บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

จากการสร้างแบบจำลองการระบายความร้อนของถังเก็บข้าวเปลือกที่ใช้เทอร์โมไซฟอน โดยใช้โปรแกรม Matlab และได้ทำการใช้โปรแกรมคำนวณ โดยเปลี่ยน ตัวแปรที่จะศึกษา มีดังนี้คือ

1. วิเคราะห์หาจำนวนชั่วโมงการระบายความร้อนในข้าวเปลือกที่สามารถรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 28-29 องศาเซลเซียส

2. วิเคราะห์หาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเทอร์โมไซฟอน โดยการทดลองเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเทอร์โมไซฟอนเป็น 3 ขนาด คือ 0.5 นิ้ว, 1 นิ้วและ 1.5 นิ้ว นอกจากนี้ยังวิเคราะห์หาจำนวนของท่อเทอร์โมไซฟอน โดยการทดลองเปลี่ยนจำนวนของท่อเทอร์โมไซฟอน 5 จำนวน คือ 100 ท่อ, 115 ท่อ, 130 ท่อ, 145 ท่อและ 160 ท่อ เนื่องจากงานวิจัยของ Dussadee et al. (2003) ได้ใช้ท่อเทอร์โมไซฟอนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว และจากปริมาตรที่เหลือของถังข้าวเปลือก เมื่อนำข้าวเปลือกมาใส่ในถังแล้ว ดังนั้นจะเหลือปริมาตรที่จะใส่ท่อเทอร์โมไซฟอนเท่ากับ 130 ท่อ ดังนั้นจึงต้องศึกษาผลกระทบของเส้นผ่านศูนย์กลางและจำนวนท่อที่น้อยกว่าและมากกว่า

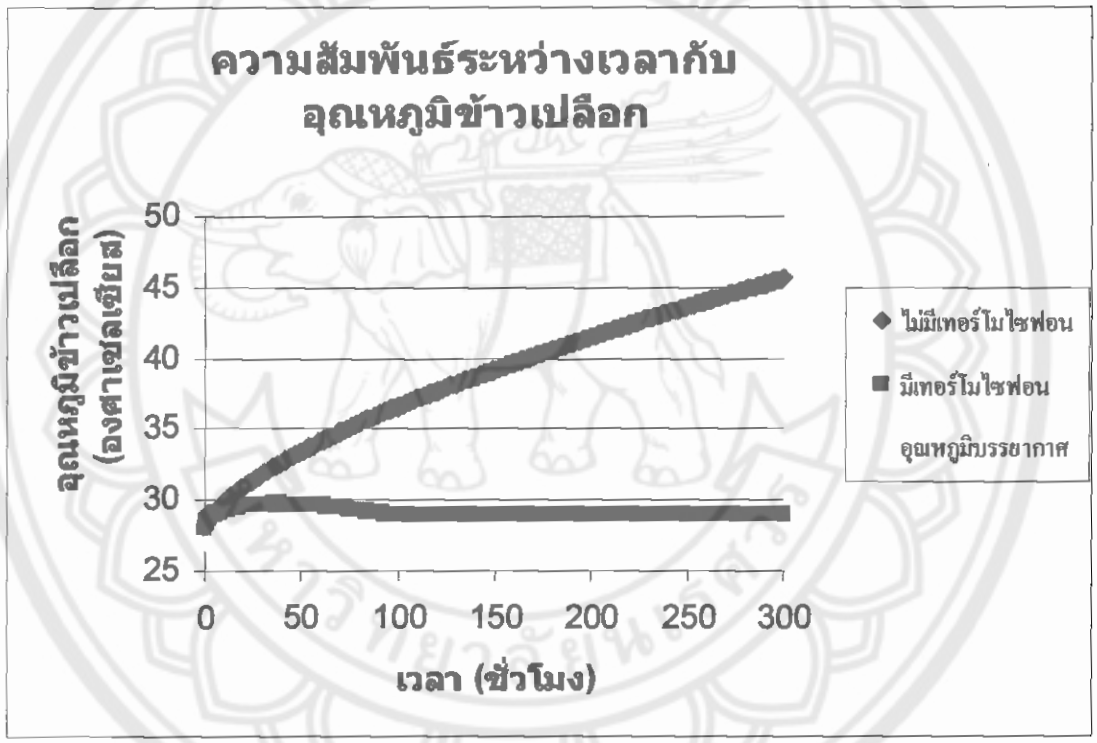
3. วิเคราะห์หาความยาวส่วนทำระเหยและความยาวส่วนควบแน่นของทอร์โมไซฟอน โดยการทดลองเปลี่ยนทั้งความยาวส่วนทำระเหยและความยาวส่วนควบแน่นของท่อเทอร์โมไซ-ฟอน 3 ขนาด คือ 1 เมตร,1.5 เมตรและ 2 เมตร เนื่องจากความสูงของถังเก็บข้าวเปลือกในงานวิจัยของ Dussadee et al. (2003) เท่ากับ 1.5 เมตร และเนื่องจากทฤษฎีหัวข้อที่ 2.2.5 ในบทที่ 2 จะทำให้ทราบช่วงความยาวส่วนควบแน่นของท่อเทอร์โมไซฟอนที่สามารถใช้งานได้และเพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาจึงกำหนดให้ความยาวส่วนควบแน่นเท่ากับความยาวส่วนทำระเหย คือ 1.5 เมตร ดังนั้นจึงต้องศึกษาผลกระทบของความยาวส่วนทำระเหยและความยาวส่วนควบแน่นที่น้อยกว่าและมากกว่า

4. วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จากขนาดและจำนวนของเทอร์โมไซฟอนที่เหมาะสม ที่สามารถระบายความร้อนออกจากถังข้าวเปลือกและทำให้อุณหภูมิภายในเหมาะสม

ผลการทดลองแสดงในกราฟต่อไปนี้

4.1 การวิเคราะห์หาจำนวนชั่วโมงการระบายความร้อนในข้าวเปลือก

การวิเคราะห์หาจำนวนชั่วโมงการระบายความร้อนในข้าวเปลือกสามารถนำมาสร้างเป็นกราฟ แสดงดังรูป 4.1 ซึ่งจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิข้าวเปลือก ทั้งที่มีเทอร์โมไซฟอนและไม่มีเทอร์โมไซฟอน และอุณหภูมิบรรยากาศ โดยที่แกนนอนเป็นเวลาที่ใช้ในการระบายความร้อน(ชั่วโมง) และ แกนตั้งเป็นอุณหภูมิของข้าวเปลือก (องศาเซลเซียส)

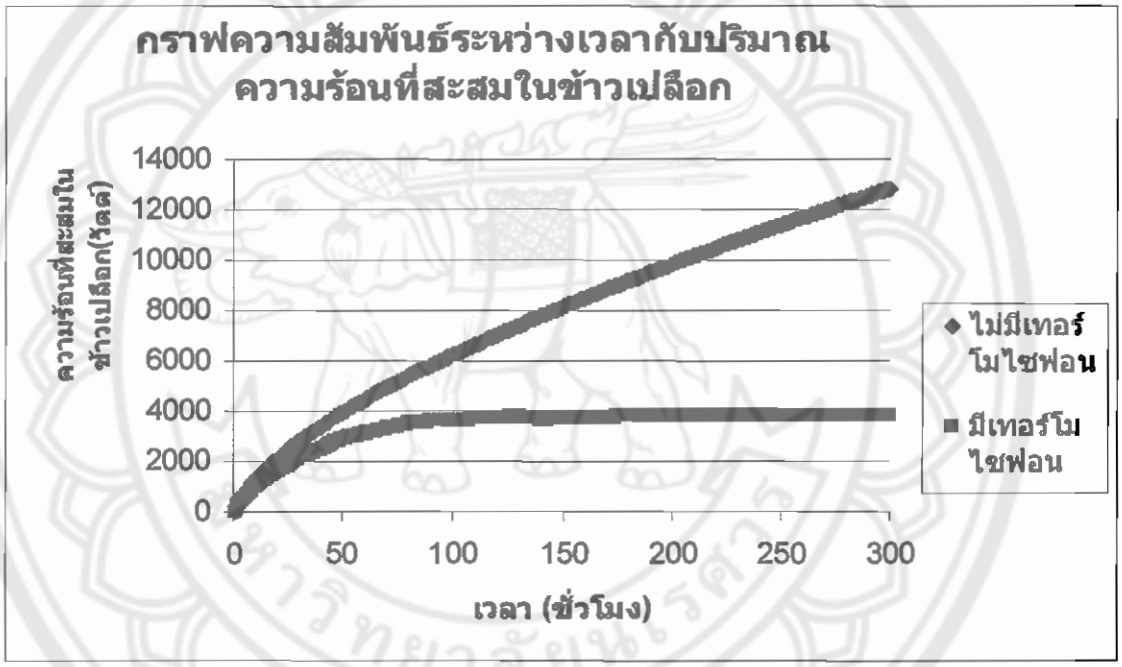


รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิข้าวเปลือก

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิข้าวเปลือกแสดงให้เห็นว่า การเก็บข้าวเปลือกในถังเก็บข้าวเปลือกที่ไม่มีเทอร์โมไซฟอนอุณหภูมิข้าวเปลือกจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ข้าวเปลือกจะเสื่อมคุณภาพได้ต่างจากการเก็บข้าวเปลือกในถังเก็บข้าวเปลือกที่มีเทอร์โมไซฟอน อุณหภูมิข้าวเปลือกในช่วง 1 - 50 ชั่วโมง อุณหภูมิของข้าวเปลือกจะสูงขึ้นแต่ในช่วง 50 ชั่วโมงขึ้นไปอุณหภูมิของข้าวเปลือกจะลดลงและมีอุณหภูมิของข้าวเปลือกคงที่ในชั่วโมง 100 ขึ้นไป ซึ่งสามารถรักษาอุณหภูมิของข้าวเปลือกให้อยู่ประมาณ 28 – 29 องศาเซลเซียส ในช่วงอุณหภูมินี้จะ

สามารถเก็บข้าวเปลือกไว้ได้นานโดยไม่มีการเสื่อมคุณภาพ ดังนั้น จะใช้เวลา 100 ชั่วโมง ในการวิเคราะห์การระบายความร้อนของเทอร์โมไซฟอนเพื่อหาขนาดและจำนวนที่เหมาะสม

ปริมาณความร้อนที่สะสมในข้าวเปลือกสามารถนำมาสร้างเป็นกราฟ แสดงดังรูป 4.2 ซึ่งจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับปริมาณความร้อนที่สะสมในข้าวเปลือกโดยที่แกนนอนเป็นเวลาที่ใช้ในการระบายความร้อน(ชั่วโมง) และ แกนตั้งเป็นปริมาณความร้อนที่สะสมในข้าวเปลือก(วัตต์)



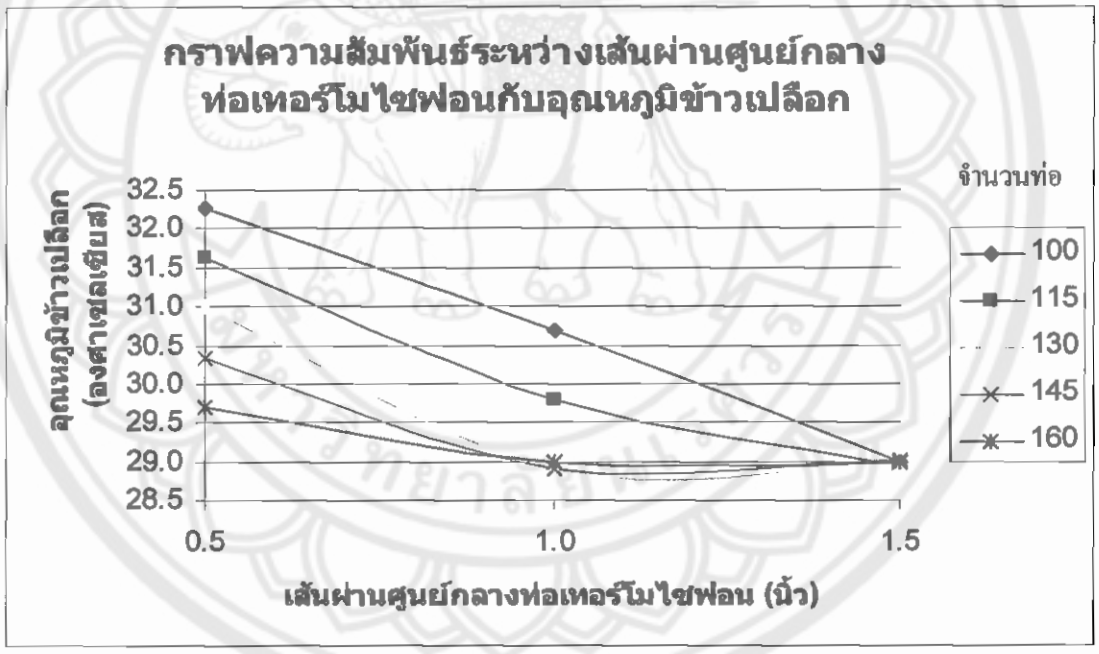
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับปริมาณความร้อนที่สะสมในข้าวเปลือก

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับปริมาณความร้อนที่สะสมในข้าวเปลือกจะเห็นได้ว่า การเก็บข้าวเปลือกในถังเก็บข้าวเปลือกที่ไม่มีเทอร์โมไซฟอนปริมาณความร้อนที่สะสมในข้าวเปลือกจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ต่างจากการเก็บข้าวเปลือกในถังเก็บข้าวเปลือกที่มีเทอร์โมไซฟอน ความร้อนที่สะสมในข้าวเปลือกในช่วงแรกก็จะสูงขึ้นเช่นกันแต่เมื่อถึงจุดที่มีอุณหภูมิที่ทำให้ท่อเทอร์โมไซฟอนทำงานปริมาณความร้อนที่สะสมในข้าวเปลือกจะค่อย ๆ ลดลงเนื่องจากมีเทอร์โม-ไซฟอนไประบายความร้อนออกจากข้าวเปลือกเมื่อถึงชั่วโมงที่ 100 ปริมาณความร้อนที่สะสมในข้าวเปลือกจะเริ่มคงที่

4.2 การวิเคราะห์หาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและจำนวนของท่อเทอร์โมไซฟอน

การวิเคราะห์หาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและจำนวนของท่อเทอร์โมไซฟอนสามารถนำมาสร้างเป็นกราฟ แสดงดังรูป 4.3 ซึ่งจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเทอร์โมไซฟอนกับอุณหภูมิข้าวเปลือก ที่แกนนอนเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเทอร์โมไซฟอน (นิ้ว) และ แกนตั้งเป็นอุณหภูมิของข้าวเปลือก (องศาเซลเซียส)

จากข้อมูลทั้งหมดพบว่า ผลของเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีอุณหภูมิข้าวเปลือกมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันจึงเลือกมาแสดงเฉพาะที่ความยาวส่วนทำระเหยเท่ากับ 1 เมตร และความยาวส่วนควบแน่นของท่อเทอร์โมไซฟอนเท่ากับ 2 เมตร



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเทอร์โมไซฟอนกับอุณหภูมิข้าวเปลือก

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเทอร์โมไซฟอนกับอุณหภูมิข้าวเปลือกแสดงให้เห็นว่า ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว จำนวน 145 ท่อ ความยาวส่วนทำระเหยเท่ากับ 1 เมตร และความยาวส่วนควบแน่นของท่อเทอร์โมไซฟอนเท่ากับ 2 เมตร จะมีสมรรถนะการระบายความร้อนดีที่สุด และรักษาอุณหภูมิข้าวเปลือกได้ 28.901 องศาเซลเซียส

เมื่อนำมาวิเคราะห์เฉพาะราคาของท่อเทอร์โมไซฟอนซึ่งทำจากท่อทองแดงจะได้ดังแสดงต่อไปนี้

ราคาท่อทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว เท่ากับ 105 บาทต่อเมตร

และจะใช้ท่อทองแดง 435 เมตร เป็นราคา 45675 บาท

ซึ่งจะเห็นได้ว่าชุดท่อเทอร์โมไซฟอนดังกล่าวมีราคาสูงมากและทำให้ไม่คุ้มต่อการลงทุน ดังนั้น จึงต้องหาชุดท่อเทอร์โมไซฟอนที่มีราคาถูกลงมาและสามารถรักษาอุณหภูมิข้าวเปลือกให้ใกล้เคียง 28 – 29 องศาเซลเซียส ต่อไป

ดังนั้น เลือกชุดท่อเทอร์โมไซฟอนใหม่ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว จำนวน 160 ท่อ ความยาวส่วนทำระเหยเท่ากับ 1 เมตร และความยาวส่วนควบแน่นของท่อเทอร์โมไซฟอนเท่ากับ 2 เมตร สามารถรักษาอุณหภูมิข้าวเปลือกได้ 29.7 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิข้าวเปลือกสูงกว่าจุดที่มีสมรรถนะการระบายความร้อนดีที่สุดประมาณ 0.8 องศาเซลเซียส

เมื่อนำมาวิเคราะห์เฉพาะราคาของท่อเทอร์โมไซฟอนซึ่งทำจากท่อทองแดงจะได้ดังแสดงต่อไปนี้

ราคาท่อทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว เท่ากับ 36.67 บาทต่อเมตร

และจะใช้ท่อทองแดง 480 เมตร เป็นราคา 17600 บาท

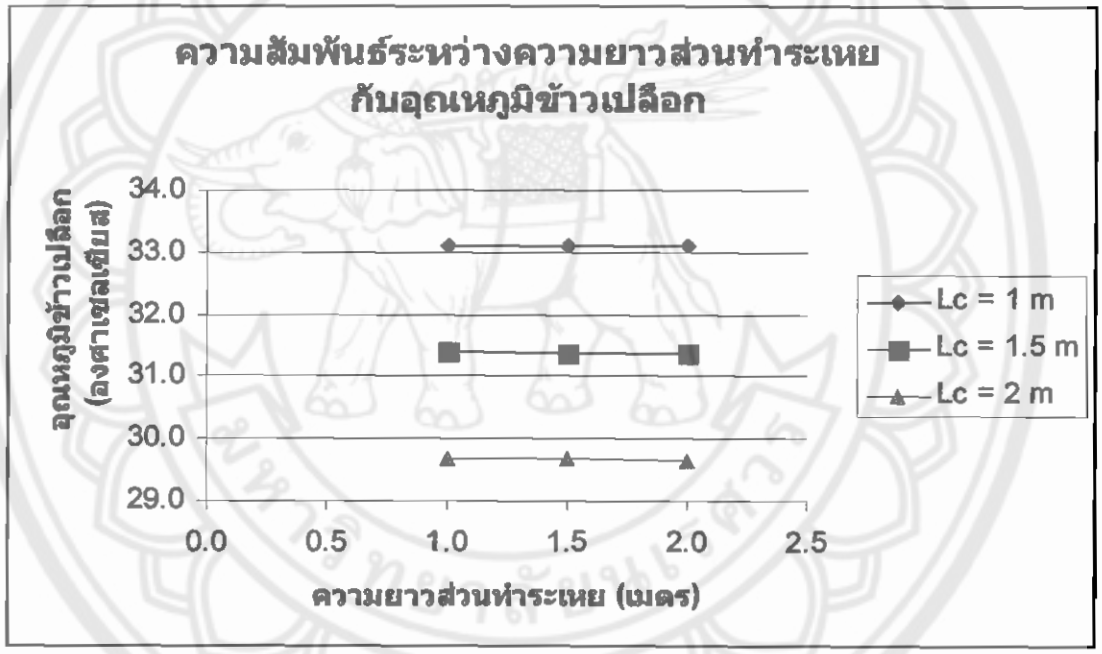
ซึ่งจะเห็นได้ว่าชุดท่อเทอร์โมไซฟอนดังกล่าวมีราคาต่ำกว่ามากและรักษาอุณหภูมิข้าวเปลือกให้ใกล้เคียงโดยมีอุณหภูมิสูงกว่าชุดแรกเพียง 0.8 องศาเซลเซียส ดังนั้น จึงเลือกใช้ชุดท่อเทอร์โมไซฟอนชุดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว จำนวน 160 ท่อ

4.3 วิเคราะห์หาความยาวส่วนทำระเหยและความยาวส่วนควบแน่นของท่อเทอร์โมไซฟอน

การวิเคราะห์หาความยาวส่วนทำระเหยและความยาวส่วนควบแน่นของท่อเทอร์โมไซฟอนสามารถนำมาสร้างเป็นกราฟ แสดงดังรูป 4.4 ซึ่งจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความยาวส่วนทำระเหยของท่อเทอร์โมไซฟอนกับอุณหภูมิข้าวเปลือกที่ความยาวส่วนควบแน่นขนาดต่าง ๆ แกนนอนเป็นความยาวส่วนทำระเหยของท่อเทอร์โมไซฟอน (เมตร)และแกนตั้งเป็นอุณหภูมิของข้าวเปลือก (องศาเซลเซียส) โดยที่กำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว จำนวน 160 ท่อ ตามที่ได้เลือกไว้ในข้อ 4.2

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวส่วนทำระเหยของท่อเทอร์โมไซฟอนกับอุณหภูมิข้าวเปลือกแสดงให้เห็นว่า ไม่ว่าส่วนทำระเหยของท่อเทอร์โมไซฟอนจะเป็นเท่าไหร่ ความยาวส่วนควบแน่นของท่อเทอร์โมไซฟอนที่ทำให้อุณหภูมิของข้าวเปลือกต่ำที่สุดคือ ที่ความยาวส่วน

ควบแน่นเท่ากับ 2 เมตร และเมื่อพิจารณาที่ความยาวส่วนทำระเหยทั้งสามขนาดมีอุณหภูมิของข้าวเปลือกคือ ความยาวส่วนทำระเหยเท่ากับ 1 เมตรมีอุณหภูมิของข้าวเปลือกเท่ากับ 29.7 องศาเซลเซียส ความยาวส่วนทำระเหยเท่ากับ 1.5 เมตรมีอุณหภูมิของข้าวเปลือกเท่ากับ 29.671 องศาเซลเซียส และความยาวส่วนทำระเหยเท่ากับ 2 เมตรมีอุณหภูมิของข้าวเปลือกเท่ากับ 29.654 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกันมาก ดังนั้น จึงเลือกความยาวส่วนทำระเหยที่สั้นที่สุด คือ 1 เมตรซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดที่ดีที่สุดประมาณ 0.046 องศาเซลเซียสเท่านั้น เพื่อที่จะลดราคาของถังเก็บข้าวเปลือกและชุดเทอร์โมไซฟอนให้ต่ำลง



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวส่วนทำระเหยของท่อเทอร์โมไซฟอนกับอุณหภูมิข้าวเปลือก

4.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

จากการสำรวจราคาของอุปกรณ์ต่างๆ ตามราคาท้องตลาดสามารถสรุปค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ใช้ในชุดของถังเก็บข้าวเปลือกที่มีการระบายความร้อนโดยใช้เทอร์โมไซฟอน ได้ดังนี้

1. ถัง ถังทำจากเหล็กผสมสังกะสี ซึ่งทำจากเหล็กเส้นเชื่อมต่อกันเป็นโครงและหุ้มด้วยเหล็กแบบแผ่นหนา 1.5 มิลลิเมตร ราคารวมทั้งราคาของเหล็กเส้น เหล็กแผ่น ราคาประมาณ 4300 บาท

2. ท่อเทอร์โมไซฟอน ท่อเทอร์โมไซฟอนทำจากท่อทองแดงชนิดท่อตรง ซึ่งขนาดของท่อที่ใช้คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นรวมยาว 3 เมตร จำนวน 160 ท่อ ราคาของท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว ตามท้องตลาดทั่วไปขายเส้นละ 220 บาทมีความยาว 6 เมตร เฉลี่ยประมาณเมตรละ 36.67 บาท รวมราคาท่อเทอร์โมไซฟอนทั้งหมดเท่ากับ 17600 บาท

รวมราคาทั้งหมดรวมค่าแรงในการสร้างถังและทำท่อเทอร์โมไซฟอน 30 % ของราคาวัสดุจะได้ 27600 บาท

3. สารทำงาน สารทำงานที่ใช้คือ R134a ซึ่งใช้สารทำงานทั้งหมด 0.015 ลูกบาศก์เมตร ราคาของ R134a 266600 บาทต่อลูกบาศก์เมตรรวมราคาสารทำงานทั้งหมดประมาณ 4000 บาท

รวมค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 27600 + 4000 = 31600 บาท

ซึ่งสามารถนำค่าใช้จ่ายของชุดของถังเก็บข้าวเปลือกที่มีการระบายความร้อนโดยใช้เทอร์โมไซฟอนไปเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของการระบายความร้อนจากข้าวเปลือกโดยการใช้พัดลมเป่าดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 การเปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างการระบายความร้อนจากข้าวเปลือกโดยการใช้พัดลมเป่ากับการระบายความร้อนโดยใช้เทอร์โมไซฟอน

หัวข้อ	การใช้พัดลมเป่า	งานวิจัยของ Dussadee	การใช้เทอร์โมไซฟอน
ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น	26000 บาท	30000 บาท	31600 บาท
อายุการใช้งาน	15 ปี	15 ปี	15 ปี
กำลังของพัดลม	1/8 แรงม้า	-	-
ชั่วโมงการใช้งานพัดลม	20 %	-	-
ค่าไฟฟ้า	2.978 บาท/กิโลวัตต์	-	-
ค่าประหยัดพลังงาน	-	486.5 บาท/ปี	486.5 บาท/ปี

ชุดเทอร์โมไซฟอนในโครงงานนี้มีระยะคืนทุน = (31600 - 26000) / 486.5 = 11.5 ปี
ดอกเบี้ย (i) ร้อยละ 7.75 (ณ. วันที่ 10 ตุลาคม 2549)
อัตราการตอบแทนภายใน (Internal rate of return :IRR) คืออัตราลดค่าที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับศูนย์ เพื่อใช้ในการแสดงผลตอบแทนต่อผู้ลงทุนโดยตรง ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และอัตราดอกเบี้ย (i) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) หาได้จาก

$$IRR = NPV = -I_o + A\left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}\right] = 0 \qquad (4.1)$$

โดยที่ I_o คือ เงินลงทุนเริ่มต้น
A คือ ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ต่อปี
n คือ จำนวนเวลา (ปี)

แทนค่าลงในสมการดังกล่าว สามารถหาอัตราการตอบแทนภายในได้ คือ

i = 7.75 % จะได้ NPV = -1371.49

วิเคราะห์หาอัตราการตอบแทนภายใน (IRR) หรือค่าดอกเบี้ย (i) ที่ทำให้ NPV = 0

i = %	จะได้	NPV =
3.47		15.19389
3.49		7.207376
3.51		-0.76239
3.53		-8.71545

ดังนั้น ค่า i ที่ทำให้ NPV เท่ากับ 0 จะอยู่ระหว่าง 3.49 - 3.51

เทียบบัญญัติไตรยางศ์ จะได้ค่าดอกเบี้ย (i) เท่ากับ 3.508 %

ดังนั้น จะได้อัตราการตอบแทนภายใน (Internal rate of return :IRR) เท่ากับ 3.508 % เมื่อเทียบกับการใช้พัดลมเป่าทำงาน 20 % ของเวลาในการทำงานของพัดลม

จากงานวิจัยของ Dussadee et al. (2003) พบว่ามี ระยะคืนทุน = 8.2 ปีและอัตราการตอบแทนภายใน (Internal rate of return :IRR) เท่ากับ 8.6 % เมื่อเทียบกับการใช้พัดลมเป่าทำงาน 20 % ของเวลาในการทำงานของพัดลม

จะเห็นได้ว่าชุดเทอร์โมไซฟอนของ Dussadee et al. (2003) จะมีระยะคืนทุนน้อยกว่าและอัตราการตอบแทนภายในมากกว่าชุดเทอร์โมไซฟอนในโครงงานนี้ แต่ชุดเทอร์โมไซฟอนในโครงงานนี้สามารถสร้างได้ง่าย ดูแลรักษาได้ง่ายกว่าและสมการที่ใช้ในการคำนวณมีความยืดหยุ่นสามารถปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรโดยไม่จำเป็นต้องแก้ไขสมการ