



เอกสารของ ว.ศ.ท.
ห้ามนำออกนอกห้องสมุด

การศึกษาความเป็นไปได้ของการนำปั๊มความร้อน มาใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือก

FEASIBILITY STUDY OF PADDY DRYING USING HEAT PUMP

บัญชา ยาทิพย์, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และ อติศักดิ์ นาถกรณกุล
คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ถนนสุขสวัสดิ์ 48 กรุงเทพฯ 10140

Bancha Yathip, Somchart Soponronnarit and Adisak Nathakaranakule
School of Energy and Materials
King Mongkut's Institute of Technology Thonburi
Suksawat 48 Rd., Bangkok 10140, Thailand

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำปั๊มความร้อนมาใช้ในการอบแห้ง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบใกล้เคียงจริง ศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อความสิ้นเปลืองพลังงานเพื่อหาแนวทางการอบแห้งที่เหมาะสม ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ อัตราการไหลจำเพาะ อุณหภูมิของอากาศอบแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก และความสูงของชั้นข้าวเปลือก โดยศึกษาอยู่ในช่วงอัตราการไหลจำเพาะ 10-20 m^3/min - m^3/paddy อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 36-50 °C อากาศแวดล้อม 30 °C ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนแปลงค่าที่ 70%RH และ 80%RH ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 18-24% มาตรฐานเปียก และความสูงของชั้นข้าวเปลือกเปลี่ยนแปลงค่าที่ 0.5 m และ 1 m ตามลำดับ พบว่า อัตราการอบแห้งขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศจำเพาะ และอุณหภูมิของอากาศที่อัตราการไหลของอากาศจำเพาะต่ำ อุณหภูมิสูง จะสิ้นเปลืองพลังงานต่ำ และที่ความสูงของชั้นข้าวเปลือกสูงจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานสูง จุดที่เหมาะสมในการอบแห้งคือ ที่อัตราการไหลของอากาศจำเพาะ 12 $\text{m}^3/$

min-m³paddy อุณหภูมิ 49 °C ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 0.5 m อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมเท่ากับ 30 °C, 70% RH ใช้งาน 2,160 ชั่วโมงต่อปี ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งข้าวเปลือก โดยลดความชื้นจาก 24% เหลือ 14% มาตรฐานเปียกเท่ากับ 61.50 บาท/ตัน

ผลการวิเคราะห์ความไวของการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายในการอบแห้งโดยพิจารณาตัวแปร 3 ตัวคือ เวลาการทำงาน อัตราค่าไฟฟ้า และอัตราดอกเบี้ยพบว่า เมื่ออัตราค่าไฟฟ้าและอัตราดอกเบี้ยเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันเมื่อเวลาการทำงานเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ค่าใช้จ่ายลดลง ผลจากการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์เปรียบเทียบกับระบบอบแห้งที่ใช้น้ำมันดีเซลพบว่า มีความเป็นไปได้ที่จะนำป้มน้ำมันมาใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือก

คำสำคัญ (Keywords) : การอบแห้งข้าวเปลือก/ป้มน้ำมัน/แบบจำลองทางคณิตศาสตร์/ความสิ้นเปลืองพลังงาน

ABSTRACT

The objective of this research is to pursue the feasibility study of paddy drying using heat pump in comparison with diesel burner dryer. A near-equilibrium mathematical drying model was employed to find the optimum condition of drying by considering drying rate and energy consumption. Variables studied were height of paddy bed of 0.5 m and 1 m, specific air flow rate of 10-20 m³/min-m³paddy, drying air temperature between 36-50 °C, initial moisture content of 18-24% wet basis, final moisture content of 14% wet basis, ambient temperature of 30 °C and relative humidity, 70% and 80%. Simulation result showed that specific air flow rate and drying air temperature affected significantly the drying rate of paddy. Energy consumption increased with the specific air flow rate. The best condition was drying air temperature maintained at 49 °C, bed height of 0.5 m and specific air flow rate of 12 m³/min-m³paddy. Drying cost for reducing moisture from 24% to 14% wet-basis was 61.50 baht/ton of paddy if operating time was 2,160 hours per year.

The results from sensitivity analysis, based on electricity price, operating time and interest rate, showed that the drying cost increased with electricity price and interest rate but decreased with operating time. The economical analysis showed that paddy drying using heat pump was feasible compared to that using diesel burner.

Keywords : Paddy drying/Heat pump/Mathematical model/Energy consumption

บทนำ

ความชื้นของเมล็ดพืชเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของเมล็ดพืชในการเก็บรักษา เมล็ดพืชที่มีความชื้นสูงจะเน่าเสียได้ง่ายเนื่องจากการ

กระทำของเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ การเก็บรักษาเมล็ดพืชไว้ให้ปลอดภัยและยังคงคุณภาพไว้ได้จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องลดความชื้นของเมล็ดพืชลงให้เหลือค่าประมาณ 13-

14%มาตรฐานเปียก [3] ซึ่งเป็นช่วงความชื้นที่กิจกรรมต่างๆ ของเชื้อจุลินทรีย์ลดลง การลดความชื้นของเมล็ดพืชโดยทั่วไป ใช้วิธีการอบแห้งซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ความร้อนในการระเหยน้ำออกจากเมล็ดพืช ความร้อนที่ใช้อาจได้มาจากแหล่งพลังงานความร้อนต่างๆ เช่น ไฟฟ้า, น้ำมันดีเซล, ถ่านหิน เป็นต้น

ปั๊มความร้อนเป็นอุปกรณ์หนึ่งที่สามารถให้ความร้อนและความเย็นภายในตัวเดียวกัน ความร้อนที่ระบายออกจากปั๊มความร้อนมีศักยภาพสูงพอสำหรับการอบแห้งแบบเป็นงวดซึ่งเป็นวิธีการอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้งสูง และสามารถอบแห้งเมล็ดพืชได้เป็นปริมาณมากและลดความชื้นของเมล็ดพืชได้รวดเร็วในกรณีที่ความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดพืชมีค่าสูง การนำปั๊มความร้อนมาประยุกต์ใช้ในการอบแห้งเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่มีใช้กันอยู่บ้างในต่างประเทศ แต่ยังไม่แพร่หลายเท่าที่ควรในประเทศไทย ซึ่งปั๊มความร้อนที่มีใช้กันจะเป็นปั๊มขนาดใหญ่สำหรับทำน้ำร้อนและน้ำเย็นในกิจการโรงแรมเท่านั้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการนำปั๊มความร้อนมาใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือก (เครื่องอบแห้งประกอบด้วยปั๊มความร้อนที่ใช้ทำน้ำร้อนและน้ำเย็นแบบอัดไอ ซึ่งเป็นแบบเดียวที่มีจำหน่ายในประเทศไทย, อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และห้องอบแห้ง) โดยการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อศึกษาเงื่อนไขของการอบแห้งข้าวเปลือกที่เหมาะสม และเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการอบแห้งกับระบบอบแห้งที่ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

วิธีการ

วิธีการสร้างแบบจำลองทำได้โดยนำข้อมูลจากแคตตาล็อกการทำงานของปั๊มความร้อนมาทำการพิตกราฟ หลังจากนั้นก็จะใช้แบบจำลองการอบแห้งแบบใกล้เคียงของสมชาติ โสภณรณฤทธิ์ [2] หรือ Soponronnarit [5] มาวิเคราะห์ร่วมกับแบบจำลองพลังงานของระบบปั๊มความร้อน เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อความสิ้นเปลืองพลังงานของ

ระบบอบแห้ง และอัตราการผลิต ลักษณะการทำงานวิจัยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนที่ 1 เป็นการวิเคราะห์ทางด้านเทคนิคเกี่ยวกับการจำลองสภาพการอบแห้งโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในส่วนที่ 2 เป็นการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์โดยเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการอบแห้งของระบบอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนและระบบอบแห้งโดยใช้น้ำมันดีเซล

1. การจำลองสภาพการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการศึกษานี้ใช้ปั๊มความร้อนรุ่น 30 HM-180 ซึ่งเป็นปั๊มความร้อนแบบอัดไอ คอมเพรสเซอร์เป็นแบบลูกสูบ ใช้ R-500 เป็นสารทำงาน ทำน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60°C และน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 28°C สมรรถนะของปั๊มความร้อนแสดงในตารางที่ 1 การคำนวณหาสมรรถนะการทำงานของปั๊มความร้อนความสามารถในการทำความร้อน ความสามารถในการทำความเย็น กำลังงานที่ต้องการโดยคอมเพรสเซอร์ ใช้สมการที่ได้จากการพิตกราฟโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากแคตตาล็อก [4] ซึ่งได้ค่าออกมาดังนี้

สมรรถนะการทำงานของปั๊ม

ความร้อน = 3.72

ความสามารถในการทำ

ความร้อน = 781 kW

ความสามารถในการทำ

ความเย็น = 590 kW

กำลังงานที่ต้องการโดย

คอมเพรสเซอร์ = 210.2 kW

ในการจำลองสภาพการอบแห้งข้าวเปลือก มีเงื่อนไขในการทำแบบจำลองดังนี้

อบแห้งที่ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 0.5 m และ 1 m อัตราการไหลของอากาศจำเพาะอยู่ในช่วง $10\text{--}20\text{ m}^3/\text{min}\text{--m}^2\text{paddy}$ อุณหภูมิอบแห้งเปลี่ยนค่าอยู่ในช่วง $36\text{--}50^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิอากาศแวดล้อมคงที่ที่ 30°C แต่เปลี่ยนความชื้นสัมพัทธ์ที่ 70% และ 80% ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกใช้ค่าอยู่ในช่วง 18–24%

มาตรฐานเปียก ในการจำลองแบบปัญหานี้จะออกแบบให้เครื่องปั๊มความร้อนทำงานที่เต็มพิกัด โดยจะเปลี่ยนปริมาณข้าวเปลือกให้พอดีกับพิกัดความสามารถของเครื่องปั๊มความร้อน

ปริมาณข้าวเปลือกและอัตราการไหลของอากาศจำเพาะที่ใช้ในการจำลองแบบปัญหาเป็นดังนี้

อัตราการไหลของอากาศจำเพาะ (m ³ /min-m ³ paddy)	ปริมาณข้าว (ตัน)
10	100
12	90
14	80
16	70
18	60
20	50

2. วิธีการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์

การศึกษาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้ปั๊มความร้อนและน้ำมันดีเซลอาศัยการวิเคราะห์ต้นทุนค่าใช้จ่ายรายปีของระบบอบแห้งทั้งสอง

หลักเกณฑ์ในการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์

- อายุการทำงานของเครื่องอบแห้งและทำความเย็นโดยใช้ปั๊มความร้อน 1-10 ปี
- อัตราดอกเบี้ยเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 9-17%
- อัตราค่าไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 1.24-2.02 บาท/kW-h
- มูลค่าซากคิดเป็น 10% ของเงินลงทุนครั้งแรก
- ค่าบำรุงรักษาเฉลี่ยเท่ากันทุกๆ ปีๆ ละ 0.5% ของเงินลงทุนครั้งแรก
- น้ำมันดีเซลราคาเฉลี่ย 6.67 บาท

3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นแบบจำลองแบบใกล้เคียงสมดุลของ Soponronnarit [5] ซึ่งประกอบด้วยสมการหลักอยู่ 3 สมการคือ

1. สมการสมดุลพลังงาน

$$c_a T_o + (2502 + c_v T_o) W_o + R c_{pw} \theta_o = c_a T_f + (2502 + c_v T_f) W_f + R c_{pw} T_f \quad (1)$$

เมื่อ c = ความร้อนจำเพาะ, kJ/kg °C

θ = อุณหภูมิเม็ดพืช, °C

T = อุณหภูมิอากาศ, °C

W = อัตราส่วนความชื้นของอากาศ, kgH₂O/kg dry air

R = อัตราส่วนของมวลของเมล็ดพืชแห้งในชั้นบางที่กำลังพิจารณาต่อมวลอากาศแห้งในช่วงเวลาหนึ่ง, kg dry matter/kg dry air

เมื่อสัญลักษณ์กำกับล่างมีความหมายดังนี้

a = อากาศ v = ไอน้ำ

o = ภาวะก่อนอบแห้ง f = ภาวะหลังอบแห้ง

pw = เมล็ดพืช

2. สมการสมดุลมวล

$$W_f - W_o = (M_o - M_f) R \quad (2)$$

เมื่อ M = ความชื้นเฉลี่ยของข้าวเปลือก, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

3. สมการอบแห้งชั้นบาง

$$(M - M_{eq}) / (M_{in} - M_{eq}) = \exp(-x t^y) \quad (3)$$

$$x = 0.0295800 - 0.445650 RH_o + 0.121500 T_o$$

$$y = 0.133650 + 1.93653 RH_0 - 1.77431 RH_0^2 + 0.00946800 T_0$$

เมื่อ M_{in} = ความชื้นเริ่มต้นของเปลือก, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

M_{eq} = ความชื้นสมดุล, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

RH_0 = ความชื้นสัมพัทธ์ก่อนอบแห้ง, เศษส่วน

t = เวลาการอบแห้ง, h

นอกจากสมการที่ (1) - (3) ยังมีสมการการคำนวณหาอุณหภูมิของอากาศที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากพัดลมซึ่งเขียนได้ว่า

$$\Delta T = P / [\rho_a E_f (c_a + c_v W_0)] \quad (4)$$

เมื่อ

ΔT = อุณหภูมิของอากาศที่เพิ่มขึ้น, °C

ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m³

P = ความดันรวม, kPa

E_f = ประสิทธิภาพของพัดลม, เศษส่วน

นอกจากนี้ยังคำนวณหามวลแห้งที่สูญเสียและความร้อนและความชื้นที่เกิดจากการหายใจของเมล็ดพืช [6] อย่างไรก็ตามการสูญเสียมวลแห้งมีค่าน้อย

3.2 แบบจำลองพลังงานของระบบอบแห้ง

Soponronnarit [5] แสดงรายละเอียดการวิเคราะห์พลังงานในระบบการอบแห้งเมล็ดพืชดังนี้

กำลังงานเพลลาที่พัดลม W_s , (kW) สามารถคำนวณได้จาก

$$W_s = P (m_a / \rho_a) / E_f \quad (5)$$

เมื่อ m_a คือ อัตราการไหลของอากาศ, kg/s

กำลังงานที่ให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนสามารถคำนวณได้จาก

$$W_m = W_s / E_m \quad (6)$$

เมื่อ W_m คือกำลังงานที่ให้กับมอเตอร์ไฟฟ้า (kW) และ E_m คือประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า (เศษส่วน)

อัตราความร้อนที่ใช้ในการอุ่นอากาศ, kW หาได้จาก

$$Q = m_a (c_a + W c_v) \Delta T \quad (7)$$

3.3 สมการของบีมความร้อน

สมการของบีมความร้อนหาได้จากการนำข้อมูลจากแคลคูลัสมาพิเคราะห์ ได้สมการดังนี้

ขนาดความสามารถในการทำความร้อนคำนวณได้จาก

$$Q_c = a_1 + a_2 t_c + a_3 t_c^2 + a_4 t_c + a_5 t_c^2 + a_6 t_c + a_7 t_c^2 + a_8 t_c^2 + a_9 t_c^2 \quad (8)$$

กำลังงานที่ต้องการโดยคอมเพรสเซอร์

คำนวณได้จาก

$$P_c = b_1 + b_2 t_c + b_3 t_c^2 + b_4 t_c + b_5 t_c^2 + b_6 t_c + b_7 t_c^2 + b_8 t_c^2 + b_9 t_c^2 \quad (9)$$

สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของบีมความร้อน คำนวณได้จาก

$$COP = c_1 + c_2 t_c + c_3 t_c^2 + c_4 t_c + c_5 t_c^2 + c_6 t_c + c_7 t_c^2 + c_8 t_c^2 + c_9 t_c^2 \quad (10)$$

เมื่อ Q_c = อัตราการทำความเย็น, kW

P_c = กำลังงานที่ต้องการโดยคอมเพรสเซอร์, kW

t_c = อุณหภูมิน้ำเย็น, °C

t_c = อุณหภูมิน้ำร้อน, °C

$a_1 - a_9, b_1 - b_9, c_1 - c_9$ = ค่าคงที่ซึ่งหาได้จากการพิเคราะห์ [1]

อัตราความร้อนที่ต้องการระบายทิ้งออกจากคอนเดนเซอร์ คำนวณได้จาก

$$Q_c = Q_c + P_c \quad (11)$$

เมื่อ Q_c = อัตราความร้อนที่ระบายทิ้งจากคอนเดนเซอร์, kW

อัตราการถ่ายเทความร้อนที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยน

เปลี่ยน, kW ซึ่งเท่ากับ Q ในสมการที่ (7) คำนวณได้จาก

$$Q = UA\Delta T_m \quad (12)$$

เมื่อ U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม, $\text{kW/m}^2 - ^\circ\text{C}$

A = พื้นที่การแลกเปลี่ยนความร้อน, m^2

ΔT_m = ความแตกต่างของอุณหภูมิแบบล็อกมิน, $^\circ\text{C}$

จากสมการต่างๆ ข้างต้นจะสามารถคำนวณหาพลังงานที่ใช้ที่ตัวพัดลมหรือที่แหล่งความร้อนหรือสามารถคำนวณการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของอากาศได้

ผลและวิจารณ์

1. ผลการหาแนวทางการอบแห้งที่เหมาะสมโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งข้าวเปลือกนี้ได้รับการทดสอบความถูกต้องโดยเปรียบเทียบผลการทดลองและผลจากแบบจำลอง ซึ่งพบว่าแบบจำลองสามารถทำนายผลได้ถูกต้องดี [5, 6]

จากการจำลองแบบปัญหาการอบแห้งโดยใช้เงื่อนไขดังนี้ : อบแห้งที่ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 2 ระดับคือ 0.5 m และ 1 m อัตราการไหลของอากาศจำเพาะ $10\text{--}20 \text{ m}^3/\text{min-m}^3$ paddy อุณหภูมิอยู่ในช่วง $36\text{--}50 ^\circ\text{C}$ ที่สภาวะอากาศแวดล้อม $30 ^\circ\text{C}$ และเปลี่ยนความชื้นสัมพัทธ์ 70% และ 80% ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกเปลี่ยนค่าอยู่ในช่วง 18–24% มาตรฐานเปียก และความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือก 14%มาตรฐานเปียก พบว่า ที่ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 1 m ค่าความดันลดในกองข้าวจะมีค่าสูงมากเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของอากาศลดลงส่วนความสิ้นเปลืองพลังงานให้ผลตรงกันข้าม ดังรูปที่ 1 และจากการศึกษาที่ผ่านมาสรุปได้ว่า อุณหภูมิที่ใช้อบแห้งข้าวเปลือกไม่ควรสูงกว่า $49 ^\circ\text{C}$ ถ้าต้องการรักษาคุณภาพของข้าวเปลือก ในบทความนี้ให้ความสำคัญ

สำคัญกับการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นในการวิเคราะห์เงื่อนไขทางเศรษฐศาสตร์จึงเลือกเงื่อนไขดังนี้ ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 0.5 m อัตราการไหลของอากาศจำเพาะ $12 \text{ m}^3/\text{min-m}^3$ of paddy อุณหภูมิของอากาศอบแห้ง $49 ^\circ\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม $70 ^\circ\text{C}$ และความชื้นเริ่มต้นข้าวเปลือก 24%มาตรฐานเปียก

2. ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย

การเปรียบเทียบระบบอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนกับระบบอบแห้งที่ใช้น้ำมันดีเซลพบว่า เมื่อให้เครื่องอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนและน้ำมันดีเซลทำงาน 14 ชั่วโมง/วัน, 90 วัน/ปี ค่าใช้จ่ายของระบบอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนจะสูงกว่าระบบอบแห้งโดยใช้น้ำมันดีเซล กล่าวคือ ค่าใช้จ่ายรวมของระบบอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนเท่ากับ 83 บาท/ตัน แยกเป็นค่าใช้จ่ายคงที่ 50.22 บาท/ตัน ค่าใช้จ่ายแปรผัน 32.80 บาท/ตัน และระบบอบแห้งโดยใช้น้ำมันดีเซลเท่ากับ 73.70 บาท/ตัน แยกเป็นค่าใช้จ่ายคงที่ 27.58 บาท/ตัน ค่าใช้จ่ายแปรผัน 46.12 บาท/ตัน ทั้งนี้เนื่องจากค่าลงทุนของระบบอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนมีค่าสูงกว่าระบบอบแห้งโดยใช้น้ำมันดีเซลมาก คือ 5,280,100 บาทเทียบกับ 2,900,000 บาท โดยส่วนของระบบอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนแยกเป็นค่าปั๊มความร้อน 1,700,000 บาท อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 500,000 บาท เครื่องอบแห้งกำลังผลิต 14 ตันต่อชั่วโมง 2,480,100 บาท และระบบท่อ ปั๊มน้ำ ถังน้ำ และชุดควบคุมการทำงาน 600,000 บาท สำหรับระบบอบแห้งโดยใช้น้ำมันดีเซลแยกเป็นเครื่องอบแห้งกำลังผลิต 14 ตันต่อชั่วโมง 2,480,100 บาท และชุดหัวเผาน้ำมันดีเซลพร้อมระบบควบคุม 419,000 บาท แต่เมื่อเพิ่มเวลาการทำงานของเครื่องอบแห้งทั้งสองเป็น 24 ชั่วโมง/วัน, 90 วัน/ปี พบว่า ค่าใช้จ่ายรวมของระบบทั้งสองจะใกล้เคียงกัน โดยค่าใช้จ่ายของระบบอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนเท่ากับ 61.50 บาท/ตัน แยกเป็นค่าใช้จ่ายคงที่ 29.30 บาท/ตัน ค่าใช้จ่ายแปรผัน 32.20

บาท/ตัน ระบบอบแห้งโดยใช้น้ำมันดีเซล เท่ากับ 61.24 บาท/ตัน แยกเป็นค่าใช้จ่ายคงที่ 16.08 บาท/ตัน ค่าใช้จ่ายแปรผัน 45.16 บาท/ตัน ทั้งนี้เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการทำงานของเครื่องอบแห้งโดยใช้ปัมความร้อนที่ต่ำกว่าเครื่องอบแห้งที่ใช้น้ำมันดีเซล

3. ผลการวิเคราะห์ความไว

การวิเคราะห์ความไวของค่าใช้จ่ายในการอบแห้งโดยใช้ปัมความร้อนขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ 4 ประการ คือ เวลาการทำงาน อายุการใช้งานของเครื่องอบแห้ง อัตราค่าไฟฟ้า และอัตราดอกเบี้ยพบว่า เมื่อเวลาการทำงานมากขึ้นจะทำให้ค่าใช้จ่ายต่อตันข้าวเปลือกในการอบแห้งและหรือการทำความเย็นมีค่าลดลง และในทางตรงกันข้ามการสูงขึ้นของอัตราค่าไฟฟ้าและอัตราดอกเบี้ยจะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งสูงขึ้น แต่สิ่งสำคัญที่มีต่อค่าใช้จ่ายในการอบแห้งอย่างมากคือ ระยะเวลาการทำงานของเครื่องอบแห้ง จุดที่เหมาะสมที่จะนาระบบอบแห้งโดยใช้น้ำมันดีเซลมาลงทุนคือ อัตราค่าไฟฟ้าควรต่ำกว่า 1.71 บาท/kW-h อายุการใช้งานควรเกิน 6 ปีขึ้นไป และอัตราดอกเบี้ยไม่ควรเกิน 13% จากรูปที่ 3, 5 และ 7 ผลการวิเคราะห์ความไวของอัตราค่าไฟฟ้า อายุการใช้งาน และอัตราดอกเบี้ยที่ระยะเวลาการทำงาน 14 ชั่วโมง/วัน และ 24 ชั่วโมง/วัน แสดงไว้ดังรูปที่ 2-3, 4-5 และ 6-7 ตามลำดับ

เครื่องอบแห้งที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลายในโรงสีข้าวพอๆ กับเครื่องอบแห้งที่ใช้น้ำมันเตา หรือแกลบเป็นเชื้อเพลิง ค่าใช้จ่ายในการลงทุนของระบบอบแห้งที่ใช้น้ำมันเตาและแกลบสูงกว่าระบบที่ใช้น้ำมันดีเซล การควบคุมอุณหภูมิของระบบที่ใช้แกลบทำได้ยาก อย่างไรก็ตามราคาของแกลบและน้ำมันเตาจะถูกกว่าน้ำมันดีเซลมาก (น้ำมันดีเซลซีเทน 54 ราคา 7.71 บาท/ลิตร น้ำมันเตา (1500) ปริมาณกำมะถัน 2% ราคา 4.38 บาท/ลิตร; ข้อมูลจากการปีโตรเลียมแห่งประเทศไทยเดือนมิถุนายน 2538, แกลบราคาตันละประมาณ 300-500 บาท) จากราคาที่แตกต่างกันนี้อาจสรุปได้ว่า สำหรับระบบอบ

แห้งขนาดใหญ่ (มากกว่า 100 ตัน/วัน) การใช้ระบบอบแห้งที่ใช้น้ำมันเตาหรือแกลบเป็นเชื้อเพลิงน่าจะเสียค่าใช้จ่ายในการอบแห้งที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับระบบใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างระบบอบแห้งที่ใช้ปัมความร้อนกับระบบที่ใช้น้ำมันดีเซลซึ่งพบว่าไม่แตกต่างกันมาก ทำให้สรุปได้ว่า ระบบอบแห้งที่ใช้ปัมความร้อนไม่เหมาะสมเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ใช้น้ำมันเตาและแกลบ

สรุป

ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เลือกเงื่อนไขดังนี้: อากาศแวดล้อมที่อุณหภูมิ 30 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 70% ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 0.5 m อัตราการไหลอากาศจำเพาะ 12 m³/min-m³paddy อุณหภูมิของอากาศที่เข้าอบแห้ง 49 °C และความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกเท่ากับ 24%มาตรฐานเปียก และ 14%มาตรฐานเปียก ตามลำดับ ได้ผลสรุปดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายรวมของระบบอบแห้งโดยใช้น้ำมันความร้อนเท่ากับ 83 บาท/ตัน (ทำงาน 14 ชั่วโมง/วัน, 90 วัน/ปี) และ 61.50 บาท/ตัน (24 ชั่วโมง/วัน, 90 วัน/ปี) ของเครื่องอบแห้งโดยใช้น้ำมันดีเซลเท่ากับ 73.70 บาท/ตัน (14 ชั่วโมง/วัน, 90 วัน/ปี) และ 61.24 บาท/ตัน (24 ชั่วโมง/วัน, 90 วันต่อปี)

2. จุดที่เหมาะสมที่จะนาระบบอบแห้งโดยใช้น้ำมันความร้อนมาลงทุนคือ อัตราค่าไฟฟ้าควรต่ำกว่า 1.71 บาท/kW-h อายุการใช้งานควรเกิน 6 ปีขึ้นไป และอัตราดอกเบี้ยไม่ควรเกิน 13% ที่การทำงาน 24 ชั่วโมง/วัน, 90 วัน/ปี ซึ่งจะช่วยให้มีข้อได้เปรียบระบบอบแห้งโดยใช้น้ำมันดีเซล

เอกสารอ้างอิง

1. บัญชา ยาทิพย์, การศึกษาความเป็นไปได้ของการนำปัมความร้อนมาใช้ในการอบแห้ง และทำความเย็นข้าวเปลือก, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวะ-

- กรรมศาสตร์มหบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยี
พลังงาน, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,
2538.
2. สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, การอบแห้งเมล็ดพืช,
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2537.
 3. สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และเพชร ปรีชากุล,
การทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือกแบบในถังเก็บ
และแบบเป็นงวด: คุณภาพผลิตภัณฑ์, วิทยา-
สารเกษตรศาสตร์, ปีที่ 24, ฉบับที่ 3, 2533,
หน้า 367-377.
 4. Anon, Guide and Data Book, Division
of Carrier Corporation, Grimm-Carrier
Ltd, 1984, pp. 3-36.
 5. Soponronnarit, S., Energy model of
grain drying system, ASEAN Journal
on Science and Technology for De-
velopment, Vol.5, No.2, 1988, pp.43-68.
 6. Soponronnarit, S. and S. Chinsakoltha-
nakorn, Effect of heat and water from
respiration on drying rate and energy
consumption, ASEAN Journal on
Science and Technology for Develop-
ment, Vol.7, No.2, 1990, pp. 65-83.

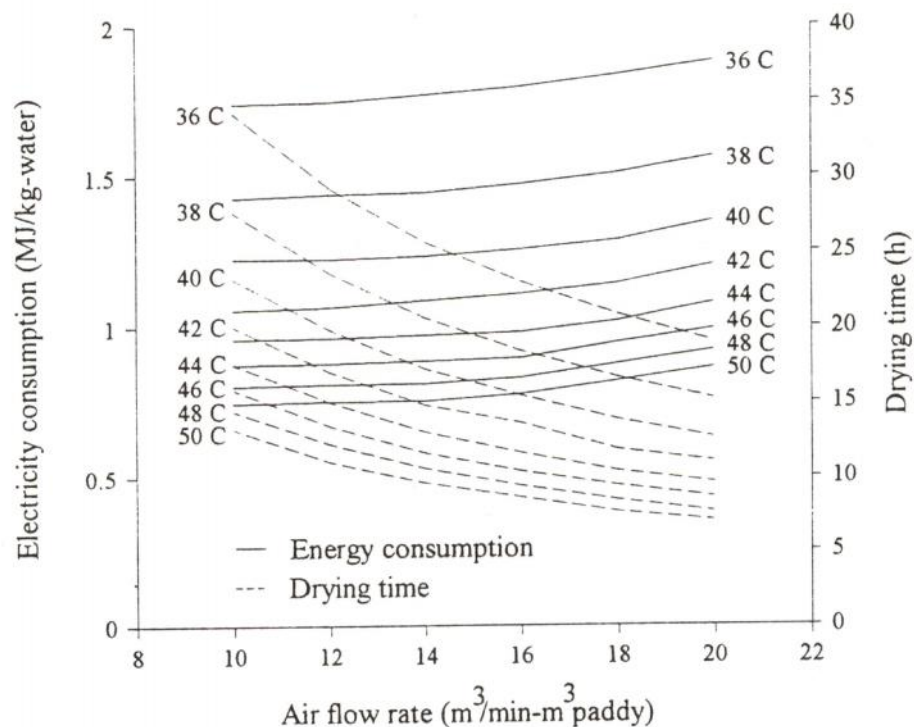


Fig.1 Effect of specific air flow rate on specific energy consumption and drying time at different drying air temperatures in drying paddy using heat pump
(Initial content = 24% wb, height = 0.5 m, ambient air 30°C, RH 70%)

specific air flow rate, m ³ /min-m ³ paddy	10	12	14	16	18	20
paddy quantity/batch, ton	100	90	80	70	60	50

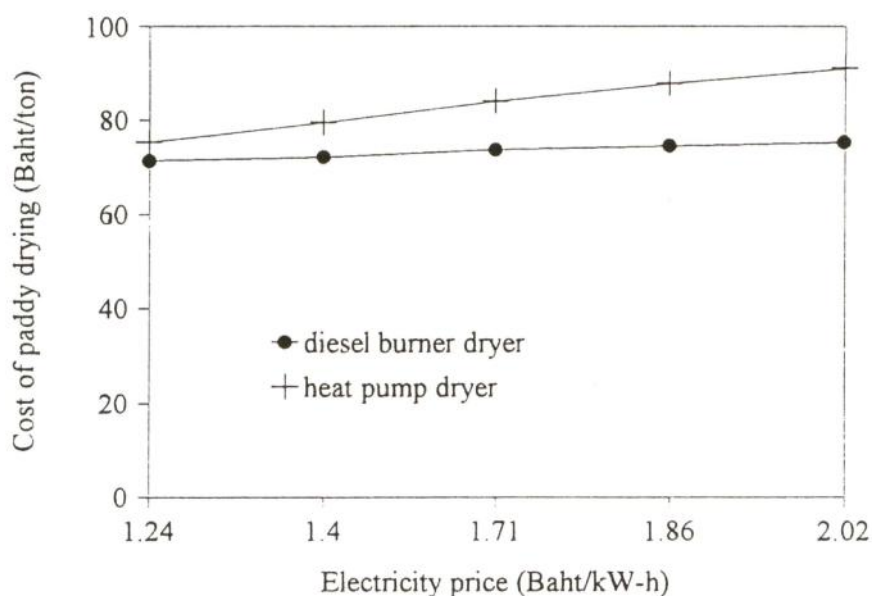


Fig.2 Effect of electricity price on comparative drying cost between heat pump dryer and diesel burner dryer
(Operating time = 14 hours per day, 90 days per year)

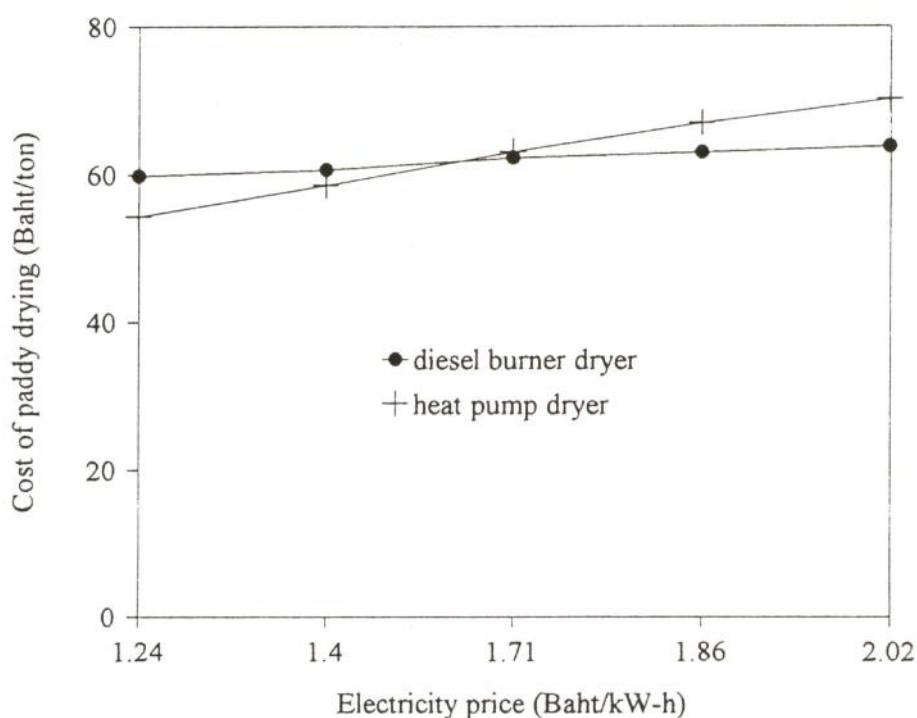


Fig.3 Effect of electricity price on comparative drying cost between heat pump dryer and diesel burner dryer
(Operating time = 24 hours per day, 90 days per year)

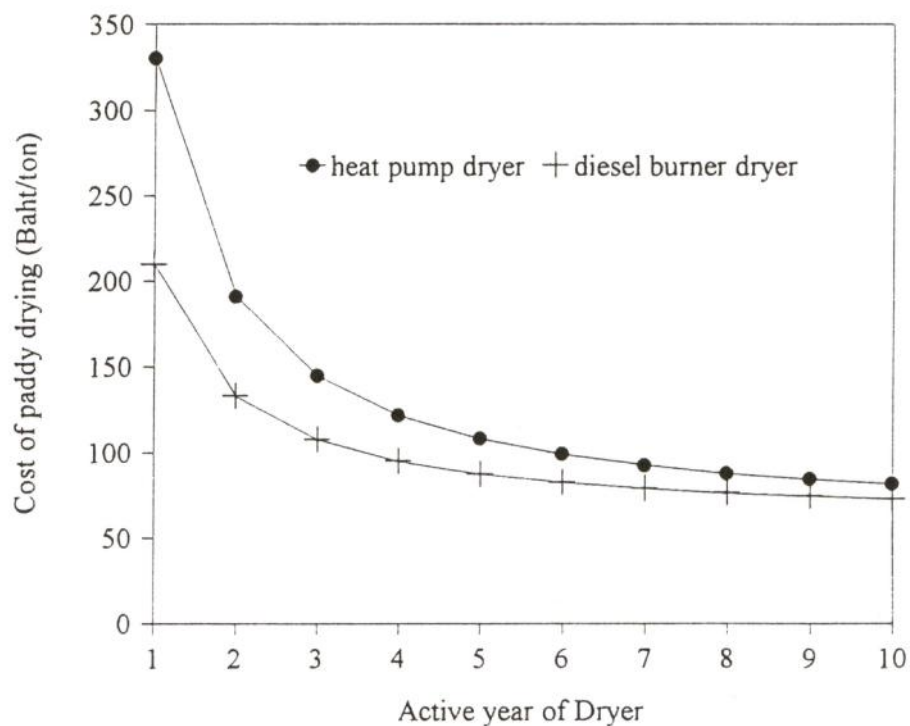


Fig.4 Effect of active year on comparative drying cost between heat pump dryer and diesel burner dryer
(Operating time = 14 hours per day, 90 days per year)

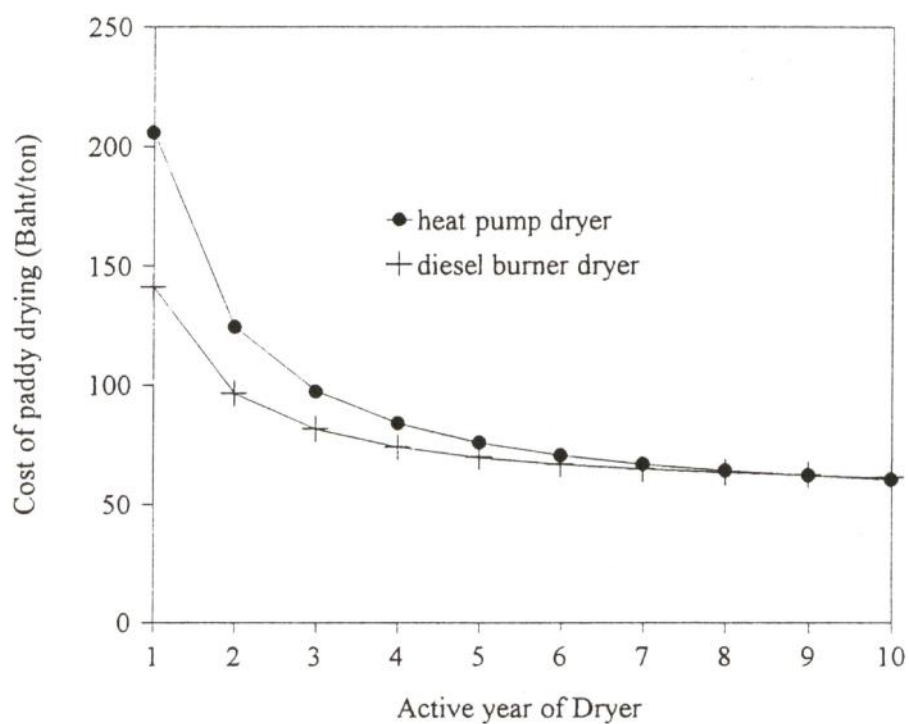


Fig.5 Effect of active year on comparative drying cost between heat pump dryer and diesel burner dryer
(Operating time = 24 hours per day, 90 days per year)

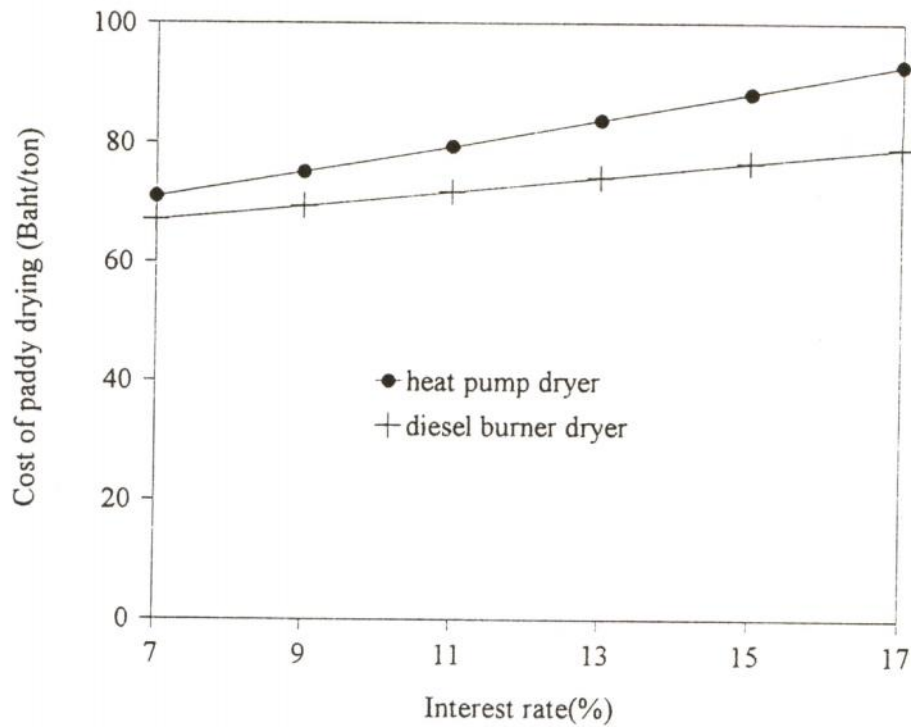


Fig.6 Effect of interest rate on comparative drying cost between heat pump dryer and diesel burner dryer
 (Operating time = 14 hours per day, 90 days per year)

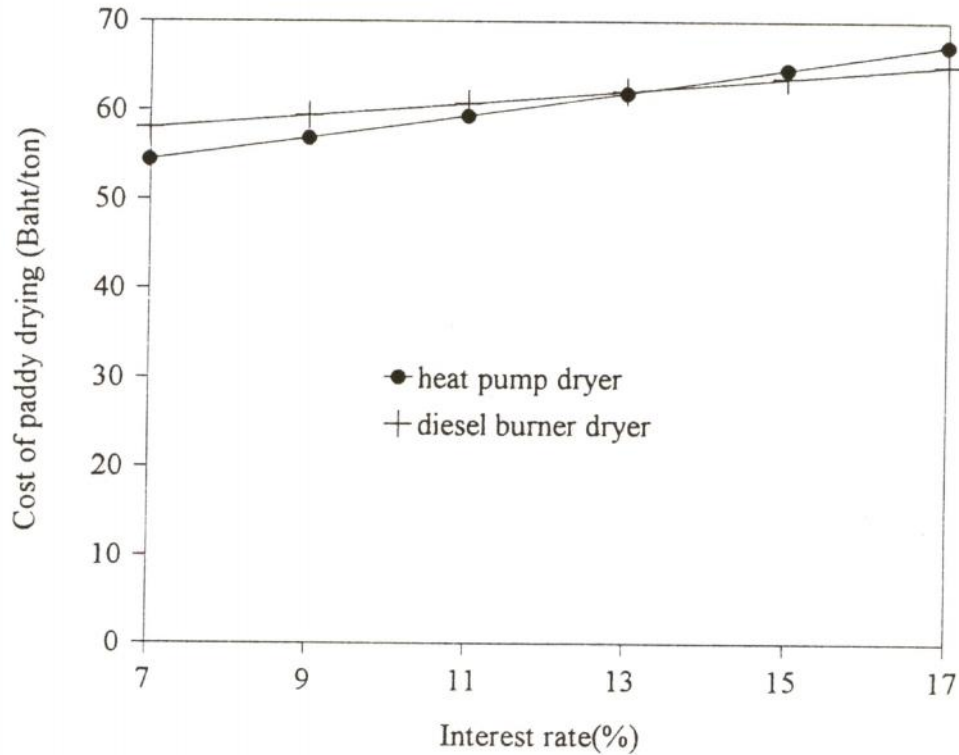


Fig.7 Effect of interest rate on comparative drying cost between heat pump dryer and diesel burner dryer
 (Operating time = 24 hours per day, 90 days per year)

ตารางที่ 1 สมรรถนะของปั๊มความร้อน 30 HM-180

Cooler heating water temp. C	Hot water supply temperature 45° C				Hot water supply temperature 50° C				Hot water supply temperature 55° C				Hot water supply temperature 60° C			
	Heating capacity kW	Cooling capacity kW	Compressor power input kW	COP	Heating capacity kW	Cooling capacity kW	Compressor power input kW	COP	Heating capacity kW	Cooling capacity kW	Compressor power input kW	COP	Heating capacity kW	Cooling capacity kW	Compressor power input kW	COP
4.00	428.00	314.00	125.00	3.42	411.00	292.00	130.90	3.14	395.00	270.00	136.50	2.89	378.00	249.00	141.70	2.67
7.00	478.00	358.00	132.30	3.62	460.00	334.00	139.10	3.31	442.00	309.00	145.50	3.04	423.00	286.00	151.50	2.79
10.00	532.00	405.00	139.50	3.81	512.00	379.00	147.10	3.48	493.00	352.00	154.40	3.19	473.00	326.00	161.30	2.93
13.00	590.00	456.00	146.60	4.02	568.00	427.00	155.20	3.66	547.00	398.00	163.30	3.35	526.00	370.00	171.10	3.07
16.00	651.00	511.00	153.60	4.24	628.00	480.00	163.00	3.85	605.00	449.00	172.10	3.52	582.00	417.00	180.80	3.22
19.00	716.00	571.00	160.20	4.47	692.00	537.00	170.70	4.05	667.00	503.00	180.70	3.69	642.00	469.00	190.40	3.37
22.00	786.00	634.00	166.90	4.71	759.00	597.00	178.10	4.26	733.00	561.00	189.10	3.87	706.00	524.00	199.90	3.53
25.00	860.00	702.00	173.60	4.95	831.00	662.00	185.70	4.47	802.00	623.00	197.60	4.06	774.00	583.00	209.10	3.70
28.00	890.00	730.00	176.10	5.05	853.00	682.00	187.90	4.54	817.00	635.00	199.30	4.10	781.00	590.00	210.20	3.72
31.00	894.00	734.00	175.80	5.09	857.00	686.00	187.60	4.57	821.00	640.00	199.10	4.12	784.00	594.00	210.00	3.74
34.00	898.00	739.00	175.60	5.11	861.00	690.00	187.50	4.59	824.00	643.00	199.00	4.14	787.00	596.00	210.00	3.75
37.00	902.00	743.00	175.50	5.14	864.00	694.00	187.40	4.61	827.00	646.00	198.90	4.16	790.00	600.00	209.90	3.77
40.00	906.00	747.00	175.40	5.17	868.00	697.00	187.30	4.63	830.00	650.00	198.90	4.18	793.00	603.00	209.90	3.78
43.00	910.00	751.00	175.30	5.19	871.00	701.00	187.20	4.65	834.00	653.00	198.80	4.19	796.00	606.00	209.80	3.80