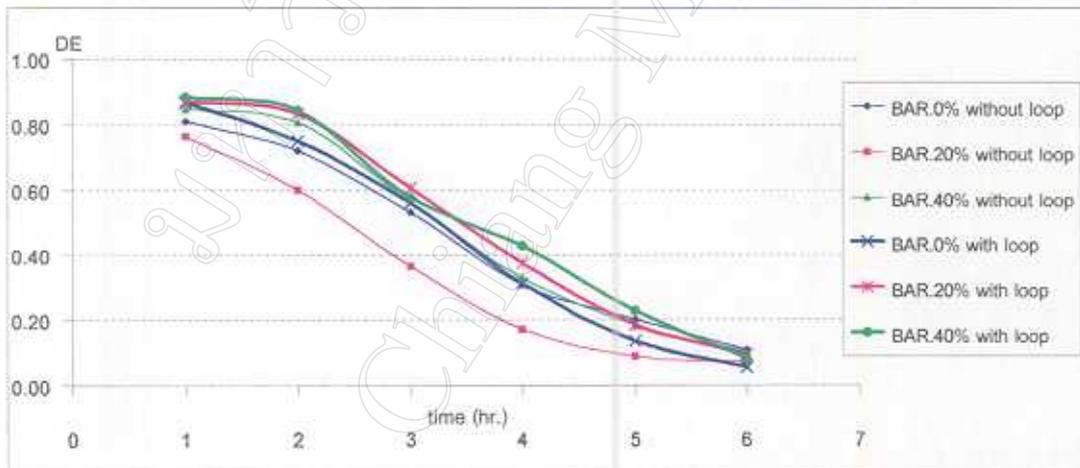
รูป 5.9 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่อค่า COPhp.



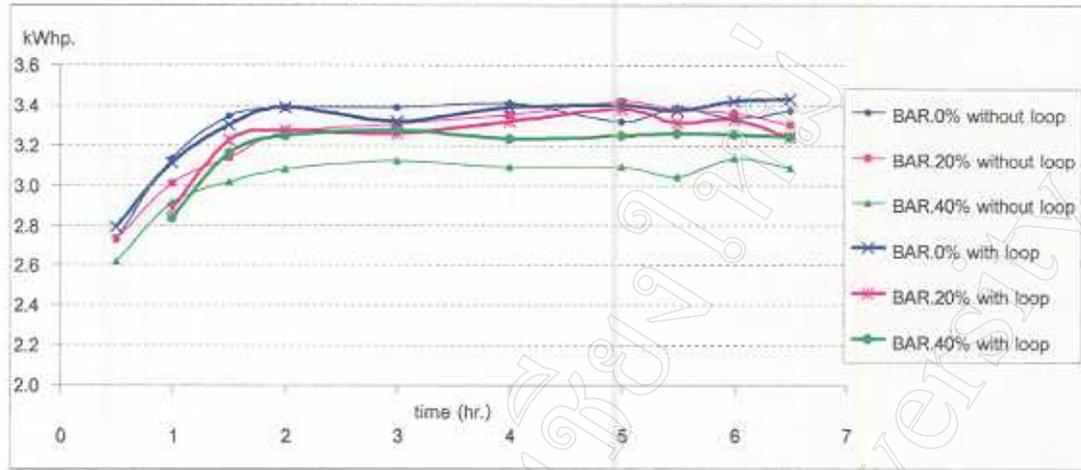
รูป 5.10 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่อค่า SMCR



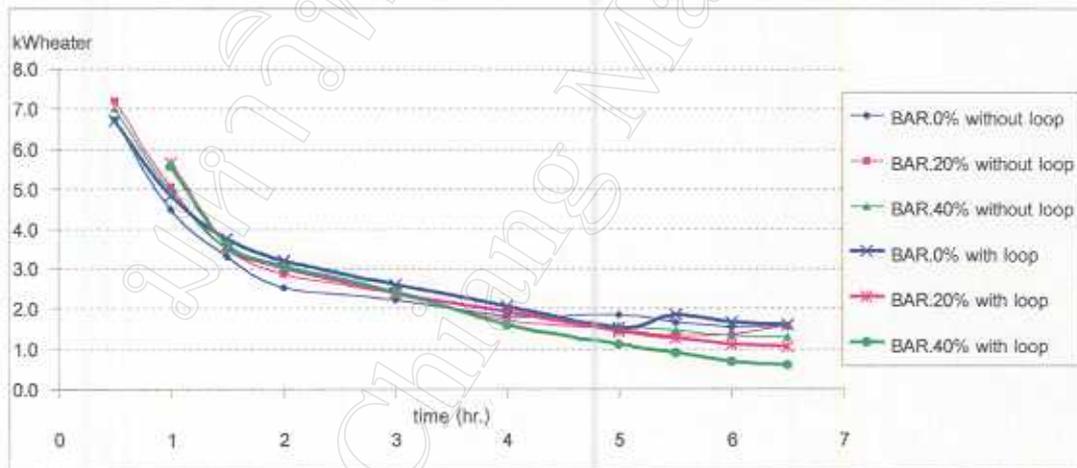
รูป 5.11 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่อค่า SMER



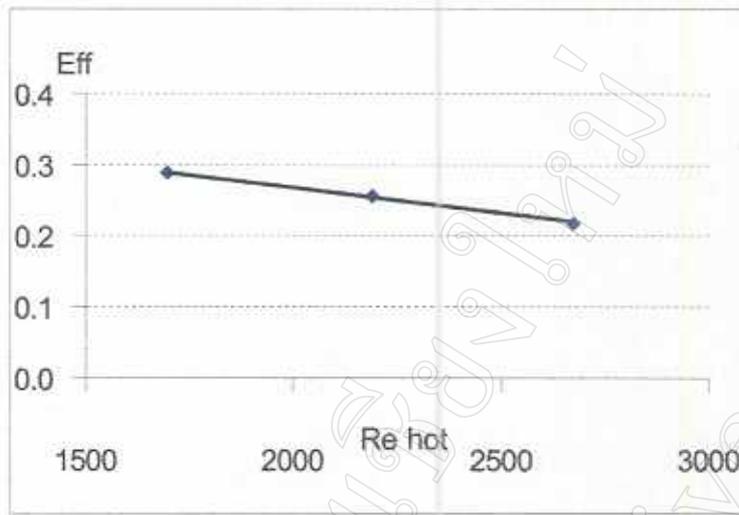
รูป 5.12 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่อค่า DE



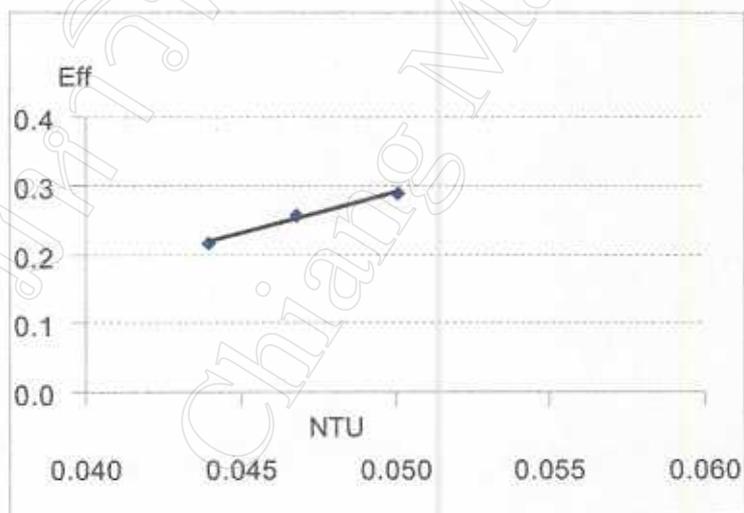
รูป 5.13 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่อค่า kWhp.



รูป 5.14 แสดงผลของค่า BAR และผลของเทอร์โมไซฟอน ที่มีต่อค่า kWheater



รูป 5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเรย์โนลด์์นับเบอร์ของด้านส่วนทำระเหยกับค่าประสิทธิผล



รูป 5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า NTU ค่าประสิทธิผล