การศึกษาสมรรถนะของแผงระเหยน้ำทำความเย็นและแบบจำลองสภาพโรงเรือนเลี้ยงสุกร

The Study of Evaporative Cooling Pads Performance and Simulation of a Swine House

กลศ บุณยะวรรธนะ อนุชา พรมวังขวา ประดิษฐ์ เทอดทูล และ ประเสริฐ ฤกษ์เกรียงไกร
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
239 ถ. ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ. เมือง เชียงใหม่ 50200
โทร 0-5394-4146 โทรสาร 0-5394-4145 E-mail: klotboonya@yahoo.com

Klot BOONYAWATTANA, Anucha PROMWUNGKWA Pradit TERDTOON and Prasert RERKKRIANGKRAI
Department of Mechanical, Faculty of Engineering, Chiang Mai University
239 huaykaew Rd. Suthap, Muang, Chiang Mai 50200, Thailand
Tel: 0-5394-4146 Fax: 0-5394-4145 E-mail: klotboonya@yahoo.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เปรียบเทียบสมรรถนะของแผงระเหยน้ำ 3 ชนิดที่ใช้ในระบบความเย็นแบบระเหยโดยตรง คือ กระสอบป่าน คอนกรีตมีรูพรุน และเยื่อกระดาษ โดยทำการทดลองในโรงเรือนทดลองขนาด 1.2×1.2×1.2 m^3 ที่อัตราการระบายอากาศ 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.00 m^3/s ข้อมูลที่บันทึกประกอบด้วยอุณหภูมิแห้ง และอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ ทั้งใน และนอกโรงเรือน พบว่าแผงระเหยน้ำแบบเยื่อกระดาษมีสมรรถนะสูงสุด รองลงมา คือ แผงระเหยน้ำแบบกระสอบป่าน และแบบคอนกรีตมีรูพรุน ตามลำดับ โดยแผงระเหยน้ำแบบเยื่อกระดาษที่อัตราการระบายอากาศ 1.00 m^3/s สามารถลดอุณหภูมิอากาศภายนอกได้สูงสุด 15.0°C เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองสภาพทางคณิตศาสตร์ พบว่าการลดลงของอุณหภูมิใกล้เคียงกัน การจำลองสภาพทางคณิตศาสตร์ของโรงเรือนเลี้ยงสุกรที่มีขนาด 900 m^2 และมีสุกรจำนวน 600 ตัว โดยทำการปรับเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดแผงระเหยน้ำแบบเยื่อกระดาษ 3 ขนาด คือ 7, 14 และ 21 m^2 โดยเลือกจำลองในวันของฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ฤดูละ 2 วัน พบว่าแผงระเหยน้ำขนาด 21 m^2 สามารถลดอุณหภูมิได้สูงสุดเท่ากับ 9.1°C ในฤดูร้อน 6.4°C ในฤดูหนาว และ 2.7°C ในฤดูฝน ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เมื่อปรับปรุงโรงเรือนเลี้ยงสุกรเดิมเป็นโรงเรือนที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงชนิดใช้แผงระเหยน้ำแบบเยื่อกระดาษ พบว่าโรงเรือนเลี้ยงสุกรที่ใช้แผงระเหยน้ำขนาด 14 และ 21 m^2 มีระยะเวลาในการคืนทุนประมาณ 2.6 และ 1.2 ปี ตามลำดับ

Abstract

The purpose of this study was to compare the performance of direct evaporative cooling using flat gunnysack pads, porous concrete and cellulose expanded paper. The experiment was conducted using 1.2×1.2×1.2 m^3 model house. The air flow rate was varied at four different values: 0.25, 0.50, 0.75 and 1.00 m^3/s. Temperatures at various positions inside and outside the house were monitored, including air temperatures before and after entering cooling pads. The cellulose expanded paper showed the highest temperature drop by decreasing 15.0°C outside temperature at air flow rate of 1.00 m^3/s. following by flat gunny sack-pads and porous concrete pads. Mathematical models of the house with cellulose expanded paper pads showed that the temperature drop inside the house was close to the experimental results. Mathematical model of a 900 m^2 swine house having 600 pigs was created and used cellulose expanded paper as a cooling pad with the front areas 7, 14 and 21 m^2. The simulations were conducted using weather data of 2 days in different seasons; summer, winter and rainy season. The results shown that the maximum temperature drop was 9.1°C with 21 m^2 cooling pad in summer. For winter and rainy season, the temperature drops were 6.4 and 2.7 °C, respectively. Economic analysis of the modified swine house by using the cooling pad 14 and 21 m^2 given payback periods of 2.6 years and 1.2 years respectively

1. บทนำ

ระบบทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (Direct evaporative cooling) เป็นระบบที่ใช้หลักการระเหยของน้ำ ปัจจุบันได้นำมาประยุกต์

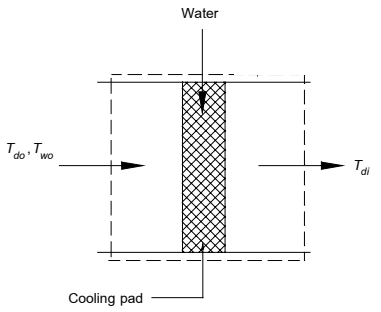
ใช้กับโรงเรือนทางการเกษตรกรรม หรือโรงงานอุตสาหกรรม ในด้านการเกษตรกรรมนั้นนำมาใช้ควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต การพัฒนาของสัตว์ และพืช เช่น อุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อเพิ่มผลผลิตให้มากขึ้น ประเทศไทยได้นำระบบทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงที่ใช้แผงระเหยน้ำ (Cooling pad) มาใช้กับงานด้านเกษตรกรรม เช่น โรงเรือนเลี้ยงสุกร โค ไก่ และการเพาะปลูกพืชบางชนิด งานวิจัยนี้จึงได้ทำการประดิษฐ์แผงระเหยน้ำจากวัสดุที่หาได้ในท้องถิ่น แล้วทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับแผงระเหยน้ำที่มีขายตามท้องตลาดเพื่อทดสอบสมรรถนะของแผงระเหยน้ำแต่ละชนิด โดยแผงระเหยน้ำที่มีสมรรถนะสูงสุดจากการทดลองจะนำไปจำลองสภาพโรงเรือนเลี้ยงสุกรขนาดจริง

เมื่ออากาศความชื้นต่ำไหลผ่านแผงระเหยน้ำที่เปียก จะทำให้น้ำบนผิวของแผงเกิดการระเหย โดยดูดความร้อนจากอากาศ ซึ่งอากาศหลังผ่านแผงระเหยน้ำจะมีอุณหภูมิแห้งลดลง และมีความชื้นเพิ่มขึ้น คุณสมบัติของอากาศในกระบวนการของระบบทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงบนไซโครเมตริกชาร์ทในอุดมคติจะดำเนินบนเส้นเอนทัลปีคงที่ หรือบนเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่ โดยสมมติให้อุณหภูมิของน้ำที่ผ่านแผงระเหยน้ำมีค่าเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าแผงระเหยน้ำ

แผงระเหยน้ำที่มีสมรรถนะสูง คือ แผงระเหยน้ำที่สามารถลดอุณหภูมิอากาศที่ไหลผ่านได้มาก และเป็นแผงระเหยน้ำที่มีสัมประสิทธิ์การอิ่มตัวสูง ซึ่งความสัมพันธ์ คือ [8]

$$E_S = \frac{T_{do} - T_{di}}{T_{do} - T_{wo}} \qquad (1)$$

เมื่อ T_{do} คือ อุณหภูมิแห้งอากาศก่อนผ่านแผงระเหยน้ำ T_{di} คือ อุณหภูมิแห้งอากาศหลังผ่านแผงระเหยน้ำ และ T_{wo} คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียกอากาศก่อนผ่านแผงระเหยน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 อุณหภูมิอากาศก่อนและหลังผ่านแผงระเหยน้ำ

2. การทดลอง

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาสมรรถนะของแผงระเหยน้ำ 3 ชนิด คือ แผงระเหยน้ำแบบกระสอบป่าน คอนกรีตมีรูพรุน และเยื่อกระดาษ แต่ละชนิดมีความหนา 15 cm โดยมีลักษณะดังนี้

- แบบกระสอบป่าน ทำจากกระสอบป่านขนาด 15×120 cm^2 นำมาวางเรียงตามขวาง มีระยะห่างระหว่างแผ่น 1.4 cm จำนวน 75 ผืน มีพื้นที่ผิวในการระเหยประมาณ 27 m^2 ต่อ 1 m^2 ของพื้นที่หน้าตัดแผงระเหยน้ำ

- แบบคอนกรีตมีรูพรุน ทำจากคอนกรีตมีรูขนาด 0.9 cm จำนวน 2700 รู มีพื้นที่ผิวในการระเหยประมาณ 12.5 m^2 ต่อ 1 m^2 ของพื้นที่หน้าตัดแผงระเหยน้ำ

- แบบเยื่อกระดาษ ผลิตโดยบริษัทเกษตรภัณฑ์อุตสาหกรม จำกัด มีพื้นที่ผิวในการระเหยประมาณ 54 m^2 ต่อ 1 m^2 ของพื้นที่หน้าตัดแผงระเหยน้ำ

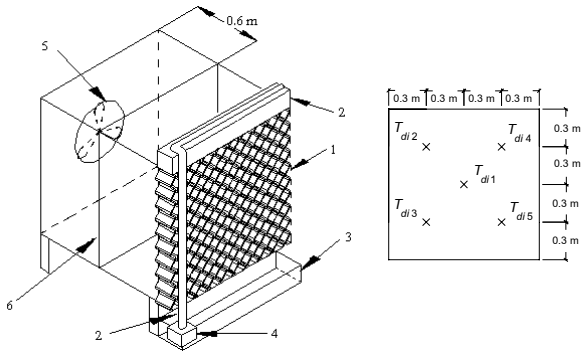
ทำการทดลองในโรงเรือนทดลองขนาด 1.2×1.2×1.2 m^3 ซึ่งผนังและหลังคาทำจากแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสี โดยมีลักษณะดังรูปที่ 2 ก. มีระบบกระจายและหมุนเวียนน้ำทำหน้าที่ให้แผงระเหยน้ำเปียกอยู่ตลอดเวลา พัดลมดูดอากาศติดตั้งในทิศตรงข้ามกับแผงระเหยน้ำทำหน้าที่ดูดอากาศแวดล้อมผ่านแผงระเหยน้ำ มีขั้นตอนการทดลอง ดังนี้

2.1 เปิดพัดลมดูดอากาศโดยปรับอัตราการไหลของอากาศ (F) ให้เท่ากับ 0.25 m^3/s พร้อมกับเปิดปั๊มน้ำให้เกิดการไหลเวียนของน้ำ

2.2 วัดอุณหภูมิแห้ง และอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศก่อนผ่านแผงระเหยน้ำ ค่าละ 1 ตำแหน่ง อุณหภูมิแห้งหลังผ่านแผงระเหยน้ำ 5 ตำแหน่ง (ดังรูปที่ 1 ข.) ทุกๆ 5 นาทีเป็นเวลา 10 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 8.00 – 18.00 น.

2.3 ทำการทดลองครั้งต่อไป โดยเปลี่ยนอัตราการระบายอากาศเป็น 0.50, 0.75 และ 1.00 m^3/s ตามลำดับ

หลังจากทำการทดลองกับแผงระเหยน้ำทั้ง 3 ชนิดแล้ว จึงทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของแผงระเหยน้ำ โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยตั้งแต่เวลา 8.00 – 18.00 น. ของผลต่างระหว่าง T_{do} กับ T_{di} และ E_S ที่มากที่สุด จากนั้นเลือกแผงระเหยน้ำที่มีสมรรถนะสูงสุด ไปจำลองสภาพโรงเรือนเลี้ยงสุกร



ก ข

รูปที่ 2 ก. โรงเรือนทดลอง ข. ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิหลังผ่านแผงระเหยน้ำ

1. แผงระเหยน้ำ 2. อุปกรณ์กระจายน้ำ 3. ถาดพักน้ำ 4. ปั๊มน้ำ
5. พัดลมดูดอากาศ 6. ระนาบวัดอุณหภูมิ

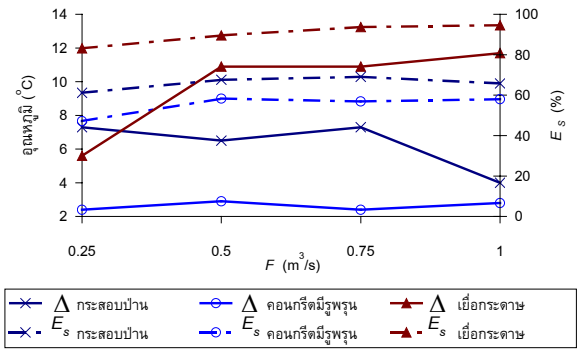
3. ผลการทดลอง

ผลของอุณหภูมิที่วัดได้ในแต่ละการทดลองนำมาแสดงเป็นผลต่างของ T_{do} กับ T_{di} เฉลี่ย, T_{do} กับ T_{di} สูงสุด และ E_S เฉลี่ยของแผง

ระเหยน้ำแต่ละชนิดในแต่ละอัตราการระบายอากาศดังแสดงในตารางที่ 1 และแสดงแนวโน้มเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการระบายอากาศดังรูปที่ 3 โดยเส้นเต็มแสดงผลต่างของ T_{do} กับ T_{di} เฉลี่ย (Δ) และเส้นประแสดง E_S เฉลี่ย

ตารางที่ 1 $T_{do}-T_{di}$ เฉลี่ย $T_{do}-T_{di}$ สูงสุด และ E_S เฉลี่ย ของแต่ละการทดลอง

ชนิดแผงระเหยน้ำ	F (m^3/s)	$T_{do}-T_{di}$ เฉลี่ย (^oC)	$T_{do}-T_{di}$ สูงสุด (^oC)	E_S เฉลี่ย (%)
กระสอบป่าน	0.25	7.3	8.4	61.2
	0.50	6.5	9.0	67.6
	0.75	7.3	9.7	69.1
	1.00	4.0	5.8	65.8
คอนกรีตมีรูพรุน	0.25	2.4	4.8	47.2
	0.50	2.9	4.9	58.3
	0.75	2.4	3.5	56.9
	1.00	2.8	4.0	58.0
เยื่อกระดาษ	0.25	5.6	7.0	83.2
	0.50	10.9	15.1	89.6
	0.75	10.9	16.3	93.7
	1.00	11.7	15.0	94.6



รูปที่ 3 $T_{do}-T_{di}$ เฉลี่ย และ E_S เฉลี่ย ของแต่ละการทดลอง

จากตารางที่ 1 พบว่าแผงระเหยน้ำแบบเยื่อกระดาษมีสมรรถนะสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับแผงระเหยน้ำชนิดอื่น เนื่องจากสามารถลดอุณหภูมิอากาศภายนอกโดยเฉลี่ยได้สูงสุด และมี E_S เฉลี่ยมากที่สุด จึงนำแผงระเหยน้ำดังกล่าวไปใช้กับแบบจำลองสภาพโรงเรือนเลี้ยงสุกร

จากรูปที่ 3 พบว่าผลต่างระหว่าง T_{do} กับ T_{di} ของแผงระเหยน้ำแบบเยื่อกระดาษมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดจากอัตราการระบายอากาศ 0.25 m^3/s และเกือบจะคงที่จาก 0.75-1.00 m^3/s โดยสูงสุดที่ 1.00 m^3/s ส่วน E_S สูงขึ้นเป็นลำดับจาก 0.25-1.00 m^3/s

ก่อนทำการจำลองสภาพโรงเรือนเลี้ยงสุกรเพื่อหาอุณหภูมิอากาศภายใน จะทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนทดลองที่ได้จากการทดลองกับที่ได้จากการคำนวณ โดยขั้นตอนในการคำนวณหาอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนทดลองเช่นเดียวกับขั้นตอนในการคำนวณหาอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกรของแบบจำลองสภาพ ดังนี้

<u>สมดุลความร้อนของโรงเรือน</u>

อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนขึ้นอยู่กับปริมาณความร้อนที่โรงเรือนได้รับทั้งหมด (Q_{Total}) คือ [7]

$$Q_{Total} = \Sigma Q_r + \Sigma Q_p + Q_{vent} \qquad (2)$$

เมื่อ ΣQ_r คือ ผลรวมของความร้อนที่ผ่านหลังคา ΣQ_p คือ ผลรวมของความร้อนที่ผ่านผนัง Q_{vent} คือ ความร้อนเนื่องจากการระบายอากาศ โดยการจำลองสภาพโรงเรือนเลี้ยงสุกรจะมีปริมาณความร้อนจากสิ่งมีชีวิต (Q_{living}) เพิ่มเข้าไปในสมการที่ 2

<u>สมดุลความร้อนของหลังคา</u>

เมื่อพิจารณาที่ผิวหลังคาด้านนอก ปริมาณความร้อนที่หลังคาได้รับจะเป็นผลรวมของการแผ่รังสีความร้อน การพาความร้อน และรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนหลังคา ดังสมการ [7]

$$Q_r = \left[h_{rad,ro}(T_{sky} - T_{ro}) + h_{c,ro}(T_{am} - T_{ro}) + \frac{I_{t,r}\alpha_r}{3600} \right] A_r \qquad (3)$$

<u>สมดุลความร้อนของผนัง</u>

พิจารณาผิวผนังด้านนอก ปริมาณความร้อนที่ผนังได้รับมีลักษณะเช่นเดียวกับหลังคา คือ เป็นผลรวมของการแผ่รังสีความร้อน การพาความร้อน และรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนผนัง ดังสมการ [7]

$$Q_p = \left[h_{rad,po}(T_{sky} - T_{po}) + h_{c,po}(T_{am} - T_{po}) + \frac{I_{t,p}\alpha_p}{3600} \right] A_p \qquad (4)$$

<u>การถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการระบายอากาศ</u>

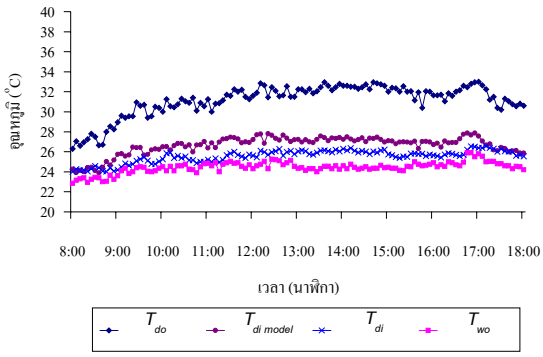
การถ่ายเทความร้อนจากการระบายอากาศ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลต่างของอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแผงระเหยน้ำ (T_o) กับอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือน (T_{in}) อัตราการระบายอากาศ (F) ความหนาแน่นของอากาศ (ρ) และค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศที่ความดันคงที่ (C_p) มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$Q_{vent} = F\rho C_p (T_o - T_{in}) \qquad (5)$$

โดยอุณหภูมิอากาศหลังผ่านแผงระเหยน้ำแบบเยื่อกระดาษคำนวณโดยอาศัยหลักของปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทระหว่างอากาศกับผิวแผงระเหยน้ำเท่ากับปริมาณความร้อนของอากาศที่เปลี่ยนแปลง ดังสมการ [4]

$$T_o = T_i - \left(\frac{h_p A_{pt} \Delta T_m}{\rho A_{ct} V_i C_p} \right) \qquad (6)$$

ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในจากการทดลอง (T_{di}) กับอุณหภูมิอากาศที่ได้จากการคำนวณ ($T_{di\ model}$) จากวิธีการที่กล่าวมาข้างต้น นำผลที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 0.75 m^3/s มาแสดงเป็นแผนภูมิในรูปที่ 4

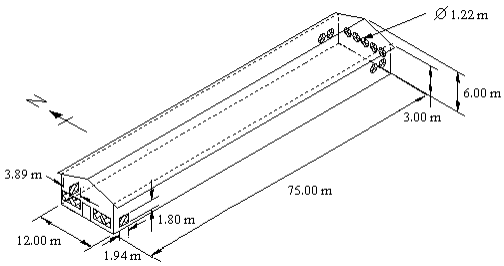


รูปที่ 4 อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนจากการทดลองกับจากการคำนวณ

4. แบบจำลองสภาพโรงเรือนเลี้ยงสุกร

การจำลองสภาพของโรงเรือนเลี้ยงสุกรจะใช้ขนาด และทิศทางการวางตัวของโรงเรือนดังรูปที่ 5 โดยปรับเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดแผงระเหยน้ำ 3 ขนาด คือ ขนาด 7, 14 และ 21 m^2 มีความเร็วอากาศภายในโรงเรือน 0.14 m/s โรงเรือนมีจำนวนสุกรอยู่ทั้งหมด 600 ตัว (สุกร 1 ตัว ผลิตความร้อน 0.13 W) ใช้ข้อมูลอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาราย 3 ชั่วโมง ของจังหวัดเชียงใหม่ ในปี พ.ศ. 2537 ในการจำลองสภาพ โดยเลือกวันในฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ฤดูละ 2 วัน คือ วันที่ 1 และ 30 เม.ย. เป็นตัวแทนของฤดูร้อน วันที่ 1 และ 30 ส.ค. เป็นตัวแทนของฤดูฝน และวันที่ 1 และ 30 ธ.ค. เป็นตัวแทนของฤดูหนาว ข้อมูลของวัสดุที่ใช้เป็นหลังคา และผนังมีคุณสมบัติดังตารางที่ 2 มีสมมติฐานของแบบจำลองสภาพดังต่อไปนี้

- ไม่มีการสะสมความร้อนของหลังคา และผนัง
- อุณหภูมิ ความเร็ว และความดันอากาศภายในโรงเรือนมีค่าเท่ากันทุกตำแหน่ง
- ไม่มีการแผ่รังสีความร้อนระหว่างผนังด้านใน และหลังคาด้านในโรงเรือน
- ไม่มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างพื้นโรงเรือนกับอากาศภายในโรงเรือน
- ไม่พิจารณาผลของเวลาสุริยะในการคำนวณหาปริมาณรังสีแสงอาทิตย์
- ไม่มีความดันตกคร่อมของอากาศหลังผ่านแผงระเหยน้ำ



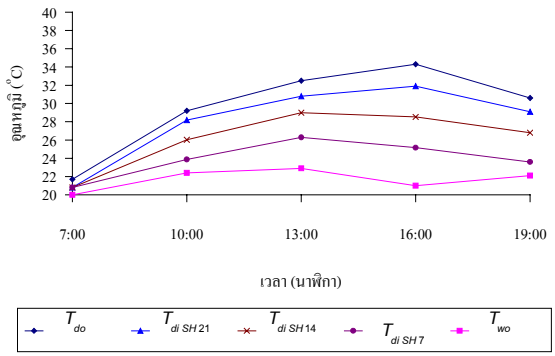
รูปที่ 5 ลักษณะโรงเรือนเลี้ยงสุกรในแบบจำลองสภาพ

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของหลังคา และผนังในแบบจำลองสภาพโรงเรือนเลี้ยงสุกร

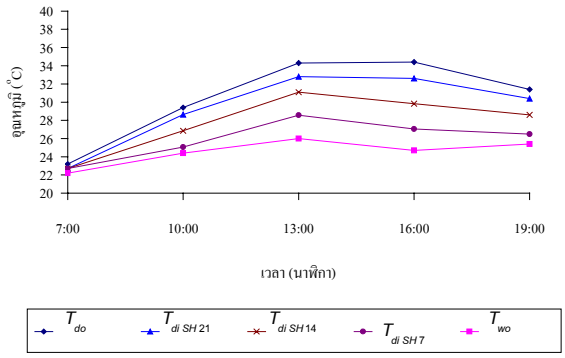
คุณสมบัติ	หลังคา	ผนัง
พื้นที่/ด้าน (m^2)	503	225
ความหนา (cm)	0.4	7
มุมเอียงจากแนวระดับ (องศา)	26.57	90
ค่าการนำความร้อน (k, W/m.K)	0.836	0.69
ค่าการแผ่รังสีความร้อน (ε)	0.9	0.75
ค่าการดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ (α)	0.5	0.26

5. ผลการจำลองสภาพโรงเรือนเลี้ยงสุกร

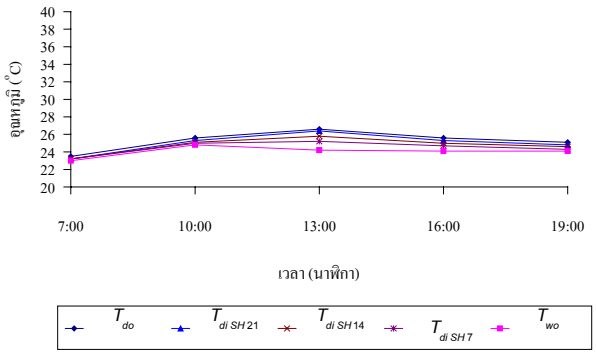
ผลของอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกรที่ใช้แผงระเหยน้ำขนาด 7 m^2 ($T_{di\ SH7}$), 14 m^2 ($T_{di\ SH14}$) และ 21 m^2 ($T_{di\ SH21}$) ที่ได้จากแบบจำลองสภาพในวันที่ 1 และ 30 เม.ย. วันที่ 1 และ 30 ส.ค. และ วันที่ 1 และ 30 ธ.ค. แสดงดังรูปที่ 6-รูปที่ 11



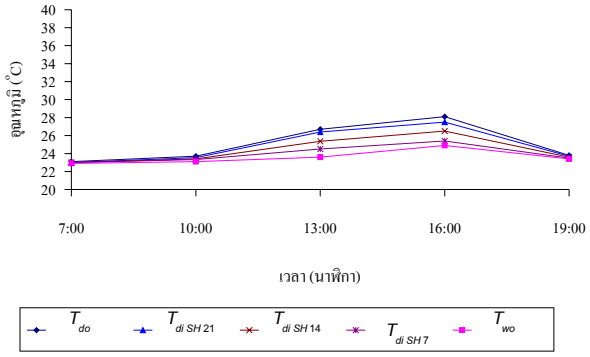
รูปที่ 6 อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกร ของวันที่ 1 เม.ย. 2537



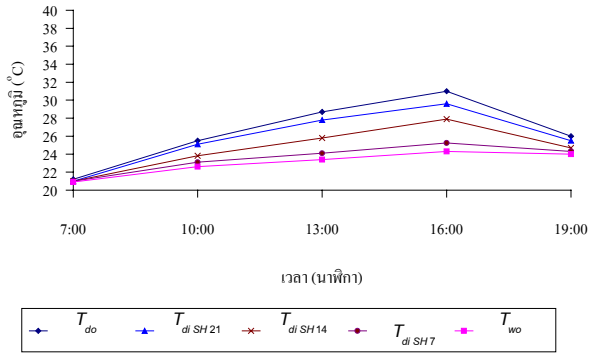
รูปที่ 7 อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกร ของวันที่ 30 เม.ย. 2537



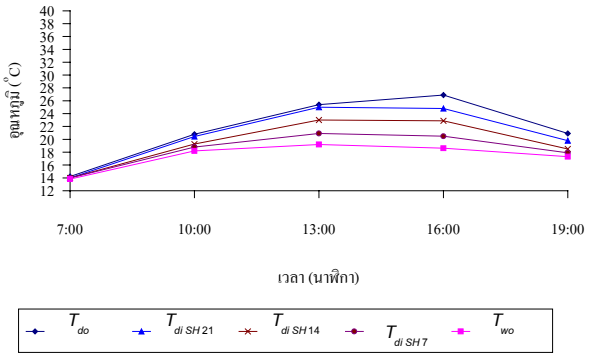
รูปที่ 8 อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกร ของวันที่ 1 ส.ค. 2537



รูปที่ 9 อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกร ของวันที่ 30 ส.ค. 2537



รูปที่ 10 อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกร ของวันที่ 1 ธ.ค. 2537



รูปที่ 11 อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกร ของวันที่ 30 ธ.ค. 2537

พิจารณารูปที่ 6-รูปที่ 11 พบว่าอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนแปรผันกับอุณหภูมิแห้งอากาศภายนอกโรงเรือนโดยในช่วงที่อุณหภูมิแห้งอากาศภายนอกสูงอุณหภูมิภายในก็จะสูงตาม ส่วนการลดลงของอุณหภูมิจะทำได้ดีในช่วงเวลา 13.00-16.00 น. หรือในช่วงเวลาที่มี $(T_{do} - T_{wo})$ มาก โดยแผงระเหยน้ำขนาด 21 m^2 สามารถลดอุณภูมิอากาศภายนอกได้มากที่สุด

6. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

จากผลอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนเลี้ยงสุกรของแบบจำลองสภาพ นำมาคำนวณหาระยะเวลาในการคืนทุนเมื่อดัดแปลงโรงเรือนเลี้ยงสุกรแบบเปิดที่มีอยู่เดิม เป็นโรงเรือนเลี้ยงสุกรแบบปิดที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (ค่าติดตั้งและอุปกรณ์ต่างๆ ประมาณ 300 บาท/m^2) ที่ใช้แผงระเหยน้ำขนาด 14 และ 21 m^2 (ขนาด 7 m^2 ลดอุณหภูมิได้ไม่มากจึงไม่นำมาพิจารณาด้วย) ซึ่งแผงระเหยน้ำทั้ง 2 ขนาดใช้พัดลมจำนวน 6 และ 9 ตัว ตามลำดับ โดยรายได้ที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงเกิดจากน้ำหนักสุกรที่สูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนลดลง ดังแสดงผลของอุณหภูมิอากาศในโรงเรือนต่อน้ำหนักสุกรที่เพิ่มขึ้นใน 1 วัน (ตารางที่ 3) และมีสมมติฐานในการวิเคราะห์ดังนี้

- ไม่พิจารณาต้นทุนที่สูงขึ้นจากราคาอาหาร จากค่าบำรุงรักษาโรงเรือน และต้นทุนที่ลดลงจากค่ายารักษาโรค เมื่อใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง
- นำสุกรเข้าโรงเรือนที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงเมื่อสุกรมีน้ำหนัก 45 kg โดยนำเข้าที่ต้นฤดูกาล และนำออกจำหน่ายที่ปลายฤดูกาล จำนวน 3 รุ่น/ปี รุ่นละ 122 วัน (1 ฤดูกาล)
- อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบของแผงระเหยน้ำทั้ง 2 ขนาด เหมือนกันทั้งหมด ยกเว้นขนาดแผงระเหยน้ำ และจำนวนพัดลม
- สุกรมีอัตราการเจริญเติบโตเท่ากันทุกตัว
- ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 2.5 บาท ทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน
- ราคาสุกรตามท้องตลาด เท่ากับ 40 บาท/kg

การคำนวณหาน้ำหนักสุกรที่เพิ่มขึ้นในแต่ละวันของฤดูต่างๆ จะกำหนดให้อุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนที่ช่วงเวลาต่างๆ คือ อุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณของวันที่เป็นตัวแทนของฤดู ซึ่งผลของน้ำหนักในช่วงเวลาต่างๆ จะมีผลในการคำนวณในช่วงเวลาถัดไปจนครบ 122 วัน ได้ผลของน้ำหนักสุกรที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงที่ใช้แผงระเหยน้ำขนาด 14 และ 21 m^2 ในฤดูต่างๆ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ผลของอุณหภูมิต่อการเติบโตต่อวันของสุกร (kg) [2]

น้ำหนัก	อุณหภูมิ (°C)							
(kg)	4	10	16	21	27	32	38	43
45	-	0.62	0.72	0.91	0.89	0.64	0.18	0.60
68	0.58	0.67	0.79	0.98	0.83	0.52	0.19	1.18
90	0.54	0.71	0.87	1.01	0.76	0.40	0.35	-
113	0.50	0.76	0.84	0.97	0.68	0.28	0.62	-
136	0.46	0.80	1.02	0.93	0.62	0.16	0.88	-
159	0.43	0.85	1.09	0.90	0.55	0.15	0.15	-

ตารางที่ 4 น้ำหนักสุกรจากการใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงในเวลา 122 วัน

ฤดู	น้ำหนักสุกร/ตัว (kg)			น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น/ตัว (kg)	
	No evap.	14 m^2	21 m^2	14 m^2	21 m^2
ร้อน	130.3	135.7	142.3	5.4	12.0
ฝน	144.8	145.8	146.6	1.0	1.8
หนาว	151.3	153.2	156.0	1.9	4.6

ตารางที่ 5 รายได้ที่เพิ่มขึ้นจากการขายสุกรเมื่อใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง

ฤดู	รายได้ที่เพิ่มขึ้น/ตัว (บาท)		รายได้ที่เพิ่มขึ้น/600ตัว (บาท)	
	14 m^2	21 m^2	14 m^2	21 m^2
ร้อน	216	480	129,600	288,000
ฝน	40	72	24,000	43,200
หนาว	76	184	45,600	110,400
รวม/ปี	***332***	***736***	***199,200***	***441,600***

การคำนวณหาระยะเวลาในการคืนทุน คำนวณจากสูตร

$$\text{ระยะเวลาในการคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุนเบื้องต้น}}{\text{รายได้เฉลี่ยต่อปี-ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อปี}} \quad (7)$$

โดยมีรายละเอียดของเงินลงทุนเบื้องต้น ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อปี รายได้เฉลี่ยต่อปี ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณหาระยะเวลาในการคืนทุน

ตัวแปร	14 m^2	21 m^2
เงินลงทุนเบื้องต้น		
- แผงระเหยน้ำ	19,500	29,250
- พัดลมดูดอากาศ (มอเตอร์ 1.1 kW/ตัว)	96,000	144,000
- ค่าติดตั้ง และอุปกรณ์ต่างๆ (900 m^2)	270,000	270,000
รวม	***385,500***	***443,250***
ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อปี		
- ค่าไฟฟ้า	***48,180***	***72,270***
รายได้เฉลี่ยต่อปี		
- รายได้ที่เพิ่มขึ้น	***199,200***	***441,600***

จากปริมาณต่างๆ ในตารางที่ 6 และสมการ 7 พบว่าแผงระเหยน้ำขนาด 14 และ 21 m^2 มีระยะเวลาในการคืนทุนประมาณ 2.6 และ 1.2 ปี ตามลำดับ

7. สรุป

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าแผงระเหยน้ำแบบเยื่อกระดาษมีสมรรถนะสูงสุด รองลงมา คือ แบบกระสอบป่าน และแบบคอนกรีตมีรูพรุนตามลำดับ โดยแบบเยื่อกระดาษมีสมรรถนะสูงสุดที่อัตราการระบายอากาศเท่ากับ 1 m^3/s การลดลงของอุณหภูมิในโรงเรือนทดลองและประสิทธิภาพการอิ่มตัวของแผงระเหยน้ำเรียงลำดับจากอัตราการระบายอากาศ 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.00 m^3/s มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก. แผงระเหยน้ำแบบเยื่อกระดาษ มี $T_{do} - T_{di}$ เฉลี่ย เท่ากับ 5.6, 10.9, 10.9 และ 11.7°C มี E_S เฉลี่ย เท่ากับ 83.2, 89.6, 93.7 และ 94.6 %

ข. แผงระเหยน้ำแบบกระสอบป่าน มี $T_{do} - T_{di}$ เฉลี่ย เท่ากับ 7.3, 6.5, 7.3 และ 4.0°C มี E_S เฉลี่ย เท่ากับ 61.2, 67.6, 69.1 และ 65.8 %

ค. แผงระเหยน้ำแบบคอนกรีตมีรูพรุน มี $T_{do} - T_{di}$ เฉลี่ย เท่ากับ 2.4, 2.9, 2.4 และ 2.8°C มี E_S เฉลี่ย เท่ากับ 47.2, 58.3, 56.9 และ 58.0 %

จากผลการจำลองสภาพโรงเรือนเลี้ยงสุกรในฤดูต่างๆ พบว่าแผงระเหยน้ำขนาด 21 m^2 ลดอุณหภูมิได้มากกว่าแผงระเหยน้ำขนาดอื่นๆ โดยฤดูร้อนสามารถลดอุณหภูมิได้สูงสุด รองลงมา คือ ฤดูหนาว และฤดูฝน ตามลำดับ ซึ่งในฤดูร้อนลดอุณหภูมิได้สูงสุด 9.1°C ส่วนฤดูหนาว และฤดูฝน ลดอุณหภูมิได้สูงสุด 6.4 °C และ 2.7 °C ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าเมื่อดัดแปลงโรงเรือนเลี้ยงสุกรเดิมที่มีอยู่เป็นโรงเรือนที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงที่ใช้แผงระเหยน้ำแบบเยื่อกระดาษขนาด 14 และ 21 m^2 มีเงินลงทุนเบื้องต้น 385,500 และ 443,250 บาท ตามลำดับ มีระยะเวลาในการคืนทุนประมาณ 2.6 และ 1.2 ปี ตามลำดับ

8. เอกสารอ้างอิง

[1] เสริมศักดิ์ เจี๊ยบนา. (2541). โรงเรือนสุกร. *สุกรสาส์น*, 96, 35-42.

[2] บุญลือ เผือกผ่อง. (2536). ผลของอุณหภูมิที่มีต่อสมรรถภาพของสุกร. *การผลิตและการจัดการสุกร* (หน้า 188-189), เชียงใหม่ : คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[3] Bayazitoğlu, Y. and Özişik, M.N. (1988). Elements of heat transfer. Singapore : McGraw-Hill.

[4] Bejan, A. (1993). Other external flow configurations, *Heat transfer* (pp. 355-357), New York : John Wiley&Sons, Inc.

[5] Duffie, J.A. and Beckman W.A. (1980). *Engineering of thermal processes* , New York : John Wiley&Sons, Inc.

[6] Moran, M.J. and Shapiro, H.N. (1995). Nonreacting ideal gas mixtures and psychrometrics. *Fundamental of engineering thermodynamics* (pp. 588-611), New York : John Wiley&Sons, Inc.

[7] Thepa S. (1997). Feasibility of evaporative cooling applications for a Lentinus edodes (Berk) sing house. Ph.D. Dissertation, King Mongkut's University of Technology, Thonburi, Bangkok, Thailand.

[8] Watt, J.R., Koral, R.L., Crow, L.W. and Greenberg, A. (1986). Theory of direct evaporative cooling. *Evaporative air conditioning handbook* (pp. 12-24), New York : CHAPMAN&HALL

9.สัญลักษณ์

A_c พื้นที่หน้าตัดท่อ

A_{ct} พื้นที่ว่างบนระนาบหน้าตัด

A_p พื้นที่ผนัง

A_{pt} พื้นที่ผิวแผงระเหยน้ำทั้งหมด

A_r	พื้นที่หลังคา
D_h	$= 4A_c / P_c$
$h_{c,po}$	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของผิวผนังด้านนอก
$h_{c,ro}$	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของผิวหลังคาด้านนอก
h_p	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแผงระเหยน้ำโดยพิจารณาเป็นการไหลในท่อแบบบังคับผ่านท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว ซึ่งเท่ากับ $2.47k/D_h$
$h_{rad,po}$	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของผิวผนังด้านนอก
$h_{rad,ro}$	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของผิวหลังคาด้านนอก
$I_{t,p}$	ปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนผนังที่ได้จากการประมาณค่ารังสีแสงอาทิตย์บนระนาบเอียง
$I_{t,r}$	ปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนหลังคาซึ่งได้จากการประมาณค่ารังสีแสงอาทิตย์บนระนาบเอียง
k	ค่าการนำความร้อน
P_c	เส้นรอบรูปหน้าตัดท่อ
T_{am}	อุณหภูมิอากาศแวดล้อม
T_i	อุณหภูมิอากาศก่อนผ่านแผงระเหยน้ำ
T_{po}	อุณหภูมิผิวผนังด้านนอก
T_{ro}	อุณหภูมิผิวหลังคาด้านนอก
T_{sky}	อุณหภูมิท้องฟ้า
ΔT_m	Logarithmic mean temperature difference
V_i	ความเร็วอากาศก่อนผ่านแผงระเหยน้ำ
α_p	ค่าการดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ของผนัง
α_r	ค่าการดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ของหลังคา