การประหยัดพลังงานในระบบการทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนในอาคารโรงแรม

บุญรฤทธิ์ ไร่สูงเนิน

DPU

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีในอาคาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
พ.ศ. 2553

Energy Saving of Hot Water System using Heat Pump in Hotel Building

Boonrarit Raisoongnean

A Thematic Paper Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Master of Science Department of Building

Technology Management Graduate School , Dhurakij Pundit

University

2010

DPU

เลขทะเบียน 0218087
วันลงทะเบียน - 5 ก.ย. 2554
เลขเรียกหนังสือ 697.4
ว539ก
[2553]
ฉ2

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์เรื่อง “การประหยัดพลังงานในระบบการทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนในอาคารโรงแรม” ได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก ผศ. ดร. ติกะ บุนนาค อาจารย์ที่ปรึกษาและคณะกรรมการสอบสารนิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้แนวคิด แนะนำให้ความรู้ให้คำปรึกษาตลอดระยะเวลาของการศึกษาอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อสารนิพนธ์

นอกจากนี้ขอขอบพระคุณในความอนุเคราะห์รุ่นพี่และรุ่นน้องของมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ที่กรุณาช่วยจัดหาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปที่ใช้ในการประเมินหาค่าประสิทธิภาพของระบบปั๊มความร้อนพร้อมทั้งให้ความรู้เพิ่มเติม อีกทั้งขอบคุณฝ่ายช่างซ่อมบำรุงโรงแรมกรณีศึกษาที่ช่วยเก็บรวบรวมข้อมูลปั๊มความร้อนเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ทำให้สารนิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ประโยชน์อันใดที่เกิดจากสารนิพนธ์อันเป็นผลมาจากความกรุณาของทุกท่านดังกล่าว

บุญรฤทธิ์ ไร่สูงเนิน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ฆ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ง
กิตติกรรมประกาศ..... จ
สารบัญตาราง..... ซ
สารบัญรูป..... ฌ
บทที่
1 บทนำ..... 1
1.1 ที่มาและความสำคัญ..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา..... 5
1.3 ขอบเขตของการศึกษา..... 5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการศึกษา..... 5
2 ทฤษฎีและงานศึกษาที่เกี่ยวข้อง..... 6
2.1 ปั๊มความร้อน..... 6
2.2 มาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบ
ด้านพลังงานระบบวิศวกรรมอาคารตามกฎหมาย 14
2.3 การวิเคราะห์ทางการเงิน..... 17
2.4 งานศึกษาที่เกี่ยวข้อง..... 19
3 วิธีการดำเนินการศึกษา..... 25
3.1 ขั้นตอนการศึกษาระบบปั๊มความร้อนที่ใช้กับโรงแรมกรณีศึกษา..... 26
3.2 ขั้นตอนการประเมินสมรรถนะของปั๊มความร้อนเมื่อสภาวะ
การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน..... 26
3.3 ขั้นตอนตรวจวัดระบบปั๊มความร้อนที่ใช้กับโรงแรมกรณีศึกษา..... 28
3.4 ขั้นตอนการเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางการเงิน
ของการติดตั้งระบบทำน้ำร้อนแต่ละชนิดกับปั๊มความร้อน..... 31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4 ผลการศึกษา	32
4.1 ระบบปั๊มความร้อนสำหรับโรงแรมกรณีศึกษา	32
4.2 ผลการศึกษาสมรรถนะการทำงานของระบบปั๊มความร้อน	37
4.3 ผลการศึกษาสมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนจากการตรวจวัด	43
4.4 ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมในการลงทุน	43
5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	52
5.1 สรุปผลการศึกษา	52
5.2 ข้อเสนอแนะ	55
บรรณานุกรม	57
ภาคผนวก	61
ประวัติผู้เขียน	79

DPU

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร..... 14
2.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร..... 15
2.3 ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ใช้งาน..... 15
2.4 ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นและค่าพลังไฟฟ้าต่อตัน
ความเย็นเครื่องปรับอากาศ ขนาดใหญ่..... 16
2.5 ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก..... 16
2.6 หม้อไอน้ำและหม้อต้มน้ำร้อน..... 17
2.7 เครื่องทำน้ำร้อนชนิดฮีตปั๊มแบบใช้อากาศเป็นแหล่งพลังงาน..... 17
4.1 รายละเอียดของปั๊มความร้อน..... 33
4.2 รายละเอียดของถังเก็บน้ำร้อน..... 34

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ระบบปั๊มความร้อน 7
2.2 P-h Diagram ของสารทำงาน R-22 8
2.3 ถังเก็บน้ำร้อนแบบแนวตั้ง 12
2.4 ถังเก็บน้ำร้อนแบบแนวนอน 12
2.5 การติดตั้งปั๊มความร้อนพร้อมอุปกรณ์ประกอบการติดตั้ง 13
2.6 การติดตั้งปั๊มความร้อนต่อเชื่อมระบบเข้ากับถังเก็บน้ำร้อน 13
3.1 อาคารประเภทโรงแรมกรณีศึกษา 25
3.2 P-h Diagram ของสารทำงาน R-22 สำหรับปั๊มความร้อน 27
3.3 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Power Meter) 28
3.4 เครื่องวัดอุณหภูมิอากาศ (Thermometer) 29
3.5 เครื่องวัดอุณหภูมิน้ำ (Thermometer) 29
3.6 เครื่องมือวัดอัตราการไหล (Flow meter) 30
4.1 ปั๊มความร้อนสำหรับโรงแรมกรณีศึกษา 34
4.2 ถังน้ำร้อนสำหรับโรงแรมกรณีศึกษา 35
4.3 แผนผังระบบปั๊มความร้อนภายในโรงแรม 36
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม
และความต้องการพลังงานของ4.5 ระบบ 38
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม
และสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ 38
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำร้อน
และความต้องการพลังงานของระบบ 40
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำร้อน
และสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ 40
4.8 สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบจากการตรวจวัดและมาตรฐาน 43
4.9 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของระบบทำน้ำร้อนแต่ละชนิด 45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.10 เปรียบเทียบมูลค่าการลงทุนเริ่มต้น
ของระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิด..... 46
4.11 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน
ของระบบทำน้ำร้อนแต่ละชนิด..... 47
4.12 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของการติดตั้งระบบ
ปั๊มความร้อนแทนระบบทำน้ำร้อนอื่นๆ..... 48
4.13 อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้น (BCR) ของการติดตั้ง
ระบบปั๊มความร้อนแทนระบบทำน้ำร้อนอื่นๆ..... 49
4.14 อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR)
ของการติดตั้งระบบปั๊มความร้อนแทนระบบทำน้ำร้อนอื่นๆ..... 50
4.15 ระยะเวลาในการคืนทุนของการติดตั้งระบบ
ปั๊มความร้อนแทนระบบทำน้ำร้อนอื่นๆ..... 51

หัวข้อสารนิพนธ์ การประหยัดพลังงานในระบบการทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนในอาคารโรงแรม

ชื่อผู้เขียน บุญรฤทธิ์ ไร่สูงเนิน

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ติกะ บุนนาค

สาขาวิชา การจัดการเทคโนโลยีในอาคาร

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาระบบปั๊มความร้อนสำหรับโรงแรมกรณีศึกษาขนาด 325 ห้อง มีความต้องการปริมาณน้ำร้อนอุณหภูมิไม่เกิน 60 ^{0}C โดยศึกษารูปแบบการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนที่เหมาะสมกับโรงแรม ศึกษาประสิทธิภาพของระบบปั๊มความร้อนจากการจำลองและการตรวจวัด รวมถึงการศึกษาความคุ้มค่าทางการเงินจากการเปลี่ยนระบบทำน้ำร้อนแต่ละชนิด ได้แก่ ระบบทำน้ำร้อนจากน้ำมันเตา ระบบขดลวดความร้อน และระบบพลังงานแสงอาทิตย์ มาใช้ปั๊มความร้อนที่ภาวะเงื่อนไขการผลิตเดียวกันกับโรงแรมกรณีศึกษา

ระบบปั๊มความร้อนที่มีความเหมาะสมกับโรงแรมกรณีศึกษาคือระบบปั๊มความร้อนประเภท Air Source Heat pump จำนวน 10 เครื่อง ขนาดของปั๊มความร้อนรวมทั้งสิ้น 460 kWh และถังเก็บน้ำร้อนขนาด 25,500 L โดยติดตั้งระบบแบบศูนย์รวม ทั้งนี้สมรรถนะการทำงานของระบบจากการจำลองค่าทฤษฎีโดยใช้ P-h Diagram ที่สภาวะอุณหภูมิของสภาพอากาศแวดล้อมและอุณหภูมิของน้ำร้อนใช้งานเปลี่ยนแปลงระหว่าง 25 – 40 ^{0}C และ 50 - 60^{0}C ตามลำดับ พบว่าสมรรถนะการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนทุกกรณีมีค่าสูงกว่าค่าที่มาตรฐานกำหนด และสมรรถนะขณะใช้งานจริงทุกเครื่องมีค่าสมรรถนะเป็นไปตามมาตรฐานเช่นกัน จากการศึกษาความคุ้มค่าทางการเงิน โดยใช้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) และระยะเวลาในการคืนทุน (SPP) เป็นเกณฑ์การตัดสินใจ พบว่าทุกกรณีมีความคุ้มค่าในการลงทุน ถึงแม้ว่าปัจจุบันปั๊มความร้อนยังมีราคาสูงมากแต่ผลประโยชน์ที่ได้รับจากผลการประหยัดด้านพลังงาน และค่าบำรุงรักษา มีค่ามากพอที่จะทำให้คุ้มค่าทางการเงิน ระบบปั๊มความร้อนเป็นระบบที่มีความสามารถปรับรูปแบบการติดตั้งระบบได้หลายรูปแบบให้มีความเหมาะสมกับโรงแรมที่ต้องการใช้ระบบปั๊มความร้อน และระบบปั๊มความร้อนเป็นระบบที่มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่ำที่สุด

คำสำคัญ : ปั๊มความร้อน / การวิเคราะห์ทางการเงิน / การประหยัดพลังงาน

Thematic Paper Title	Energy Saving of Hot Water System using Heat Pump in Hotel Building
Author	Boonrarit Raisungnoen
Thematic Paper Advisor	Asst. Prof. Dr. Tika Bunnag
Department	Building Technology Management
Academic Year	2010

ABSTRACT

The main objective of this study is to identify the heat pump system for the hotel of 325 rooms, which of hot water require temperature not higher than 60°C rerated to the heat pump system supply to the hotel facilities. The research was study within the efficient of heat pump system combined with demonstration and measurement, meanwhile the comparation to the another method of hot water system in the same condition, such as electrical hot water heater, boiler system by crude oil , Solar cells system will be make in term of main factor which will value to invest.

The result showed that the suatable type of hot water system for new hotel is 10 units of Heat Pump type Air Source with total capacity 460 kWh .The installation of piping supply from main centre of Hot Water Storage Tank capacity 25,500 liters.The performance data analyze by P-h diagram at state of surrounding ambient temperature and the temperature of hot water transfigure between 25-40°C and 50-60°C. It was found that coefficient of performance (COP) of the heat pump in each units were higher than COP standard. By the way the economic aralyzed hot water of system with Net Present Value (NPV), Benefit cost Ratio (BCR) Internal Rate of Return (IRR) and Simple payback period (SPP) above factors showed that heat pump, investment but when and zeel order to include costly investment and maintenance, the replacement of heatpump system worthy as provided benefit. The ability performance of heat pump system will consistent to apply in new hotel, which will be worthwhile investment as of the system was particularly of the best for energy saving.

Keywords : Improvement of Heat Pump System/Analyze the financial / Energy saving

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันพลังงานมีความสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคมและมีความจำเป็นที่จะต้องใช้ในการดำรงชีวิตของทุกคนนับตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน โดยความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศได้มีอัตราเพิ่มสูงขึ้นเป็นเหตุให้ประเทศมีความต้องการพลังงานเพื่อใช้ในกิจกรรมต่างๆ ทั้งในด้านครัวเรือน ที่อยู่อาศัย การเกษตร อุตสาหกรรมและในด้านอื่นๆ เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นประเทศจึงต้องนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ ซึ่งส่วนหนึ่งนั้นนำเข้ามาใช้สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการใช้ภายในประเทศ โดยในปัจจุบันประเทไทยมีความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ภายในประเทศ 97.3 % ทั้งนี้ในส่วนที่เหลือได้นำเข้าจากต่างประเทศ

จากการที่ความต้องการไฟฟ้าของประเทศมีปริมาณที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องทุกๆด้านจะต้องช่วยกันหาแนวทางในการจัดการพลังงาน โดยแนวทางที่จะสามารถจัดการนั้นแบ่งออกเป็น 3 แนวทาง (กฤษณ์ คงเจริญ, 2548 : 3) คือ

วิธีการแรกคือ การผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นโดยวิธีการต่างๆ เช่น การสร้างโรงไฟฟ้าที่ใช้พลังงานชนิดต่างๆ เช่น ถ่านหิน หรือ ก๊าซธรรมชาติ เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า การสร้างเขื่อนเพื่อใช้พลังงานจากน้ำที่กักเก็บไว้ในเขื่อนมาผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งในปัจจุบันนี้วิธีการดังกล่าวมาข้างต้นมักจะได้รับการคัดค้านจากนักอนุรักษ์และประชาชน เนื่องจากเป็นวิธีการที่ก่อให้เกิดผลกระทบในหลายๆด้าน เช่น ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเรื่องของมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไม้ของเชื้อเพลิง หรือผลกระทบที่มีต่อประชาชนในด้านการสูญเสียที่ดินทำกินและผลกระทบต่อวิถีชีวิตอันเนื่องจากการสร้างเขื่อน

วิธีการที่สอง คือ การนำเข้าหรือรับซื้อกระแสไฟฟ้าจากต่างประเทศ โดยในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการรับซื้อกระแสไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้าน คือ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาวซึ่งมีการส่งกระแสไฟฟ้าโดยการเดินสายไฟฟ้าแรงสูงข้ามผ่านแม่น้ำโขงบริเวณจังหวัดนครพนม โดยประเทศไทยต้องเสียค่าใช้จ่ายของประเทศเป็นจำนวนมากในการนำเข้ากระแสไฟฟ้า

วิธีการสุดท้าย คือ การพัฒนาและส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีที่ทำให้เกิดการประหยัดไฟฟ้า คือ การใช้ทรัพยากรพลังงานชนิดอื่นๆ ที่มีราคาถูกและหาง่ายในประเทศมาทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยตรง การเลือกใช้เทคโนโลยีสะอาดซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาให้มีการประหยัดพลังงานและไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานชีวมวล เป็นต้น รวมถึงการใช้เครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อลดการใช้พลังงานแต่ยังสามารถทำงานได้เท่าเดิม

การใช้ไฟฟ้าในกิจกรรมต่างๆ มีหลายรูปแบบแตกต่างกัน เช่น เกษตรกรรม อุตสาหกรรม พาณิชยกรรม การประมง การบริหาร และที่อยู่อาศัย นอกจากนี้ยังมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตพลังงานความร้อน เช่น การผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ในการอาบ ซักล้าง หรือประกอบอาหาร ทั้งนี้พลังงานไฟฟ้าถือเป็น High – Grade Energy แต่การนำมาใช้เพื่อการผลิตเป็นพลังงานความร้อนซึ่งถือว่าเป็น Low – Grade Energy จึงเป็นวิธีการที่ไม่เหมาะสมกับคุณค่าของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นได้ อย่างไรก็ตามในการผลิตพลังงานความร้อนจากไฟฟ้านั้นนับเป็นวิธีที่มีความสะดวกในการนำมาใช้งานรวมถึงสภาพในการใช้งานมีความปลอดภัยมากกว่าการผลิตพลังงานความร้อนด้วยวิธีอื่นจึงเป็นที่นิยมของสถานประกอบการขนาดใหญ่เช่น โรงพยาบาลและโรงแรม ดังนั้นแนวทางในการนำพลังงานไฟฟ้ามาผลิตความร้อนจึงจำเป็นที่จะต้องมีการใช้เครื่องจักรและเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูง เช่นการใช้เทคโนโลยีระบบปั๊มความร้อน ซึ่งเป็นระบบที่สามารถประหยัดพลังงานและสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้เนื่องจากปั๊มความร้อนจะใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความร้อนประมาณ 20-25% เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีใช้ลวดไฟฟ้าให้ความร้อน เนื่องจากว่าปั๊มความร้อนสามารถดูดซับความร้อนจากสภาพแวดล้อมส่วนหนึ่งเข้ามาทำงานได้ตลอดเวลา

ในปัจจุบันได้มีหลายหน่วยงานที่สนับสนุนให้สถานประกอบการเปลี่ยนระบบการทำน้ำร้อนแบบเดิมมาใช้ระบบปั๊มความร้อน เพื่อลดปัญหาการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายขององค์กร โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารโรงแรมซึ่งเป็นอาคารที่มีกิจกรรมในการใช้น้ำร้อนเป็นปริมาณมาก และตลอดเวลา ทั้งนี้การผลิตน้ำร้อนนั้นมีการพิจารณาเลือกใช้อุปกรณ์ให้เหมาะสมกับอาคารในหลายๆ ด้าน เช่น ความเหมาะสมกับลักษณะของอาคาร การลงทุนเริ่มแรกในการติดตั้งอุปกรณ์ในขบวนการผลิต ระยะเวลาการใช้งานถึงจุดคุ้มทุน ค่าใช้จ่ายประจำ เช่น ค่าไฟฟ้า น้ำมัน ก๊าซ ค่าบำรุงรักษา บุคลากรที่ดูแล การเข้ามาดำเนินการประหยัดพลังงานในส่วนระบบการผลิตน้ำร้อนเป็นอีกหนึ่งวิธีในการดำเนินมาตรการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของอาคาร ปั๊มความร้อนเป็นอีกหนึ่งระบบในการทำน้ำร้อนในอาคารที่มีประสิทธิภาพในการผลิตสูงและประหยัดพลังงาน

ทั้งนี้โรงแรมกรณีศึกษาเป็นโรงแรม 27 ชั้น ที่ก่อสร้างแล้วเสร็จและอยู่ระหว่างติดตั้งระบบประกอบอาคารซึ่งระบบผลิตน้ำร้อนถือเป็นระบบประกอบอาคารที่มีความสำคัญในกิจการ

ประเภทโรงแรม เนื่องจากเป็นระบบที่มีการใช้พลังงานในสัดส่วนที่สูงรองลงมาจากระบบปรับปรับอากาศ ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องติดตั้งระบบที่มีความเหมาะสมมากที่สุด โดยการผลิตน้ำร้อนสำหรับโรงแรมนั้นมีความต้องการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 ^{0}C โดยโรงแรมกรณีศึกษาซึ่งเป็นโรงแรมขนาด 325 ห้อง ทั้งนี้เมื่อประเมินจากการใช้น้ำร้อนสำหรับโรงแรมตามมาตรฐานคือ 150 L/room/day (Heating, Ventilating, Air Conditioning Guides, 1953, page 1056. อ้างถึงใน www.eeit.or.th) พบว่าโรงแรมนี้มีความต้องการน้ำร้อนตามมาตรฐานรวมทั้งสิ้น 48,750 L/day คิดเป็นความต้องการพลังงานความร้อนที่อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมของกรุงเทพมหานครเฉลี่ยตลอดทั้งปี 29 ^{0}C (ที่มา : http://www.e-report.energy.go.th/weather.html :14 เม.ย. 2009) มีค่าเท่ากับ 1,757.27 kW

เบื้องต้นได้ศึกษาข้อมูลของระบบผลิตน้ำร้อนชนิดต่างๆพบว่าโดยทั่วไปแล้วระบบน้ำร้อนของโรงแรมจะมีเทคโนโลยีหลักอยู่ประมาณ 4 ประเภท ระบบแรกคือระบบหม้อไอน้ำที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงหรือก๊าซในการผลิตน้ำร้อนจึงทำให้ต้นของการทำน้ำร้อนจากระบบดังกล่าวมีค่าสูง ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันเชื้อเพลิงมักจะค่าผันผวนและมีแนวโน้มราคาเพิ่มสูงมากขึ้น แต่มีข้อดีคือสามารถผลิตไอน้ำที่ใช้ในกิจกรรมซักอบแห้งผ้า และสามารถนำไอน้ำร้อนไปผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ในห้องพักแขกและงานครัว ระบบต่อมาคือระบบขดลวดไฟฟ้าซึ่งมีหลักการทำงาน คือจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดความต้านทานสูงจนเกิดเป็นความร้อนที่ขดลวดจากนั้นก็จ่ายน้ำเข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนจากขดลวดให้น้ำมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นแล้วนำไปใช้งาน ระบบนี้ความสะดวกในการผลิตและสามารถใช้งานในรูปแบบระบบเดี่ยวที่ติดตั้งตามห้องพักในโรงแรม แต่ต้องสิ้นเปลื้องไฟฟ้าเป็นจำนวนมากในการผลิตน้ำร้อน ระบบที่สามคือระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ กล่าวคือจะใช้พลังงานความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์มาใช้ในการผลิตน้ำร้อนอันถือว่าเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สะอาดเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมซึ่งถือเป็นเทคโนโลยีที่รัฐบาลให้การสนับสนุนในเรื่องเทคนิควิธีการติดตั้ง งบประมาณ และใช้ในการลดหย่อนภาษีตามมาตรการของแผนพัฒนาพลังงานหมุนเวียน 15 ปีของกระทรวงพลังงาน อย่างไรก็ตาม ระบบการผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ยังมีข้อจำกัดกล่าวคือระบบดังกล่าวต้องอาศัยความร้อนจากรังสีของดวงอาทิตย์ในช่วงที่มีรังสีดวงอาทิตย์ ดังนั้นถ้าหากต้องการในการผลิตน้ำร้อนในช่วงกลางคืนจึงต้องออกแบบถังเก็บน้ำร้อนถังใหญ่กว่าชนิดอื่น และในช่วงหน้าฝนที่มีเวลาช่วงที่มีรังสีดวงอาทิตย์น้อยไม่สามารถผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิตามที่ต้องการ จึงจำเป็นต้องมีการติดตั้งระบบขดขวดไฟฟ้าเพื่อเป็นระบบสำรอง(Back up) เพื่อทำให้ระบบทำน้ำร้อนสามารถผลิตน้ำร้อนได้ตลอดเวลาเพื่อบริการลูกค้า และเทคโนโลยีผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อน (Heat pump)ซึ่งในปัจจุบันถือว่าเป็นระบบที่ดีและเป็นเทคโนโลยีใหม่มีหลักการทำงานคือ ดึงเอาพลังงานความร้อนจากสภาวะแวดล้อมโดยรอบมาทำความร้อนให้กับน้ำ

ระบบปั๊มความร้อนมีหลักการทำงานเช่นเดียวกับระบบปรับอากาศแต่นำส่วนของคอยร้อนมาใช้ประโยชน์ดังนั้นผลพลอยได้จากการใช้ระบบปั๊มความร้อนคือความเย็นที่เกิดขึ้นของด้านที่ถูกดูดความร้อน ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการปรับอากาศในบริเวณที่ไม่ต้องการอุณหภูมิต่ำมากนักเช่นในบริเวณทางเดินในอาคารหรือว่าในบริเวณห้องน้ำ เป็นต้น อันจะเกิดการประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศของอาคารได้ อย่างไรก็ตามระบบนี้ยังเป็นเทคโนโลยีใหม่และมีราคาแพง เจ้าของกิจการหรือผู้บริหารอาคารจึงมักจะมองข้าม เพราะเกรงว่าจะไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน อย่างไรก็ตามจากผลวิเคราะห์มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของต้นทุนวงจรชีวิตของระบบผลิตน้ำร้อนชนิดต่างๆ ภายในอาคารประเภทโรงแรม (ภานุศักดิ์ ,2551) พบว่าจากการเปรียบเทียบต้นทุนตลอดอายุการใช้งานของระบบผลิตน้ำร้อนทั้ง 4 ประเภท ได้แก่ ระบบผลิตน้ำร้อนจากหม้อไอน้ำเชื้อเพลิงดีเซล ระบบฮีทเตอร์ ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ และปั๊มความร้อน พบว่าระบบปั๊มความร้อนเป็นระบบที่มีต้นทุนวงจรชีวิตต่ำที่สุด

ถึงแม้ว่าระบบปั๊มความร้อนจากปั๊มความร้อนจะมีความคุ้มค่าในการลงทุนแต่ในส่วนของสมรรถนะการทำความร้อนของระบบก็ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ผู้ดูแลระบบให้ความสำคัญ เนื่องจากระบบปั๊มความร้อนจะใช้อุณหภูมิจากสภาวะแวดล้อมมาถ่ายเทให้กับน้ำ จึงจำเป็นจะต้องพิจารณาอุณหภูมิของสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไม่มีความสม่ำเสมอในแต่ละวัน และกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิใช้งานของน้ำร้อนนั้นจะส่งผลต่อสมรรถนะการทำงานของระบบหรือไม่ จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ยากต่อการตัดสินใจเลือกปั๊มความร้อนมาใช้งาน และใช้เป็นเหตุผลในการไม่นำเทคโนโลยีชนิดนี้มาใช้งาน ซึ่งอาจจะทำให้พลาดโอกาสในการใช้ระบบผลิตน้ำร้อนที่ประหยัดพลังงาน

ดังนั้นจึงทำการศึกษาระบบปั๊มความร้อนสำหรับโรงแรมกรณีศึกษาขนาด 325 ห้อง ที่มีความต้องการปริมาณน้ำร้อนอุณหภูมิไม่เกิน 60 ^{0}C โดยศึกษารูปแบบการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนที่เหมาะสมกับโรงแรม และศึกษาประสิทธิภาพของระบบปั๊มความร้อนสภาวะเกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน พร้อมทั้งตรวจวัดสมรรถนะการทำงานของระบบปั๊มความร้อนเมื่อใช้งานจริงหลังจากติดตั้งเปรียบเทียบกับมาตรฐาน รวมถึงการศึกษาความคุ้มค่าทางการเงินสำหรับโรงแรมที่มีเงื่อนไขการผลิตน้ำร้อนเดียวกันในการนำระบบปั๊มความร้อนมาใช้แทนระบบผลิตน้ำร้อนจากระบบอื่น ได้แก่ ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบหม้อไอน้ำ และระบบขดลวดไฟฟ้า

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาระบบทำน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนสำหรับโรงแรมกรณีศึกษา
2. เพื่อศึกษาสมรรถนะการทำงานของระบบปั๊มความร้อนสำหรับโรงแรมกรณีศึกษา
3. เพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางการเงินสำหรับโรงแรมอื่นที่มีเงื่อนไขการผลิตน้ำร้อนเดียวกันในการนำระบบปั๊มความร้อนมาใช้แทนระบบผลิตน้ำร้อนจากระบบอื่น ได้แก่ ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบหม้อไอน้ำ และระบบขดลวดไฟฟ้า
4. เพื่อก่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในการผลิตน้ำร้อนสำหรับอาคารประเภทโรงแรม

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ในการศึกษาจะดำเนินการศึกษาระบบปั๊มความร้อนเพื่อใช้ในอาคารประเภทโรงแรมขนาด 325 ห้อง ที่มีการความต้องการปริมาณน้ำร้อนอุณหภูมิไม่เกิน 60 ^{0}C
2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสมรรถนะการทำงานของระบบปั๊มความร้อนเฉพาะปัจจัยที่เกิดจากอุณหภูมิสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิน้ำร้อนที่ต้องการจากการประเมินค่าทางทฤษฎี
3. ศึกษาสมรรถนะการทำงานของระบบปั๊มความร้อนทั้งหมดจากการตรวจวัดหลังจากติดตั้งระบบมาตรฐานที่ พรบ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานกำหนด
4. ศึกษาความคุ้มค่าทางการเงินในการเปลี่ยนมาใช้ปั๊มความร้อนชนิด Air source heat pump แทนระบบผลิตนำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบหม้อไอน้ำ และระบบขดลวดไฟฟ้าเท่านั้น โดยใช้เกณฑ์ในการตัดสินใจคือ
   - 4.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present value : NPV)
   - 4.2 อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio : BCR)
   - 4.3 อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return: IRR)
   - 4.4 ระยะเวลาในการคืนทุน (Simple Payback Period : SPP)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการศึกษา

1. ใช้เป็นข้อมูลในการติดตั้งระบบปั๊มความร้อนสำหรับโรงแรมกรณีศึกษา
2. ใช้เป็นแนวทางในการเลือกติดตั้งปั๊มความร้อนสำหรับผลิตน้ำร้อนในโรงแรมแทนการติดตั้งระบบทำความร้อนชนิดอื่นๆ ในประเภทโรงแรม
3. ใช้เป็นเกณฑ์การตัดสินใจในการลงทุนเปลี่ยนมาใช้ระบบปั๊มความร้อนแทนระบบอื่นๆ โดยพิจารณาทั้งมูลค่าการลงทุนเริ่มต้น ความเหมาะสมค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ผลตอบแทนการลงทุนและจุดคุ้มทุนโครงการ

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานศึกษาที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปั๊มความร้อน

ปั๊มความร้อนเป็นระบบที่มีวัฏจักรการทำงานทางเทอร์โมไดนามิกส์ ที่รู้จักกันว่า Carnot Cycle ซึ่งดึงความร้อนจากแหล่งความร้อนแล้วนำไปถ่ายเทในบริเวณที่ต้องการความร้อน หรือกล่าวง่ายๆได้ก็คือการปั๊มความร้อนจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งนั่นเอง วัฏจักรการทำงานของปั๊มความร้อนมีลักษณะเช่นเดียวกับระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ (Mechanical Wapour Compression System) ต่างกันเพียงแต่ปั๊มความร้อนจะเลือกใช้ประโยชน์จากด้านความร้อนเป็นหลักและควบคุมอุณหภูมิด้านความร้อนทางด้านความเย็น ซึ่งส่วนประกอบการทำงานหลักของปั๊มความร้อน ประกอบด้วย 4 อุปกรณ์หลักดังนี้ (รูปที่ 2.1)

1. อีวาพอเรเตอร์ ทำหน้าที่ดึงความร้อนจากภายนอกเข้าสู่วงจรปั๊มความร้อน โดยสารทำงานที่ความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกจะดึงความร้อนจากภายนอกและเปลี่ยนสถานะเป็นไอ

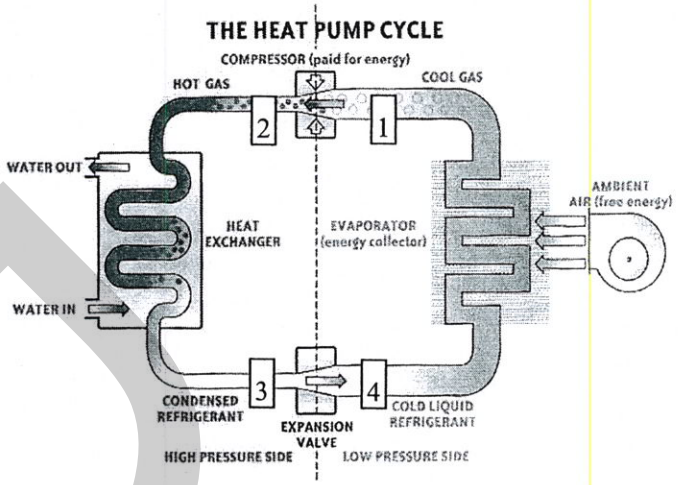
2. คอมเพรสเซอร์ ทำหน้าที่เพิ่มความดันและสารทำงานในสถานะไอที่อุณหภูมิต่ำให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าภายนอกและส่งต่อไปที่คอนเดนเซอร์

3. คอนเดนเซอร์ ทำหน้าที่ระบายความร้อนจากสารทำงานที่ความดันและอุณหภูมิสูงกว่าภายนอกทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวที่ความดันสูงไหลต่อไปยังเอ็กซ์แพนชั่นวาล์ว

4. วาวล์ขยายตัว ทำหน้าที่ลดความดันของสารทำงานเพื่อป้อนให้กับอีวาพอเรเตอร์

2.1.1 หลักการทำงานของปั๊มความร้อน

หลักการทำความร้อนของเครื่องปั๊มความร้อนนั่นคือ การดึงเอาความร้อนจากที่แหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ (โดยทั่วไปคือบรรยากาศรอบนอกอาคาร) ถ่ายเทไปสู่ที่ที่ต้องการทำความร้อน โดยผ่านตัวกลางคือ สารทำงาน (Refrigerant) ซึ่งจะมีลักษณะการทำงานคล้ายกับระบบปรับอากาศแต่จะแตกต่างกันที่มีวัตถุประสงค์การใช้งานที่ระบบปรับอากาศที่ต้องการทำความเย็นในห้องแต่ระบบปั๊มความร้อนจะมุ่งเน้นที่การทำน้ำร้อน



รูปที่ 2.1 ระบบปั๊มความร้อน

ที่มา : http://se-ed.net/siam2cool/knowledge/ knowledge2.htm

หลักการทำงานของปั๊มความร้อน ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนจากอากาศแหล่งที่มีอุณหภูมิสูงและแหล่งอุณหภูมิต่ำ โดยใช้สารทำความเย็นเป็นสารทำงานนั้นจะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับวัฏจักรการอัดไอเบื้องต้น เริ่มจากคอมเพรสเซอร์ดูดสารทำความเย็นซึ่งอยู่ในสภาวะที่เป็นไอที่จุด 1 และถูกอัดเพื่อให้มีความดันสูงขึ้นตามกระบวนการไอเซนโทรปิค (Isentropic Process) ที่จุด 2 แล้วไอสารทำความเย็นที่มีความดันสูงและอุณหภูมิสูงจะถูกส่งไปยังคอนเดนเซอร์เพื่อระบายความร้อนให้แก่น้ำ (Q_c) โดยกระบวนการความดันคงที่ (Isentropic Process) ทำให้สารทำความเย็นควบแน่นกลายเป็นของเหลวที่มีความดันสูงที่จุดที่ 3 จากนั้นสารทำความเย็นจะไหลผ่านอุปกรณ์ลดความดัน (Expansion Valve) ซึ่งเรียกว่ากระบวนการลดความดันโดยอาศัยความเสียดทาน โดยไม่มีการถ่ายเทความร้อน (Throtting Process or Constant Enthalpy) ออกมาที่จุด 4 สารทำความเย็นบางส่วนจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ โดยดูดความร้อนจากของเหลวที่เหลืออยู่ให้เย็นลงซึ่งไอจะเย็นลงด้วย ไอผสมของเหลวซึ่งเย็นนี้จะไหลเข้าเครื่องระเหย (evaporator) และดูดความร้อน (Q_e) จากสิ่งแวดล้อมที่ความดันคงที่ (Isentropic Process) จนกลายเป็นไปหมดทุด 1 แล้วเริ่มวัฏจักรใหม่อีกครั้ง

โดยทั่วไปแล้วการวัดประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศสามารถวัดได้จากค่าสมรรถนะการทำงาน COP (Coefficient Of Performance) และค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพทางพลังงานของเครื่องทำน้ำรอน โดยมีรายละเอียดดังนี้

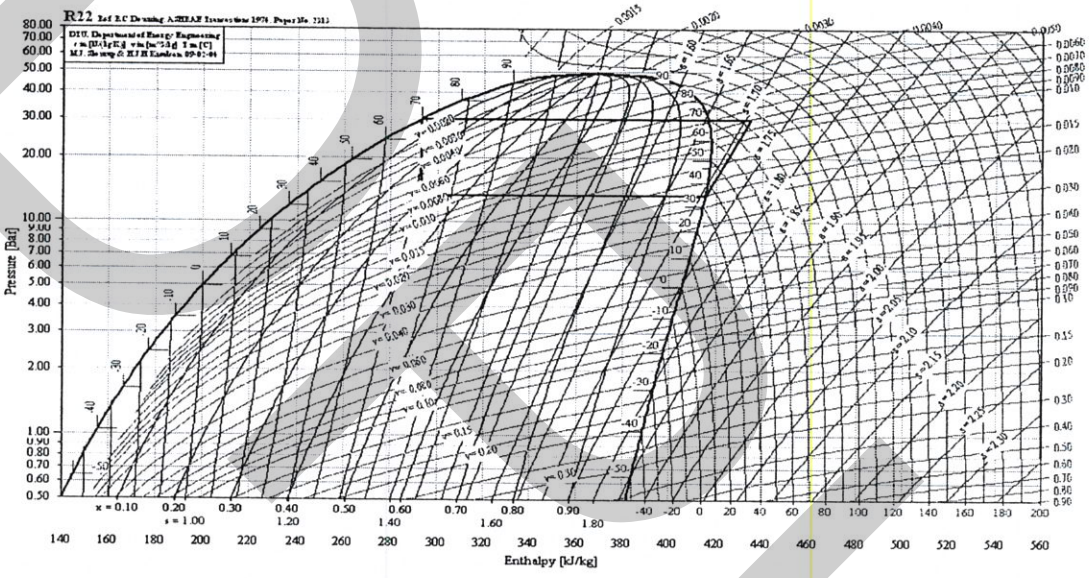
สัมประสิทธ์ในการทำงาน (Coefficient Of Performance : COP) เป็นค่าที่แสดงประสิทธิภาพของวัฏจักรการทำความร้อนคืออัตราส่วนระหว่างพลังงานที่เครื่องสามารถทำความร้อนได้ต่อพลังงาน

ที่ต้องใช้ (พลังงานไฟฟ้า) และค่า COP จะมีค่ามากกว่า 1 เนื่องจากเครื่องทำความร้อนนั้นทำหน้าที่เป็นปั๊มสำหรับถ่ายเทความร้อน ดังนั้นความสามารถการทำความร้อนจึงต้องมากกว่างานที่ทำในเครื่องอัด ซึ่งมีรายละเอียดสมการดังนี้

$$COP_h = Q_c / (Q_C - Q_E) \quad (2.1)$$

เมื่อ Q_C = ค่าปริมาณความร้อนที่สามารถผลิตได้ (kW)

Q_E = อัตราความร้อนที่ถ่ายเทความร้อนที่อีวาเพอเรเตอร์ (kW)



รูปที่ 2.2 P-h Diagram ของสารทำงาน R-22

จากรูปที่ 2.2 ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน (pressure) และเอนทาลปี (Enthalpy) หรือความร้อน (Heat Content) แกนตั้งบนแผนภาพ P-H จะเป็นแกนของความดันคงที่ (Constant pressure) และแกนนอนจะปีนแกนของเอนทาลปี เส้นของเหลวอิ่มตัว (Saturated Liquid) เป็นเส้นที่สร้างมาจากแรงดันและเอนทาลปีของเหลวอิ่มตัวคือเส้นที่สารทำความเย็นจะเป็นของเหลว เส้นไออิ่มตัว (Saturated Vapor) เป็นเส้นที่สร้างมาจากความดันและเอนทาลปีของไอน้ำอิ่มตัวคือเส้นที่สารทำความเย็นจะเป็นแก๊ส โดยค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณสมการที่ 2.1 สามารถหาได้จาก P-h Diagram ได้ดังนี้

$$Q_C = m_r (h_2 - h_3) \quad (2.2)$$

เมื่อ m_r = มวลของสารทำความเย็น (kg/s)

h_2 = เอนทราปีที่จุด 2 ในรูปที่ 2.2 (kJ/kg)

h_3 = เอนทราปีที่จุด 3 ในรูปที่ 2.2 (kJ/kg)

$W_{Comp.}$ = $m_r (h_2 - h_1)$ (2.3)

เมื่อ $W_{Comp.}$ = ปริมาณการใช้พลังงานที่คอมเพรสเซอร์ (kW)

h_1 = เอนทราปีที่จุด 1 ในรูปที่ 2.2 (kJ/kg)

Q_E = $m_r (h_1 - h_4)$ (2.4)

เมื่อ h_4 = เอนทราปีที่จุด 4 ในรูปที่ 2.2 (kJ/kg)

อัตราส่วนประสิทธิภาพทางพลังงานของเครื่องทำน้ำร้อน (Energy Efficiency Ratio , EER) หาได้จากอัตราส่วนของพลังงานความร้อนที่ใช้ประโยชน์ต่อพลังงานไฟฟ้ารวมที่ใช้

$EER = m_W \times C_{p,W} \times (T_0 - T_i)/P_T$

โดย EER = อัตราส่วนประสิทธิภาพทางพลังงานของเครื่องทำน้ำร้อน (kW_{th}/kW_e)

m_W = อัตราการไหลของน้ำ (kg/s)

$C_{p,W}$ = ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมีค่าเท่ากับ 4.184 kJ/kg.K

T_0 = อุณหภูมิน้ำร้อนที่ออกจากถังเก็บน้ำร้อน (K)

T_i = อุณหภูมิน้ำป้อนที่เข้าสู่ถังเก็บน้ำร้อน (K)

P_T = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดของเครื่องทำน้ำร้อน (kW)

2.1.2 ประเภทของปั๊มความร้อน

ปัจจุบันปั๊มความร้อนที่ใช้งานโดยทั่วไปนั้น สามารถแบ่งออกเป็น2 ประเภท คือ เครื่องปั๊มความร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรรม (Industrial Heat Pump) และเครื่องปั๊มความร้อนในที่พักอาศัยและอาคารพาณิชย์ (Building Heat Pump) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) เครื่องปั๊มความร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรรม (Industrial Heat Pump) ปั๊มความร้อนแต่ละชนิดนั้นมีลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน ดังนั้นความเหมาะสมในด้านต่างๆ จึงมีความแตกต่างกัน โดยเครื่องปั๊มความร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรรมแต่ละประเภทมีดังนี้

- Mechanical Vapor Recompression System (MVRs)

แบ่งได้เป็นปั๊มความร้อนแบบเปิดและกึ่งเปิด แบบเปิดนั้นไอของสารทำงานจะถูกอัดจนความดันสูงและอุณหภูมิสูงและควบแน่นเมื่อคายความร้อนออก โดยสารทำงานสัมผัสโดยตรงกับแหล่งความร้อนและแหล่งปล่อยความร้อน แบบกึ่งเปิดนั้นความร้อนจากไอจะถ่ายเทให้กับกระบวนการผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณแหล่งความร้อนหรือแหล่งปล่อยความร้อน ปกติแล้วสมรรถนะการทำงานของปั๊มความร้อนชนิดนี้จะค่อนข้างสูง ซึ่งดูได้จากค่า COP:Coefficient Of Performance (COP) ที่มีค่าระหว่าง 10-30 ส่วนการทำงานของปั๊มความร้อนชนิดนี้จะได้ความร้อนมากจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิ 70-80 ^{0}Cและทำความร้อนได้สูงถึง 110-150 ^{0}C และบางกรณีอาจสูงถึง 200 ^{0}C มักจะใช้น้ำเป็นสารทำงาน

- Closed Cycle Compression Heat Pumps

ปั๊มความร้อนแบบปิดคือการที่สารทำงานวนอยู่ในระบบปิด กล่าวคือแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งในอีแวปเปอร์เรเตอร์และคอนเดนเซอร์สารทำงานจำกัดอุณหภูมิความร้อนที่ได้ 120 ^{0}C

- Absorption Heat Pump (Type I)

ปั๊มความร้อนแบบนี้ไม่มีการใช้งานในอุตสาหกรรมมากนัก มักใช้เพื่องาน Heat Recovery อุณหภูมิที่จะได้ออกมาประมาณ 100^{0}C และทำอุณหภูมิสูงขึ้นมาได้ 65 ^{0}C (Lift of) ค่า COP อยู่ระหว่าง 1.2 - 1.4 แต่ปั๊มความร้อนใหม่ๆให้อุณหภูมิได้สูงถึง 260 ^{0}C ในกรณีที่เป็นปั๊มความร้อนรุ่นใหม่

- Heat transformers (Type II)

จะมีส่วนประกอบเหมือนกับแบบ Absorption Heat Pump สามารถนำความร้อนทิ้งที่เหลือใช้ที่อุณหภูมิระดับกลาง (ระหว่างระดับความร้อนของสภาพแวดล้อม)มาใช้กับระบบนี้ได้โดยไม่ต้องใช้พลังงานจากภายนอก ความร้อนระดับกลางจะถูกส่งให้อีแวปเพอเรเตอร์และเจนเนอเรเตอร์ ความร้อนส่วนที่ใช้ประโยชน์ได้ก็จะส่งต่อไปยังแอปซอร์ปเบอร์ ในปัจจุบันใช้น้ำและลิเทียมโบรไมดเป็นสารทำงานคู่กัน อุณหภูมิที่ได้จากระบบนี้จะสูงถึง 150 ^{0}C และทำอุณหภูมิสูงขึ้นมาได้ 50 ^{0}C (Lift of) มีค่า COP ระหว่าง 0.45-0.48

- Reversed Brayton-cycled Heat pumps

ใช้หลักการในการ recover ของ solvents จากแก๊สในกระบวนการผลิต อากาศที่มี solvents จะถูกอัด แล้วขยายตัวอากาศเย็น(จากการขยายตัว)แล้ว solvents ก็จะควบแน่นและวนในกระบวนการนี้ซ้ำอีกครั้ง การขยายตัวและการวนกลับที่กล่าวมาจะเกิดในกังหันซึ่งขับคอมเพรสเซอร์

2) เครื่องปั๊มความร้อนที่ใช้ในอาคารพานิชย์ (Building Heat Pump)

อาคารขนาดใหญ่โดยเฉพาะอาคารประเภทโรงพยาบาลและโรงแรมนั้นจะมีระบบทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนหลากหลายชนิด ทั้งนี้สามารถแบ่งออกมาเป็นแต่ละประเภทดังนี้

- Heating Only

เป็นแบบที่ใช้งานโดยเน้นภาคความร้อนเป็นหลักโดยจะทำความร้อนให้แก่น้ำหรืออากาศ

- Heating and cooling

เป็นแบบที่ง่ายที่สุดคือ Reverisble air heat pump ซึ่งในอาคารใหญ่ๆ มักจะใช้วงจรน้ำ (Water Loop: Hydronic) เป็นตัวส่งถ่ายความร้อนและความเย็น จึงสามารถทำได้พร้อมกัน

- Integrated System

คือการทำทั้งความร้อนและความเย็นและทำให้กับน้ำหรืออากาศรวมทั้งมีการนำไอร้อนกลับมาใช้งาน ถ้าเป็นการทำน้ำร้อนให้น้ำก็ทำได้แค่ De-superheating หรือ Condenser heating

- Water Only

มักใช้อากาศภายนอกเป็นแหล่งความร้อนแต่หากมีความร้อนจากแหล่งอื่นที่สูงกว่าก็ใช้ได้เช่นกัน ในกรณีที่ยึดการใช้งานด้านใดด้านหนึ่งเป็นหลักก็จะเรียกว่าเป็นแบบ Montvale แต่ถ้าต้องการทั้งสองด้านก็จะเป็นแบบ Bivalent ในกรณี Bivalent ขนาดฮีทปั๊มจะมีขนาดเป็น 20-60% ของภาระสูงสุด ซึ่งจะรองรับความต้องการได้ถึง 50-95% ของความต้องการตลอดปี แต่ในช่วงพีคโหลดอาจต้องใช้ความร้อนจากแก๊สหรือบอยเลอร์ช่วย ในอาคารขนาดใหญ่อาจต่อร่วมกับ Cogeneration System

2.1.3 การหาขนาดปั๊มความร้อน

การหาขนาดปั๊มความร้อนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิน้ำร้อนและอุณหภูมิน้ำทางเข้า ตลอดจนปริมาณน้ำร้อนที่ต้องการใช้สูงสุดในแต่ละวัน ดังสมการที่ 2.1

$$H_C = [m_D \times 0.001163 \times (T_2 - T_1)] / h \qquad (2.1)$$

เมื่อ H_C = ขนาดเครื่องปั๊มความร้อน (kW)

m_D = ปริมาณน้ำร้อนที่ต้องการ (L/day)

T_1 = อุณหภูมิน้ำใช้งาน (^{0}C)

T_2 = อุณหภูมิน้ำเข้า (^{0}C)

h = ระยะเวลาการทำงาน (ชั่วโมง)

2.1.4 การหาขนาดเครื่องสูบน้ำร้อนหมุนเวียน

ปริมาณของน้ำร้อนที่จำเป็นต้องหมุนเวียน (ปริมาณน้ำร้อนที่สูบหมุนเวียนโดยอาศัยเครื่องสูบน้ำหมุนเวียน) หาได้ด้วยการพิจารณาการสูญเสียความร้อนจากท่อและเครื่องจักรอุปกรณ์และความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างท่อจ่ายและท่อไหลกลับจากปริมาณน้ำที่หาได้นี้ ความดันที่สูญเสียไปในเส้นท่อก็หาได้ ถ้าการสูญเสียความดันนี้มากกว่าหัวหมุนเวียนที่อยู่ตามธรรมชาติ ค่าแตกต่างนี้จะต้องได้มาจากเครื่องสูบน้ำหมุนเวียน การสูญเสียความดันเนื่องจากแรงเสียดทานที่เครื่องสูบน้ำต้องชนะนี้ คำนวณได้จากเส้นทางการหมุนเวียนที่ยาวที่สุด ไม่มีความจำเป็นที่ต้องคำนวณการสูญเสียความดันเนื่องจากแรงเสียดทานในท่อแยกต่างๆ สามารถหาได้จากสมการที่ 2.2

$$W = Q / \Delta T \times 60 \qquad (2.2)$$

เมื่อ W = อัตราการหมุนเวียนของน้ำ (L/min)

Q = ความร้อนที่สูญเสียไปทางท่อและเครื่องจักรอุปกรณ์ ต่อชั่วโมง (kcal/hr)

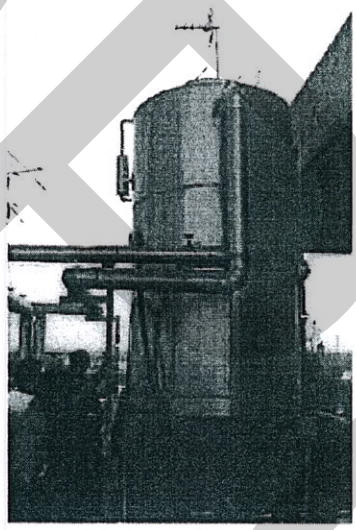
2400

ΔT = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำร้อนในท่อจ่ายและท่อไหลกลับ (^0C) (มีค่าประมาณ 10 ^0C ในกรณีของการหมุนเวียนตามธรรมชาติ และ 5 ^0C สำหรับการหมุนเวียนโดยใช้เครื่องสูบ)

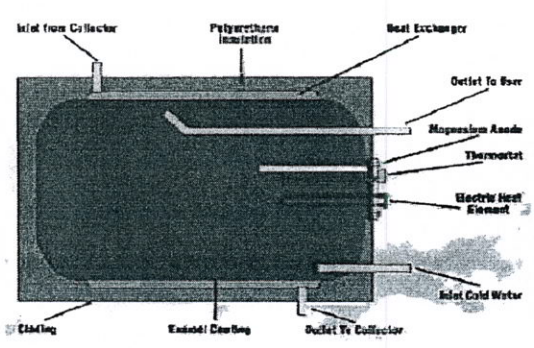
2.1.5 การหาขนาดถังกักเก็บน้ำร้อน

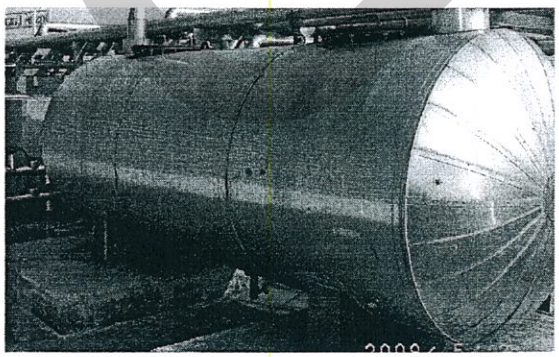
ถังกักเก็บน้ำร้อนที่ได้จากเครื่องทำน้ำร้อนเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับนำไปใช้งานส่วนใหญ่นิยมใช้ถังสแตนเลส เนื่องจากมีความแข็งแรง ทนทาน ทนแรงดันได้สูง ไม่เป็นสนิมและทำความสะอาดได้ง่าย แต่อาจจะมีราคาแพง การหาขนาดถังเก็บน้ำร้อนจะหาได้จากปริมาณที่ต้องการสำรองน้ำสูงสุดดังสมการที่ 2.3 และลักษณะถังเก็บนำร้อนมี 2 คือ ถังแบบแนวตั้งและแบบแนวนอน

ขนาดความจุของถังกักเก็บน้ำร้อน = m/0.7 (2.3)



รูปที่ 2.3 ถังเก็บน้ำร้อนแบบแนวตั้ง

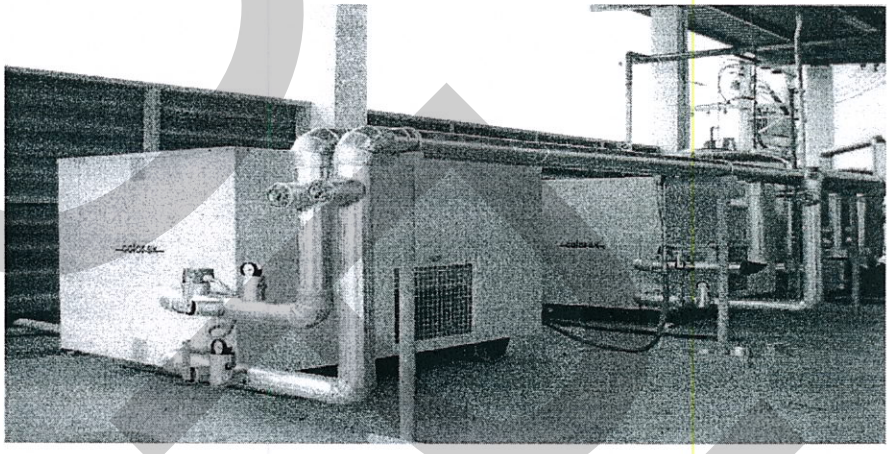




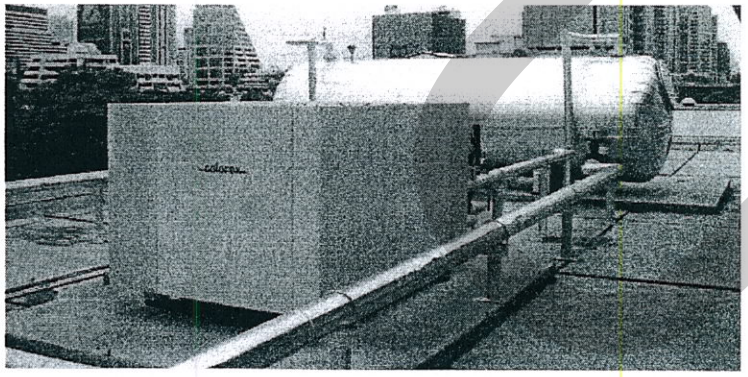
รูปที่ 2.4 ถังเก็บน้ำร้อนแบบแนวนอน

2.1.6 ท่อน้ำร้อน

ท่อน้ำร้อนสำหรับระบบผลิตน้ำร้อนจะใช่ท่อประปา Galvanize steel pipe หรือท่อเหล็กชุบสังกะสีเนื่องจากมีความแข็งแรงทนทาน ทนแรงดันน้ำได้สูง ติดตั้งได้ภายในและภายนอกอาคาร สำหรับการหาขนาดท่อน้ำร้อนสามารถหาได้จากไดอะแกรมอัตราการไหลและ Head loss ภายในท่อ Galvanize steel pipe โดยใช้อัตราการไหลของน้ำร้อน (m) เป็นค่าในการหาและอัตราการไหลในท่อควรมีความเร็วอยู่ที่ 1.2 – 3 m/s ถ้าความเร็วในท่อสูงเกินไปจะทำให้เกิดเสียงดังและเกิด Pressure Drop เนื่องจากแรงเสียดทานภายในท่อ



รูปที่ 2.5 การติดตั้งปั๊มความร้อนพร้อมอุปกรณ์ประกอบการติดตั้ง



รูปที่ 2.6 การติดตั้งปั๊มความร้อนต่อเชื่อมระบบเข้ากับถังเก็บน้ำร้อน

2.2 มาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการออกแบบด้านพลังงานระบบวิศวกรรมอาคารตามกฎหมาย

พระราชบัญญัติการส่งเสริมและอนุรักษ์พลังงานฉบับที่ 2 (ปี 2550) ได้ประกาศใช้พระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุมและกฎกระทรวงซึ่งมีข้อกำหนดรายละเอียดมาตรฐานของแต่ละระบบเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในอาคารควบคุม ซึ่งมีข้อกำหนดดังนี้ (ที่มา : พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2550))

2.2.1 ระบบกรอบอาคาร

ก. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร

(1) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารในส่วนที่มีการปรับอากาศในแต่ละประเภทของอาคารต้องมีค่าไม่เกินดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร

ประเภทอาคาร	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (W/m^2)
(ก) สถานศึกษา สำนักงาน	50
(ข) โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	40
(ค) โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	30

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารในส่วนที่มีการปรับอากาศ ให้คำนวณจากค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารแต่ละด้านรวมกัน

(2) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารในส่วนที่มีการปรับอากาศในแต่ละประเภทของอาคารต้องมีค่าไม่เกินดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร

ประเภทอาคาร	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาของอาคาร (W/m^2)
(ก) สถานศึกษา สำนักงาน	15
(ข) โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	12
(ค) โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	10

(3) อาคารที่มีการใช้งานพื้นที่หลายลักษณะ พื้นที่แต่ละส่วนต้องใช้ข้อกำหนดของระบบกรอบอาคารตามลักษณะการใช้งานของพื้นที่แต่ละส่วนนั้น

2.2.2 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

การใช้ไฟฟ้าส่องสว่างภายในอาคาร โดยไม่รวมพื้นที่จอดรถ

(1) การใช้ไฟฟ้าส่องสว่างภายในอาคาร ต้องให้ได้ระดับความส่องสว่างสำหรับงานแต่ละประเภทอย่างเพียงพอ และเป็นไปตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารหรือกฎหมายเฉพาะว่าด้วยการนั้นกำหนด

(2) อุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับใช้ส่องสว่างภายในอาคารต้องใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละประเภทของอาคารมีค่าไม่เกินดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ใช้งาน

ประเภทอาคาร	ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ใช้งาน (W/m^2)
(ก) สถานศึกษา สำนักงาน	14
(ข) โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	18
(ค) โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	12

(3) อาคารที่มีการใช้งานพื้นที่หลายลักษณะ พื้นที่แต่ละส่วนต้องใช้ค่าในตารางตามลักษณะการใช้งานของพื้นที่ส่วนนั้น

2.2.3 ระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศ ประเภทและขนาดต่าง ๆ ของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งภายในอาคาร ต้องมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นและค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น เป็นไปตามที่รัฐมนตรีประกาศกำหนด ดังนี้

ตารางที่ 2.4 ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นและค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่

ประเภทเครื่องทำน้ำเย็น		พิกัดเครื่อง (TON_{RE})	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW/TON)
การระบายความร้อน	ประเภทเครื่องอัด		
อากาศ	ทุกชนิด	< 300	1.33
		> 300	1.31
น้ำ	ลูกสูบ	ทุกขนาด	1.24
	โรตารี สกรู สครอลล์	< 150	0.89
		> 150	0.78
	แรงเหวี่ยง	< 500	0.76
		> 500	0.62

ตารางที่ 2.5 ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก

เครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก		
ขนาด (วัตต์)	COP	EER
< 12,000	3.22	11

2.2.4 ระบบผลิตน้ำร้อน

อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อนที่ติดตั้งภายในอาคารต้องมีค่าประสิทธิภาพขั้นต่ำและค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำดังตารางที่ 2.6 และ 2.7

ตารางที่ 2.6 หม้อไอน้ำและหม้อต้มน้ำร้อน

ประเภท	ค่าประสิทธิภาพขั้นต่ำ (ร้อยละ)
(ก) หม้อไอน้ำที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง (oil fired steam boiler)	85
(ข) หม้อต้มน้ำร้อนที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง (oil fired hot water boiler)	80
(ค) หม้อไอน้ำที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง (gas fired steam boiler)	80
(ง) หม้อต้มน้ำร้อนที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง (gas fired hot water boiler)	80

ตารางที่ 2.7 เครื่องทำน้ำร้อนชนิดฮีตปั๊มแบบใช้อากาศเป็นแหล่งพลังงาน

ภาระพิกัด				ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ
ลักษณะการออกแบบ	อุณหภูมิน้ำเข้า	อุณหภูมิน้ำออก	อุณหภูมิอากาศ	
	องศาเซลเซียส			
(ก) แบบที่ 1	30	50	30	3.5
(ข) แบบที่ 2	30	60	30	3.0

2.3 การวิเคราะห์ทางการเงิน

ความรู้ทางด้านเศรษฐศาสตร์นั้น ได้ถูกนำมาเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจพิจารณาว่าระบบใดให้ผลตอบแทนคุ้มค่าต่อการลงทุนมากที่สุดหรือมีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด โดยมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดจากการศึกษางานวิจัยและโครงงานด้านเศรษฐศาสตร์ทำให้ทราบถึงหลักเกณฑ์ที่ใช้เปรียบเทียบของโครงการจะเน้นถึงผลตอบแทนที่รับโดยรวมทั้งนี้สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท

1. เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนแบบไม่ต้องปรับค่าของเวลาเป็นเกณฑ์การตัดสินใจสำหรับโครงการลงทุนต่ำ ระยะสั้นไม่เกิน 1 ปี หรือเป็นโครงการที่ต้องการตรวจสอบอย่างคร่าวๆ

2. เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนแบบปรับค่าของเวลาเป็นเกณฑ์การตัดสินใจสำหรับระยะเวลามากกว่า 1 ปี ผลประโยชน์และต้นทุนของโครงการจะเกิดขึ้นในระยะเวลาต่างๆ กันตลอดอายุของโครงการ โดยทั่วไปสมการของโครงการแบ่งเป็น 3 ประเภทโดยมีรายละเอียดของสมการดังต่อไปนี้

1) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) คือจำนวนผลประโยชน์สุทธิที่ได้รับตลอดระยะเวลาโครงการที่ได้ปรับค่าของเวลาแล้ว ซึ่งอาจจะมีค่าเป็นศูนย์บวกหรือลบ ขึ้นอยู่กับมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวม(Present Value Benefit : PVB)หักออกด้วยมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม (Present Value Cost : PVC) ของโครงการนั้นโดยมีหลักเกณฑ์การตัดสินใจที่ยอมรับโครงการคือต้องค่า NPV มากกว่าศูนย์ แสดงว่าจำนวนผลประโยชน์สุทธิมีค่าเป็นบวก จะถือว่าโครงการนั้นคุ้มค่าต่อการลงทุน

$$NPV = PVB - PVC \quad (2.5)$$

เมื่อ NPV = มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

PVB = ผลรวมมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์

PVC = ผลรวมมูลค่าปัจจุบันของต้นทุน

หรือ

$$NPV = \sum^{n} [(B_t - C_t) / (1 + i)^t] \; ; t = 1 \text{ ถึง } n \quad (2.6)$$

เมื่อ n = อายุของโครงการ (ปี)

t = ระยะเวลาของโครงการ (ปี) เมื่อ t = 1,2,…,n

B_t = ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่ t

C_t = ต้นทุนของโครงการในปีที่ t

2) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio : BCR) คือมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ตลอดอายุของโครงการหารด้วยมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวมทั้งหมดตลอดอายุของโครงการโดยมีเกณฑ์การตัดสินใจยอมรับคือ BCR ต้องมากกว่าหนึ่งจึงถือว่าโครงการนั้นคุ้มค่าต่อการลงทุนแต่ยังมีข้อจำกัดบางประการ คือ โครงการใหญ่ที่มีผลตอบแทนสูงและยอมมีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นแม้ BCR จะมีค่ามากกว่าหนึ่งแต่อาจจะเกินไม่มาก ทั้งที่โครงการนี้อาจจะมีรายได้ทั้งหมดมากกว่าโครงการอื่นที่เล็กกว่าแต่มีค่า BCR สูงกว่าก็เป็นได้ กรณีเช่นนี้อาจทำให้การตัดสินใจผิดพลาดจึงควรมีการใช้เกณฑ์การตัดสินใจอย่างอื่นประกอบด้วย

$$BCR = PVB / PVC \quad (2.7)$$

$$BCR = \sum^{n} \{[B_t / (1 + i)^t] / [C_t(1 + i)^t] \} \; ; t = 1 \text{ ถึง } n \quad (2.8)$$

3) อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return : IRR) คือผลตอบแทนของเงินลงทุนตลอดอายุโครงการเป็นร้อยละ หรืออัตราคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการเท่ากับศูนย์ เกณฑ์การตัดสินใจลักษณะนี้มีความคล้ายคลึงกับการหาค่า NPV โดยเปลี่ยนจากอัตราดอกเบี้ยi มาเป็นอัตราคิดลดr โดยอัตราผลตอบแทนนั้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ Financial Internal Rate of Return และ Economic Internal Rate of Return

3.1 ผลตอบแทนทางด้านการเงินภายในโครงการ (Financial Internal Rate of Return ; FIRR) สำหรับวิเคราะห์โครงการทางการเงินเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าเสียโอกาสของทุนหรืออัตราดอกเบี้ยของเงินกู้ยืม ถ้า FIRR มีค่ามากกว่าอัตราดอกเบี้ยของเงินกู้ยืม ถือว่าโครงการนั้นคุ้มค่าต่อการลงทุน

3.2 ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ภายในโครงการ (Economic Internal Rate of Return ; EIRR) ใช้สำหรับวิเคราะห์โครงการทางเศรษฐกิจเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าเสียโอกาสของทรัพยากรที่นำมาใช้ในโครงการหรืออัตราดอกเบี้ยที่แท้จริงของสังคม ถ้า EIRR มีค่ามากกว่าอัตราดอกเบี้ยที่แท้จริงของสังคม ถือว่าโครงการนั้นคุ้มค่าต่อการลงทุน

$$0 = \sum^{n} [(B_t - C_t)/(1 + r)^t] \; ; t = 1 \text{ ถึง } n \qquad (2.9)$$

เมื่อ r = อัตราคิดลดหรืออัตราดอกเบี้ยที่ทำให้ NPV เท่ากับ 0

i = อัตราดอกเบี้ย

หมายเหตุ เกณฑ์การตัดสินใจที่ยอมรับโครงการก็คือค่า r มีค่ามากกว่าค่าเสียโอกาสของทุนหรืออัตราดอกเบี้ยเฉพาะและค่า r ในที่นี้ก็คือค่า IRR นั่นเอง

2.4 งานศึกษาที่เกี่ยวข้อง

ปั๊มความร้อน (Heat Pump) เป็นชุดอุปกรณ์ทำความร้อนที่ใช้คอมเพรสเซอร์ในการดึงความร้อนจากแหล่งความร้อนหรือบรรยากาศจากภายนอกที่มีอุณหภูมิปกติมาอัดให้มีความดันสูงขึ้น อุณหภูมิสูงขึ้นและถ่ายเทความร้อนให้แก่แหล่งระบายความร้อน ซึ่งในปัจจุบันนี้นิยมนำมาทำน้ำร้อนใช้ภายในอาคารและอุตสาหกรรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2550) ได้มีการสนับสนุนให้มีการใช้ปั๊มความร้อนโดยการให้ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีการประยุกต์ใช้ปั๊มความร้อนภายใต้โครงการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจ ในหัวข้อเทคโนโลยีพลังงานเชิงลึกเพื่อให้หันมาใช้ปั๊มความร้อนแทนเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ซึ่งมีข้อมูลระบุว่าปั๊มความร้อนเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานสูงสำหรับการทำความร้อนในช่วงอุณหภูมิร้อนไม่เกิน 60 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นช่วงที่ปั๊มความร้อนทำงานที่มีประสิทธิภาพสูง กว่าช่วง 80 – 90 0C ได้แก่ การผลิตน้ำร้อนสำหรับกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมหรือในอาคาร รวมทั้งการอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทั้งนี้ค่าใช้จ่ายของการติดตั้งระบบปั๊มความร้อนแบบวงจรปิดจะอยู่ระหว่าง 12,000 – 28,000 บาทต่อกิโลวัตต์ความร้อนหรือ 3,500,000 - 8,200,000 บาทต่อ MMBtu

จากข้อมูลที่ทางกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้รวบรวมมานั้นพบว่าปั๊มความร้อนเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูงและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงใน

อาคารและโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้ ธีรภัทร์ อนุชาติ (2549) จากวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้เสนอแนวทางในการพัฒนาระบบทำน้ำร้อนในสถานประกอบการโดยทำการศึกษาการเลือกขนาดระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ร่วมกับปั๊มความร้อนสำหรับการใช้งานในโรงแรมในประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลการใช้น้ำร้อนจากกรณีศึกษาโรงแรมตัวอย่าง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ทางด้านการประหยัดพลังงานและความคุ้มค้าทางการเงินในการลงทุนนั้น พบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการผลิตน้ำร้อนจากการผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ร่วมกับปั๊มความร้อนนั้นนั้น สามารถเกิดผลประหยัดได้มากกว่าใช้ปั๊มความร้อนเพียงอย่างเดียว ซึ่งจากการศึกษานี้จะเห็นได้ว่าปั๊มความร้อนนอกจากจะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากแล้ว หากผู้ประกอบการต้องการที่จะลงทุนดัดแปลงให้มีประสิทธิภาพประหยัดพลังงานเพิ่มมากขึ้นจากการเลือกใช้การทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมด้วยก็สามารถทำได้โดยติดตั้งเพิ่มเติมจากปั๊มความร้อนเดิมที่มีอยู่ได้โดยไม่ต้องดัดแปลงมากนัก

พัชรี จันทนบุบผา (2536) ได้ทำการศึกษาการใช้ปั๊มความร้อนเพื่อเพิ่มคุณภาพพลังงานความร้อน โดยการประเมินสมรรถนะของระบบเปรียบเทียบระหว่างการใช้สารทำงาน 2 ชนิด คือ R-22 และ KCD – 9430 อัตราส่วนผสม R-22/R152a/R114 30:23:47 และศึกษาผลของความเข้มข้นของ R-22 ที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบ

ในช่วงต่อมาปั๊มความร้อนก็เริ่มเข้ามามีบทบาทในงานด้านอุตสาหกรรมในการใช้เป็นอุปกรณ์ผลิตลมร้อนเพื่อช่วยในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ต่างๆ และได้มีการศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะและการปรับปรุงให้ปั๊มความร้อนสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

จุฑามาศ ภควัตบริรักษ์ ได้ทำการศึกษาสมรรถนะของปั๊มความร้อนซึ่งทำงานร่วมกับสารดูดความชื้นชนิดแข็งเพื่อใช้ในกระบวนการอบแห้งโดยสารดูดความชื้นที่ใช้ก็คือซิลิกาเจลจัดเรียงตัวแบบแผ่นสลับ วางขวางทางไหลของอากาศที่เข้าสู่กระบวนการอบแห้ง เพื่อลดความชื้นของอากาศตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ ขนาดและจำนวนแผ่นสารดูดความชื้นที่ใช้ อุณหภูมิ ความเร็วลมและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เข้าสู่กระบวนการ ในการศึกษาได้ทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการดูดซับความชื้น กระบวนการไล่ความชื้นของสารดูดความชื้นและระบบปั๊มความร้อน

การประเมินสมรรถนะของระบบที่สภาวะการทำงานต่างๆของระบบเมื่อใช้ R-22 เป็นสารทำงาน ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1.91-3.85 และค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบเมื่อใช้ KCD – 9430 เป็นสารทำงานจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1.54-2.69 ดังนั้นการเพิ่มคุณภาพพลังงานความร้อนความร้อนสามารถเพิ่มอุณหภูมิโดยน้ำที่ออกจากคอนเดนเซอร์มี

อุณหภูมิสูงขึ้น 8-10 ^{0}C จึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้สารทำงานผสมในระบบปั๊มความร้อนสามารถเพิ่มคุณภาพความร้อนให้แก่ระบบได้มากกว่าใช้สารเดี่ยว

ในการวิจัยได้สร้างชุดทดสอบโดยใช้สารดูดความชื้นทำงานร่วมกับระบบปั๊มความร้อนเพื่อใช้กระบวนการอบแห้ง ระบบปั๊มความร้อนที่ใช้เป็นแบบอัดไอ ใช้สารทำงานคือ R-134a ทำการควบคุมความเร็วรอบการหมุนของคอมเพรสเซอร์ในช่วง 100 - 2500 rpm. สภาวะอากาศที่เข้าสู่กระบวนการถูกควบคุมให้อยู่ในช่วง 20-40 ^{0}C ความชื้นสัมพัทธ์ 50-80% ความเร็วลม 1-3 m/s ทำการศึกษาระบบที่มีโครงสร้าง 2 ลักษณะ คือ แบบ A และแบบ B ในระบบ A นั้นไอน้ำจะถูกแยกจากอากาศโดยการกลั่นตัวที่อีวาเพอร์เรเตอร์ จากนั้นจะได้อากาศเย็นไปรับความร้อนที่คอนเดนเซอร์ จะได้อากาศที่เข้าสู่ห้องอบแห้งที่มีความชื้นต่ำ ในระบบ B อากาศจากภายนอกจะได้รับความร้อนจากคอนเดนเซอร์และฮีทเตอร์เท่านั้น ก่อนที่จะเข้าสู่ห้องอบแห้งและอีวาเพอร์เรเตอร์จะดึงความร้อนและลดความชื้นสัมพัทธ์จากอากาศร้อนที่ออกจากห้องอบแห้ง

พบว่าผลจากแบบจำลองมีค่าใช้เคียงกับผลการทดลองอยู่ในช่วงประมาณ 10% จึงใช้แบบจำลองดังกล่าวในการทำนายค่าการประหยัดพลังงาน จากการวิจัยพิว่าการใช้สารดูดความชื้นทำงานร่วมกับปั๊มความร้อนโครงสร้างแบบ B ที่ใช้ในการวิจัย ส่งผลให้สามารถใช้พลังงานโดยรวมได้ต่ำลง โดยทำการสับเปลี่ยนสารดูดความชื้นทุกๆ 30 นาที จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เมื่อใช้งานที่เวลา 6,000 hr/year ที่อัตราการอบแห้ง 1.5 kg/hr พบว่าสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้สูงสุด 18,000-25,000 Bath/year ค่าอัตราการคืนทุน (IRR) 78-114% ระยะเวลาการคืนทุน 0.9-1.3 ปี

นอกจากปั๊มความร้อนจะสามารถประยุกต์ใช้กับงานด้านการลดความชื้นและการอบแห้งได้แล้ว ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตน้ำร้อนได้อีกด้วย โดยได้มีการศึกษาการนำปั๊มความร้อนมาเสริมสมรรถนะด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อการประหยัดพลังงานอีกด้วย

สรรพวรรธ วิทยาศัย (2543) ได้เลือกใช้ปั๊มความร้อนเสริมสำหรับระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ในจังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์มาจำลองการทำงานของระบบเพื่อศึกษาถึงระยะเวลาการคืนทุนของระบบ โดยทำการปรับเปลี่ยนขนาดของปั๊มความร้อน ชนิดสารทำงานในปั๊มความร้อน ชนิดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ขนาดตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์กรณีภาระของระบบคงที่ และไม่คงที่ เปรียบเทียบกับระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ทั่วไป

พบว่าระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ปั๊มความร้อนเสริมจะให้ระยะเวลาคืนทุนที่สั้นกว่าระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ทั่วไปเมื่อระบบมีอัตราความต้องการความร้อนมากกว่า 10 MJ/hr ที่ทำงานต่อเนื่อง 12 hr ในเวลากลางวัน และ 24 hr/day เช่นระบบที่มีอัตราความต้องการความร้อน 15 MJ/hr แบบต่อเนื่อง 12 hr ในเวลากลางวัน ระบบใช้ปั๊มความร้อนขนาด 830 W สารทำงาน

R- 134a และใช้ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบกระจกชั้นเดียวขนาด 6.6 m^2 ที่มีถังเก็บสะสมพลังงานขนาด 200 ลิตรจะเป็นระบบที่เหมาะสมที่สุดโดยจะมีระยะเวลาการคืนทุน 3.8 ปี

ส่วนการทำงานแบบภาระไม่คงที่ในช่วงเช้าและบ่ายที่มีระยะเวลาการทำงานรวม 3 และ 5 hr/day ตามลำดับ ระบบผลิตน้ำร้อนดวงแสงอาทิตย์ทั่วไปจะมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานมากว่าระบบที่ใช้ปั๊มความร้อนเสริม โดยมีระยะเวลาการคืนทุนมากกว่า 5 ปี เช่นระบบที่มีอัตราความต้องการความร้อน 25 MJ/hr ที่เวลาทำงานรวม 3 ชั่วโมง และ 5 ชั่วโมง พบว่าการใช้ระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ทั่วไปที่มีตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบกระจกชั้นเดียวขนาด 6.6 m2 และ 8.8 m2 ถังเปก็บสะสมพลังงานขนาด 600 และ 1,000 ลิตร จะให้ระยะเวลาการคืนทุนเท่ากับ 6.6 ปี และ 5.8 ปี ตามลำดับ

อาทิตย์ ไชยอรนันท์ (2543) ทำการศึกษาวิธีการทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อน โดยได้ออกแบบสร้างและประเมินสรรถนะของเครื่องต้นแบบสำหรับทำน้ำร้อนโดยใช้ปั๊มความร้อน เครื่องทำน้ำร้อนต้องมีขนาดกระทัดรัด ติดตั้งและเคลื่อนย้ายได้ง่าย สะดวกต่อการใช้งานและบำรุงรักษา สามารถใช้ได้กับบ้านพักอาศัยขนาด 3- 4 คน ถังเก็บน้ำร้อนที่ใช้มีขนาด 100 ลิตร ระบบปั๊มความร้อนใช้ R-22 เป็นสารทำงาน เครื่องอัดไอขนาด 1.39 kW เครื่องทำระเหยขนาด 3.51 kW เครื่องควบแน่นขนาด 4.46 kW ทั้งนี้ได้ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนโดยทดสอบเหมือนกับการใช้งานจริง โดยเปิดน้ำร้อนใช้งานอย่างต่อเนื่อง แบ่งเป็น 2 ช่วง ช่วงละ 150 ลิตร ตอนเวลา 07.00 น. และ 16.00 น. อัตราการไหลของน้ำร้อน 2.5 ลิตรต่อนาท อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่ปล่อยออกมาเท่ากับ 50.5 ^{0}C พลังงานไฟฟ้ารวมเฉลี่ย เท่ากับ 3.89 kWh สัมประสิทธิ์สมรรถนะเฉลี่ยของปั๊มความร้อน เท่ากับ 3.25 อัตราส่วนประสิทธิภาพทางพลังงานเฉลี่ยใน 1 วันของเครื่องทำน้ำร้อน เท่ากับ 2.02 kW_{th}/kW_e เครื่องทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนจะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้ามากกว่าเครื่องทำน้ำร้อนด้วยไฟฟ้าประมาณ 2 เท่า แต่ราคาของเครื่องทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนจะสูงกว่าเครื่องทำน้ำร้อนด้วยไฟฟ้าอยู่มาก จากการประเมินค่าใช้จ่ายพบว่า ต้นทุนรวมของน้ำร้อนต่อหน่วยความร้อนที่ผลิตได้ 4.46 บาท/kW โดยแบ่งออกเป็นค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างเครื่อง 55 % ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า 33 % ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษา 12 %

ต่อมาศรีธร อุปคำ (2543) ได้ทำการศึกษาสมรรถนะระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ร่วมกับปั๊มความร้อนสำหรับอาคารที่อยู่อาศัย โดยได้ทำการศึกษาถึงสมรรถนะการทำน้ำร้อนจากตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้าแล้วนำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ขนาด 2 ตารางเมตร ถังเก็บน้ำร้อนขนาด 100 ลิตร อัตราการไหลของน้ำป้อนและน้ำหมุนเวียนในตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ 2.5 L/min ใช้สารทำความเย็น R-134a เป็นสารตัวกลาง

ของระบบปั๊มความร้อน เพื่อใช้ได้อุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน 40-60 ^{0}C ใช้สำหรับอาคารที่อยู่อาศัยภายใต้ภูมิอากาศของจังหวัดเชียงใหม่

ผลจากการทดลองและการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ผลเป็นไปตามกันแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงถูกนำไปวิเคราะห์ระบบทำน้ำร้อนจากตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้าและปั๊มความร้อนตลอดปี แต่ได้มีการเสริมฮีตเตอร์ไฟฟ้าเสริมที่ทางออกของระบบทั้งสองเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิน้ำร้อนที่ใช้งานให้มีความคงที่ ที่ 40 50 และ 60 ^{0}C ที่อุณหภูมิ 40 ^{0}C ระบบทำน้ำร้อนร่วมกับปั๊มความร้อนใช้พลังงานไฟฟ้า 13.522 kWh ส่วนระบบที่ร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้าใช้พลังงานใช้พลังงาน 11.81 kWh อุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน 50 ^{0}C ระบบร่วมกับปั๊มความร้อนใช้พลังงานไฟฟ้า 29.90 kWh ส่วนระบบที่ร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้าใช้พลังงาน 37.25 kWh และที่อุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน 60 ^{0}C ระบบร่วมกับปั๊มความร้อนใช้พลังงานไฟฟ้า 51.14 kWh ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนอยู่ระหว่าง 1.75 และ 3.27 ส่วนระบบที่ร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้าใช้พลังงาน 58.90 kWh ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์จะได้ระยะเวลาในการคืนทุนเมื่ออุณหภูมิน้ำร้อนใช้งานเกิน 50 ^{0}C ประมาณ 2.5 ปีหรือต่ำกว่า

นอกจากการใช้ปั๊มความร้อนในเสริมระบบการผลิตน้ำร้อนแล้วยังมีการประยุกต์การทำความร้อนจกความร้อนทิ้งของระบบปรับอากาศเนื่องจากหลักการทำงานของปั๊มความร้อนนั้นก็มีลักษณะเช่นเดียวกันกับการทำงานของระบบปรับอากาศเพียงแต่ปั๊มความร้อนนั้นนำประโยชน์ด้านความร้อนมาใช้

ปณต วิไลพล (2543) ได้ทำการศึกษาการนำพลังงานความร้อนทิ้งจากอุปกณ์ควบแน่นของระบบปรับอากาศสำหรับผลิตน้ำร้อนโดยปั๊มความร้อน โดยการศึกษาได้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปั๊มความร้อน ซึ่งใช้สาร R-22 เป็นสารทำงาน ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปั๊มความร้อนที่สร้างขึ้นจากสมการความสัมพันธ์ทางอุณหพลศาสตร์ของอุปกรณ์ปั๊มความร้อนและสมการความสัมพันธ์ของสภาวะของ R-22 ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวได้ถูกนำมาใช้ในการจำลองสถานการณ์โดยใช้ข้อมูลสภาพของน้ำหล่อเย็นของระบบปรับอากาศซึ่งเป็นข้อมูลป้อนเข้าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปั๊มความร้อนเป็นข้อมูลที่จัดเก็บจริงจากสถานที่ทำการวิจัยซึ่งเป็นโรงแรมขนาด 320 ห้อง ระยะเวลา 1 ปี

ผลจากการจำลองสถานการณ์การผลิตน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนขนาด 3,736 kW โดยใช้แหล่งพลังงานความร้อนจากน้ำหล่อเย็นของโรงแรมดังกล่าวพบว่า อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้มีค่าระหว่าง 45.2 – 47.3 ^{0}C และมีอัตราการผลิตน้ำร้อนเท่ากับ 40 kg/s ซึ่งเพียงพอกับความต้องการการใช้น้ำร้อนในโรงแรมขนาด 320 ห้อง และระบบผลิตน้ำร้อนโดปั๊มความร้อนมีสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระหว่าง 3.286-3.406

การวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนโดยใช้พลังงานความร้อนจากน้ำหล่อเย็นและใช้พลังงานในการทำงาน เปรียบเทียบกับการผลิตน้ำร้อนด้วยหม้อไอน้ำซึ่งใช้น้ำมันตาเป็นเชื้อเพลิงนั้น การวิเคราะห์จะใช้ข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำร้อนของโรงแรมดังกล่าวซึ่งเป็นข้อมูลจากกาเก็บข้อมูลจริง ตลอดระยะเวลา 1 ปี เป็นมูลค่าที่กำหนดอัตราการผลิตน้ำร้อนของทั้ง 2 ระบบ ซึ่งการวิเคราะห์จะแยกเป็น 2 กรณี คือ การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนของการลงทุนของการเปลี่ยนระบบผลิตน้ำร้อนจากการผลิตด้วยหม้อไอน้ำมาเป็นการผลิตน้ำร้อนโดยปั๊มความร้อน เมื่อไม่คิดมูลค่าซากของหม้อไอน้ำ พบว่าอัตราผลตอบแทนของการลงทุนมีค่า 16.00% และการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนของการลงทุนใหม่ในการผลิตน้ำร้อนโดยปั๊มความร้อนปั๊มความร้อนเปรียบเทียบกับการผลิตน้ำร้อนด้วยหม้อไอน้ำ ซึ่งต้องมีการซื้ออุปกรณ์ใหม่ทั้งสองระบบ พบว่าอัตราผลตอบแทนของการลงทุนมีค่าเท่ากับ 17.02 %

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าปั๊มความร้อนสามารถประยุกต์ใช้งานได้ทั้งในอาคารและอุตสาหกรรม และค่าพลังงานที่ใช้ต่ำกว่าระบบการผลิตความร้อนจากระบบอื่น อย่างไรก็ตามในการผลิตความร้อนของปั๊มความร้อนนั้นยังไม่เป็นที่แผ่หลาย ดังนั้นจึงต้องมีการส่งเสริมให้นำปั๊มความร้อนมาใช้ประโยชน์เพื่อลดการใช้พลังงานในองค์กรและระดับมหภาคต่อไป

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการศึกษา

ระบบทำน้ำร้อนที่ใช้สำหรับโรงแรมในปัจจุบันนี้มีหลายระบบ โดยอาคารโรงแรมจะใช้งานระบบทำความร้อนชนิดใดนั้นก็ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในด้านต่างๆ ได้แก่ มูลค่าลงทุนเริ่มต้น และการดำเนินการของระบบทำน้ำร้อน ผลตอบแทนการลงทุนและจุดคุ้มทุน ของระบบทำน้ำร้อนแต่ละชนิด ซึ่งอาคารส่วนใหญ่ในปัจจุบันจะนิยมติดตั้งระบบทำน้ำร้อนจากเชื้อเพลิงฟอสซิลและระบบไฟฟ้า ได้แก่ ระบบทำน้ำร้อนจากน้ำมันเตา แก๊สปิโตเลียมเหลว(LPG) ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และปั๊มความร้อน (Heat pump) เป็นต้น

ในการศึกษานี้ศึกษาระบบทำน้ำร้อนของอาคารประเภทโรงแรมขนาด 325 ห้อง ที่มีการความต้องการปริมาณน้ำร้อนอุณหภูมิไม่เกิน 60 ^{0}C ที่ โดยจะทำการออกแบบรูปแบบการติดตั้งปั๊มความร้อน ขนาดปั๊มความร้อน และศึกษาประสิทธิภาพของระบบปั๊มความร้อนเมื่อสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนแปลงโดยทำการศึกษาที่สภาวะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน พร้อมทั้งตรวจวัดสมรรถนะการทำงานของระบบปั๊มความร้อนเมื่อใช้งานจริงหลังจากติดตั้งเปรียบเทียบกับมาตรฐาน รวมถึงการศึกษาความคุ้มค่าทางการเงินสำหรับโรงแรมอื่นที่มีเงื่อนไขการผลิตน้ำร้อนเดียวกันในการนำระบบปั๊มความร้อนมาใช้แทนระบบผลิตน้ำร้อนจากระบบอื่น ได้แก่ ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบหม้อไอน้ำ และระบบขดลวดไฟฟ้า

รูปที่ 3.1 อาคารประเภทโรงแรมกรณีศึกษา

ขั้นตอนการดำเนินการศึกษานี้ประกอบด้วยขั้นตอนในการทำงาน 4 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

3.1 ขั้นตอนการศึกษาระบบปั๊มความร้อนที่ใช้กับโรงแรมกรณีศึกษา

3.2 ขั้นตอนการประเมินสมรรถนะของปั๊มความร้อนเมื่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน

3.3 ขั้นตอนตรวจวัดสมรรถนะระบบปั๊มความร้อนที่ใช้กับโรงแรมกรณีศึกษา

3.4 ขั้นตอนการศึกษาความคุ้มค่าทางการเงินของการติดตั้งระบบปั๊มความร้อนแทนเครื่องทำน้ำร้อนแต่ละชนิด

3.1 ขั้นตอนการศึกษาระบบปั๊มความร้อนที่ใช้กับโรงแรมกรณีศึกษา

ในการศึกษาระบบปั๊มความร้อนให้กับโรงแรมกรณีศึกษาเพื่อให้มีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานผลิตน้ำร้อนของอาคารโรงแรมโรงแรมขนาด 325 ห้อง ที่มีความต้องการปริมาณน้ำร้อนตามมาตรฐานจาก Heating, Ventilating, Air Conditioning Guides ซึ่งมีค่าเท่ากับ 48,750 L/day ที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 ^{0}C โดยมีปัจจัยพื้นฐานต่างๆที่ต้องพิจารณาสำหรับการติดตั้งระบบปั๊มความร้อนสำหรับโรงแรมกรณีศึกษา ดังนี้

3.1.1 ขนาดการทำความร้อนของปั๊มความร้อน

3.1.2 ขนาดถังเก็บน้ำร้อน

3.1.3 รูปแบบการจ่ายน้ำร้อนให้แก่ห้องพักภายในโรงแรม

3.1.4 ข้อจำกัดและข้อได้เปรียบในการติดตั้งปั๊มความร้อน

โดยจะทำการศึกษาข้อมูลจากคุณสมบัติของระบบปั๊มความร้อนยี่ห้อ Colorex ซึ่งเป็นระบบปั๊มความร้อนที่เลือกมาใช้ในการติดตั้ง ทั้งนี้จะทำการศึกษา ขนาดการทำความร้อนของปั๊มความร้อน ขนาดของถังเก็บน้ำร้อน และรูปแบบการจ่ายน้ำร้อนให้แก่ห้องพักภายในโรงแรม พร้อมทั้งศึกษาข้อจำกัดและข้อได้เปรียบในการติดตั้งปั๊มความร้อนสำหรับโรงแรมกรณีศึกษาจากระบบปั๊มความร้อนดังกล่าว ซึ่งในการศึกษาส่วนนี้จะทำการแปลผลในลักษณะเชิงบรรยายผลของการศึกษาระบบปั๊มความร้อนสำหรับโรงแรมกรณีศึกษา

3.2 ขั้นตอนการประเมินสมรรถนะของปั๊มความร้อนเมื่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน

การประเมินสมรรถนะของปั๊มความร้อนจากสูตรการคำนวณทางทฤษฎีโดยใช้ P-h Diagram ของสารทำความเย็น R-22 จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CoolPack เป็นเครื่องมือใน

การศึกษา การพิจารณาค่าสัมประสิทธิสมรรถนะของระบบ (COP) จะศึกษาภายใต้สมมุติฐานให้ตัวแปรที่มีความเกี่ยวของกับสมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนทุกค่าคงที่ ทั้งนี้ให้มีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะอุณหภูมิสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิน้ำร้อนใช้งานโดยพิจารณาที่สภาวะดังต่อไปนี้

1. กำหนดให้ระบบปั๊มความร้อนภายใต้สภาวะที่เป็นปกติในการเปรียบเทียบ ดังนี้

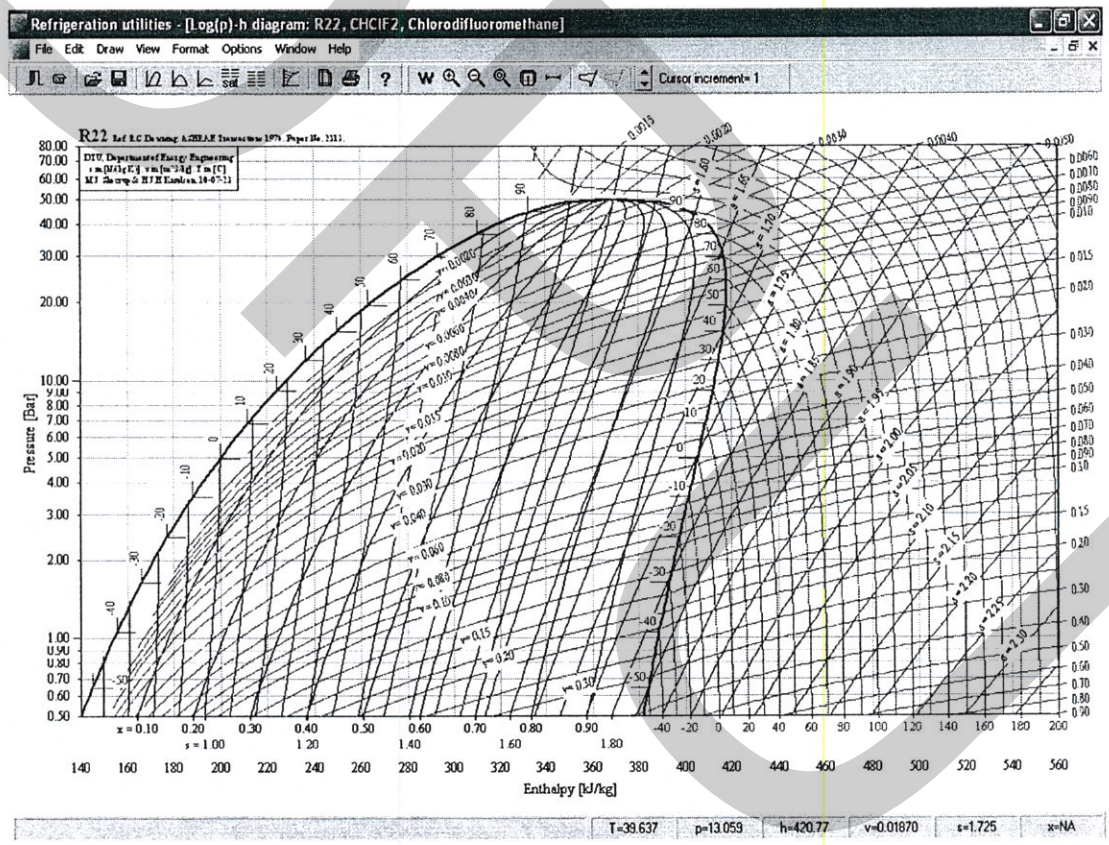
   อุณหภูมิที่ Evaporator (T_E) = 29 ^{0}C (อุณหภูมิสภาพแวดล้อม)

   อุณหภูมิที่ Condense (T_C) = 60 ^{0}C (อุณหภูมิน้ำร้อน)

2. ดำเนินการเปลี่ยนแปลงสภาวะการทำงานต่างๆของระบบปั๊มความร้อน ดังนี้

   อุณหภูมิที่ Evaporator (T_E) = 25 - 40 ^{0}C (อุณหภูมิสภาพแวดล้อม)

   อุณหภูมิที่ Condense (T_C) = 50 - 60 ^{0}C (อุณหภูมิน้ำร้อน)



รูปที่ 3.2 P-h Diagram ของสารทำงาน R-22 สำหรับปั๊มความร้อน

สำหรับการศึกษาประสิทธิภาพของระบบปั๊มความร้อนจากสูตรการคำนวณทางทฤษฎีนั้นจะทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบจากสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความร้อน (COP) ของระบบโดยเปรียบเทียบจากตารางและรูปกราฟ จากความสัมพันธ์ระหว่าง

1. อุณหภูมิสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความร้อน (COP)
2. อุณหภูมิน้ำร้อนใช้งานที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความร้อน (COP)

3.3 ขั้นตอนตรวจวัดระบบปั๊มความร้อนที่ใช้กับโรงแรมกรณีศึกษา

การตรวจวัดระบบปั๊มความร้อนที่ใช้กับโรงแรมกรณีศึกษาจำนวน 325 มีขั้นตอนในการตรวจวัดระบบปั๊มความร้อน 2 ขั้นตอน คือ

3.3.1 ขั้นตอนการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

ในการหาค่าประสิทธิภาพและความสิ้นเปลืองของสภาวะการทำงานของระบบทำน้ำร้อนของอาคารประเภทโรงแรมขนาด 325 ห้อง ที่มีการความต้องการปริมาณน้ำร้อนอุณหภูมิ 60 ^{0}C ที่ 863 L/hr เครื่องมือเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นในการเก็บข้อมูล โดยเครื่องมือที่นำมาใช้ในการตรวจวัดต้องมีความแม่นยำสูงและมีค่าความผิดพลาดต่ำ โดยต้องมีการนำเครื่องมือที่ใช้ไปทำการสอบเทียบหรือรับรองมาตรฐานจากผู้ผลิตก่อนการตรวจวัด ประกอบด้วย

1. เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Power Meter)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการบันทึกและเก็บข้อมูลกำลังไฟฟ้าของระบบทำน้ำร้อนที่ใช้งานในอาคารประเภทโรงแรมที่ซึ่งใช้ระบบทำน้ำร้อนจากปั๊มความร้อน รุ่น DM 887 ใช้วัดค่ากำลังไฟฟ้ารวมของระบบปั๊มความร้อน เพื่อนำมาประกอบการคำนวณและวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อน ซึ่งมีคุณสมบัติของเครื่อง คือสามารถวัดที่ย่านการวัด 1,000VDC / 750VAC / 10ADC / 10AAC / วัดแรงดันไฟฟ้า และวัดได้ทั้งไฟฟ้ากระแสตรงและกระเสสลับ

รูปที่ 3.3 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Power Meter)

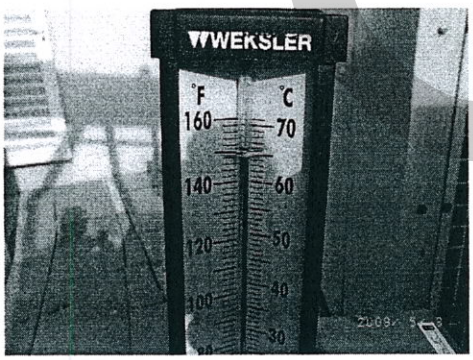
2. เครื่องวัดอุณหภูมิอากาศ (Thermometer)

เครื่องวัดอุณหภูมิอากาศ (Thermometer) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิของสภาพอากาศแวดล้อมบริเวณระบบปั๊มความร้อนของอาคารโรงแรมกรณีศึกษา มีคุณสมบัติคือสามาถวัดอุณหภูมิที่ย่านการวัด -199.99~+1770 ^{0}C (-199.99~+3218 ^{0}F) สามารถใช้กับเทอร์โมคัพเปิ้ลประเภท K,J,R,E,T และสามารถต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน RS -232 Temperature Accuracy+/-1°C

รูปที่ 3.4 เครื่องวัดอุณหภูมิอากาศ (Thermometer)

3. เครื่องวัดอุณหภูมิน้ำ (Thermometer)

เครื่องวัดอุณหภูมิน้ำ (Thermometer) ยี่ห้อ WEKSLER ใช้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิของน้ำก่อนและหลังเข้าระบบปั๊มความร้อนของอาคารโรงแรมกรณีศึกษา มีคุณสมบัติคือย่านการวัดอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 0-70 ^{0}C พร้อม RTD Temperature Accuracy +/- 1 °C ทั้งนี้เครื่องวัดอุณหภูมิดังกล่าวเป็นประเภทติดตั้งอยู่กับที่โดยจะติดตั้งไว้ที่ท่อน้ำเข้าและท่อน้ำออกเพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำ



รูปที่ 3.5 เครื่องวัดอุณหภูมิน้ำ (Thermometer)

4. เครื่องมือวัดอัตราการไหล (Flow meter)

เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำเป็นเครื่องมือวัดความเร็วน้ำเพื่อหาปริมาณการไหลของน้ำในการทำงานของระบบ Heat Pump มีคุณสมบัติคือสามารถวัดปริมาณที่ไหลเข้า-ออกระบบทำน้ำร้อนจากปั๊มความร้อน

รูปที่ 3.6 เครื่องมือวัดอัตราการไหล (Flow meter)

เนื่องจากการศึกษาทดลองได้ดำเนินการวัดอุณหภูมิของน้ำป้อน อุณหภูมิน้ำร้อนที่เครื่องสามารถทำได้ อุณหภูมิของสภาพอากาศแวดล้อมบริเวณปั๊มความร้อน อัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าเครื่อง ซึ่งใช้เป็นตัวแปรในการคำนวณพลังงานความร้อนที่น้ำป้อนได้รับจริงพร้อมทั้งวัดกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าของเครื่องขณะทำงานเพื่อคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริง จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าประสิทธิสมรรถนะ (COP) ของเครื่องปั๊มความร้อนที่ติดตั้งใช้งานโดยใช้อัตราส่วนระหว่างพลังงานความร้อนที่ป้อนได้รับจริงและวัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริง

3.3.2 ขั้นตอนและวิธีการจัดเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการศึกษาสมรรถนะระบบปั๊มความร้อนสำหรับโรงแรมกรณีศึกษานั้นเป็นการเก็บข้อมูลเพื่อหาสภาวะเงื่อนไขการทำงานของระบบทำน้ำร้อนจริงหลังจากการติดตั้ง เพื่อใช้ในการศึกษาสมรรถนะระบบปั๊มความร้อนเมื่อมีการใช้งานจริง โดยมีรายละเอียดคือ

การตรวจวัดข้อมูลจากระบบทำน้ำร้อนของอาคารโรงแรมกรณีศึกษา ซึ่งใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อน(Heat Pump) ที่ติดตั้งทั้งหมด 10 เครื่อง โดยการเก็บข้อมูลเพื่อให้ได้ผลที่ได้จากการตรวจวัดมีความแม่นยำและถูกต้อง ต้องทำการเก็บข้อมูลให้มีความละเอียด และมีการบันทึก

ข้อมูลหลายครั้ง เพื่อนำไปใช้โดยการหาค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด ในการตรวจวัดจะทำการตรวจวัดเครื่องปั๊มความร้อน โดยตรวจวัดแต่ละค่าต่อไปนี้

3.3.1.1 อุณหภูมิของน้ำป้อนและอุณหภูมิน้ำร้อนที่ได้ (^{0}C)

3.3.1.2 อุณหภูมิของอากาศเข้าและอุณหภูมิของอากาศออก (^{0}C)

3.3.1.3 อัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าเครื่อง (L/hr)

3.3.1.4 กระแสไฟฟ้า (A)

3.3.1.5 ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)

3.3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์ผลในส่วนนี้จะทำการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิการทำความร้อนของเครื่องปั๊มความร้อนแต่ละเครื่องทั้งหมด 10 เครื่อง กับมาตรฐานกฎหมายว่าด้วยการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานฉบับที่ 2 (2550)

3.4 ขั้นตอนการเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางการเงินของการติดตั้งระบบทำน้ำร้อนแต่ละชนิดกับปั๊มความร้อน

โดยจะทำการเปรียบเทียบความเหมาะสมทางการเงินของการติดตั้งระบบทำน้ำร้อนแต่ละชนิดกับปั๊มความร้อน(Heat pump) ซึ่งมีรายละเอียดการศึกษาดังนี้

1. เปรียบเทียบต้นทุนของระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิด โดยต้นทุนจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ต้นทุนการลงทุนเริ่มต้นและต้นทุนขณะดำเนินการ ได้แก่ ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นครั้งแรกและต้นทุนเงินประกันที่เพิ่มขึ้นต่อปีเมื่อเปลี่ยนมาใช้ระบบปั๊มความร้อนแทนระบบผลิตน้ำร้อนชนิดอื่น

2. เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของระบบทำน้ำร้อนแต่ละชนิด

3. เปรียบเทียบผลตอบแทนการลงทุนของระบบทำน้ำร้อนแต่ละชนิดกับปั๊มความร้อน โดยใช้มูลค่าผลประโยชน์จากการเลือกใช้ปั๊มความร้อนแทนระบบทำน้ำร้อนชนิดอื่นๆ ได้แก่ผลประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่อปี ผลประหยัดค่าซ่อมบำรุงต่อปี และมูลค่าซากที่จำหน่ายได้เพิ่มขึ้นหลังจากหมดอายุการใช้งาน

4. เปรียบเทียบจุดคุ้มทุนโครงการของระบบทำน้ำร้อนแต่ละชนิดกับปั๊มความร้อน โดยใช้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio : BCR)อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return: IRR) และระยะเวลาในการคืนทุน (Simple Payback Period : SPP) เป็นตัวชี้วัด

บทที่ 4
ผลการศึกษา

จากการศึกษาระบบปั๊มความร้อนสำหรับโรงแรมกรณีศึกษาซึ่งเป็นโรงแรมที่ตั้งอยู่ที่กรุงเทพมหานครของประเทศไทยขนาด 325 ห้อง ศึกษาสมรรถนะการทำงานของระบบปั๊มความร้อนที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากปัจจัยของอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ต้องการและศึกษาสมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนเมื่อใช้งานจริงจากการตรวจวัด พร้อมทั้งเปรียบเทียบความเหมาะสมในการลงทุน ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน และความคุ้มค่าสำหรับการลงทุนในการเปลี่ยนจากระบบผลิตน้ำร้อนชนิดอื่นได้แก่ ระบบการผลิตน้ำร้อนโดยใช้น้ำมันเตา ระบบขดลวดไฟฟ้า และพลังงานแสงอาทิตย์ มาใช้ระบบปั๊มความร้อนภายใต้เงื่อนไขการผลิตน้ำร้อนเช่นเดียวกันกับโรงแรมกรณีศึกษา โดยสามารถแบ่งผลการวิเคราะห์เป็น 4 ส่วน คือ

1. ผลการศึกษาระบบปั๊มความร้อนสำหรับโรงแรมกรณีศึกษา
2. ผลการศึกษาสมรรถนะการทำงานของระบบปั๊มความร้อนจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์
3. ผลการศึกษาสมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนจากการตรวจวัด
4. ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านการเงินการลงทุน

4.1 ระบบปั๊มความร้อนสำหรับโรงแรมกรณีศึกษา

ผลการศึกษาระบบการผลิตน้ำร้อนสำหรับโรงแรมกรณีศึกษาซึ่งมีจำนวนห้องพักทั้งสิ้น 27 ชั้น และต้องสามารถผลิตน้ำร้อนเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการภายในห้องพักขั้นต่ำตามมาตรฐานจาก Charles M. Gay, charles D.V. Fawcett, William J. McGuinness. MECHANICAL AND ELECTRICAL EQUIPMENT FOR BUILDING,3rd Edition. JOHN WILLEY & SONS,INC., NEW YORK 1958 page 45 โดยได้รับอนุญาตจาก Heating, Ventilating, Air Conditioning Guides, 1953, page 1056. กำหนดให้มีค่าไม่น้อยกว่า 48,750 L/day จึงจะเหมาะสม ทั้งนี้ได้ทำการออกแบบระบบปั๊มความร้อนสำหรับโรงแรมกรณีศึกษาให้มีลักษณะการทำน้ำร้อนแบบรวมศูนย์ เนื่องจากการใช้งานของกิจการประเภทโรงแรมนั้นจะต้องมีการใช้น้ำร้อนตลอดเวลาจึงทำให้การผลิตน้ำร้อนแบบรวมศูนย์มีความเหมาะสม โดยโรงแรมกรณีศึกษาได้ติดตั้ง

0218087

ระบบปั๊มความร้อนทั้งสิ้น 10 เครื่องโดยมีขนาดรวมทั้งสิ้น 460 kWh และขนาดถังเก็บน้ำร้อนจำนวน 5 ถัง ปริมาตรรวมทั้งสิ้น 25,500 L โดยมีรายละเอียดการออกแบบดังต่อไปนี้

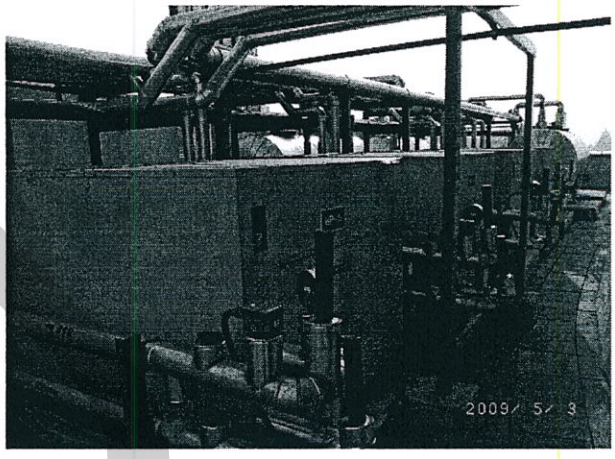
4.1.1 ขนาดการทำความร้อนของปั๊มความร้อน

การเลือกขนาดปั๊มความร้อนสำหรับโรงแรมกรณีศึกษาซึ่งเป็นโรงแรมขนาด 325 ห้อง โดยอุณหภูมิของน้ำร้อนมีค่าไม่เกินกว่า 60 ^{0}C นั้นจะต้องเลือกขนาดปั๊มความร้อนให้สามารถผลิตน้ำร้อนให้ได้อย่างน้อย 48,750 L/day ซึ่งการเลือกขนาดปั๊มความร้อนนั้นสามารถใช้ค่าเทียบกับความต้องการน้ำร้อนต่อวันสำหรับอาคารโรงแรมคือ ให้ปั๊มความร้อนที่ใช้กับโรงแรมดังกล่าวมีขนาดการทำความร้อนไม่ต่ำกว่า 290 kW ทั้งนี้โรงแรมกรณีศึกษาดังกล่าวเป็นโรงแรมขนาด 5 ดาว ซึ่งจำเป็นต้องให้น้ำร้อนสำหรับกิจกรรมอื่นๆที่เป็นการเพิ่มคุณภาพสำหรับโรงแรมและความสะดวกสบายของลูกค้าจึงจำเป็นจะต้องเพิ่มขนาดของปั๊มความร้อนรวมทั้งสิ้น 460 kW เพื่อใช้เป็นเครื่องทำน้ำร้อนสำรอง (Spare Part) ในกรณีต้องมีการบำรุงรักษาหรือหยุดทำงานกระทันหันซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของปั๊มความร้อน

ปั๊มความร้อนที่	ขนาดการทำความร้อน (kW)	จำนวน (เครื่อง)	รวม (kW)
HP 1-2	30	2	60
HP 3-5	50	3	150
HP 6-8	50	3	150
HP 9-10	50	2	100
รวม		10	460

ศูนย์สนเทศและหอสมุด
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย



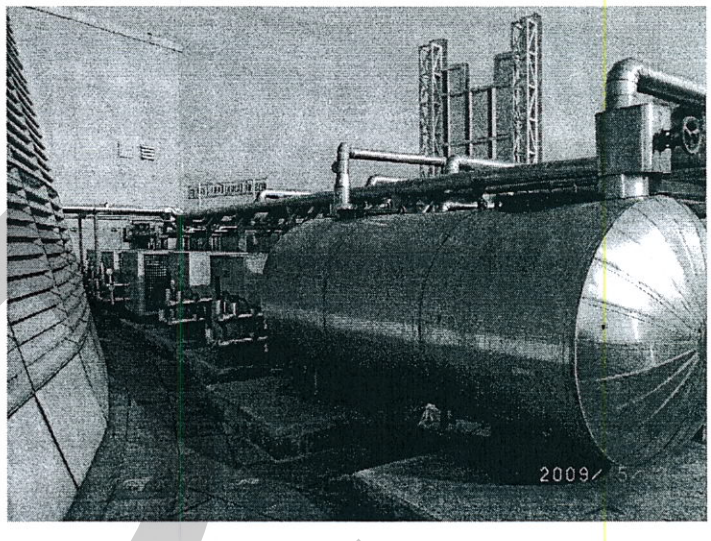
รูปที่ 4.1 ปั๊มความร้อนสำหรับโรงแรมกรณีศึกษา

4.1.2 ขนาดถังเก็บน้ำร้อน

จากการศึกษาพบว่าโรงแรมกรณีศึกษานั้นจะต้องเลือกขนาดถังเก็บน้ำร้อนไม่น้อยกว่า 9,750 L/day แต่เนื่องจากโรงแรมจำเป็นจะต้องผลิตน้ำร้อนสำหรับกิจกรรมอื่นๆเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการจึงจำเป็นจะต้องเพิ่มขนาดของถังเก็บน้ำร้อนรวมทั้งสิ้น 25,500 L ทั้งนี้ได้ทำการเลือกใช้ถังเก็บน้ำร้อนผลิตจากเหล็กกล้า (Mild steel) รุ่น SS 400 จำนวนทั้งสิ้น 5 ถัง ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดของถังเก็บน้ำร้อน

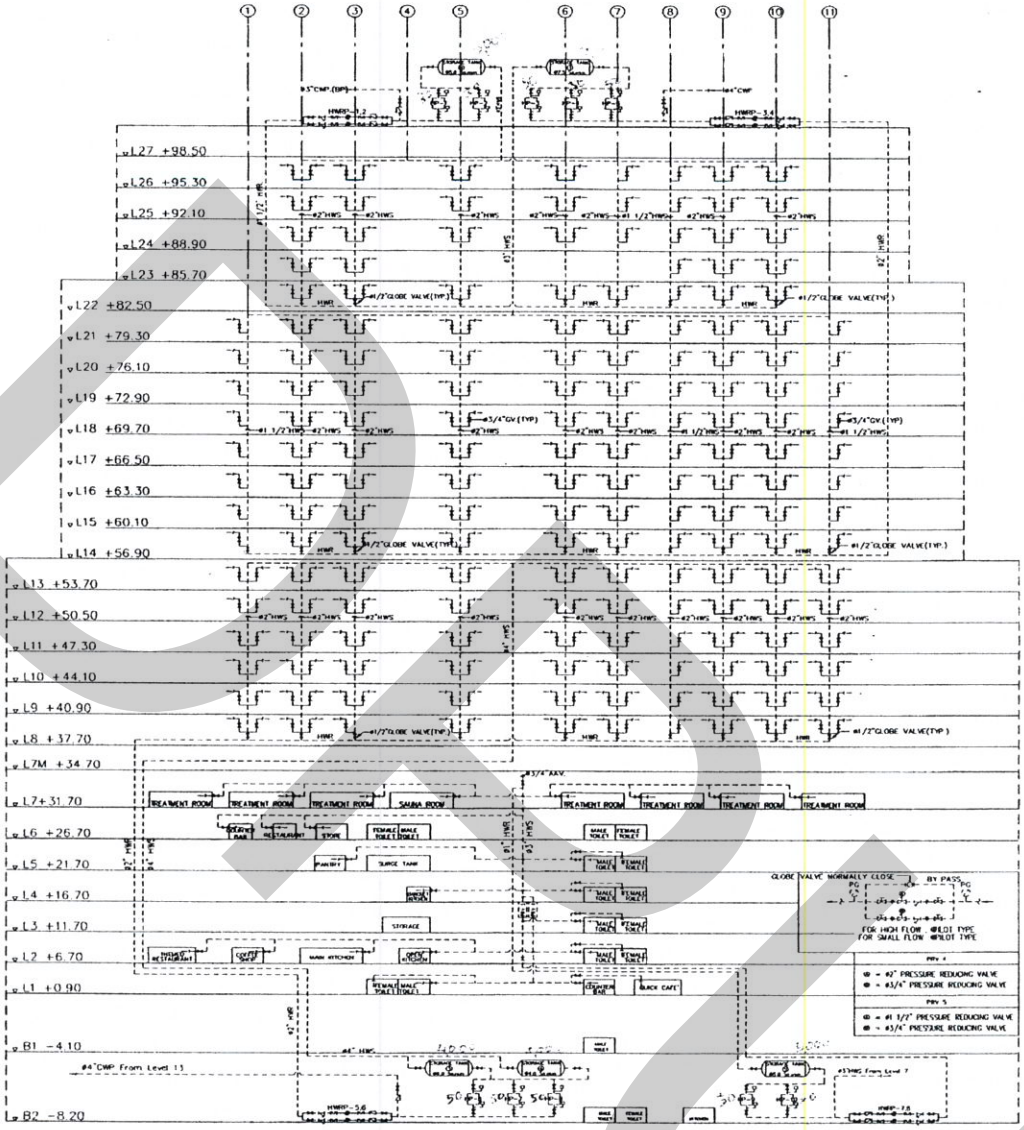
ถังน้ำร้อนที่	ปริมาตร (L)	จำนวน (เครื่อง)	รวม (L)
1,5	5,000	2	10,000
2	7,500	1	7,500
3,4	4,000	2	8,000
รวม		5	25,500



รูปที่ 4.2 ถังน้ำร้อนสำหรับโรงแรมกรณีศึกษา

4.1.3 รูปแบบการจ่ายน้ำร้อนให้แก่ห้องพักภายในโรงแรม

โรงแรมกรณีศึกษาเป็นโรงแรม 27 ชั้น มีห้องพักรวมทั้งสิ้น 325 ห้อง ซึ่งอาคารประเภทกิจการโรงแรมเป็นอาคารที่ต้องการใช้น้ำร้อนตลอดเวลาดังนั้นจึงได้ทำการศึกษารูปแบบการติดตั้งทำน้ำร้อนด้วยระบบปั๊มความร้อนสำหรับโรงแรมกรณีศึกษาแบบรวมศูนย์และจ่ายน้ำร้อนไปตามห้องพักและห้องที่มีกิจกรรมที่ต้องการน้ำร้อนและเมื่อน้ำที่จ่ายให้กิจกรรมต่างๆที่ไม่ได้ใช้และมีอุณหภูมิลดลงน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าที่ตั้งค่าไว้จะไหลกลับมาที่ปั๊มความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่น้ำและจ่ายออกไปเพื่อให้พร้อมใช้งานอีกครั้ง ซึ่งได้ทำการออกแบบแผนผังของระบบปั๊มความร้อนของอาคารดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.3 แผนผังระบบปั๊มความร้อนภายในโรงแรม

4.1.4 ข้อจำกัดและข้อได้เปรียบในการติดตั้งปั๊มความร้อน

จากการศึกษาข้อมูลของการติดตั้งปั๊มความร้อนชนิด Air Source heat pump สำหรับโรงแรมกรณีศึกษาจากเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องนั้นพบว่าปั๊มความร้อนมีข้อจำกัดและข้อได้เปรียบ ดังต่อไปนี้

1. ข้อจำกัดของปั๊มความร้อน

ปั๊มความร้อนถือได้ว่าเป็นระบบทำน้ำร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงในการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อขับคอมเพรสเซอร์เพื่อทำให้เกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำไปสู่

บริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่า แต่ก็ยังเป็นระบบที่ได้พลังงานไฟฟ้าซึ่งถือว่ายังไม่ใช้ระบบที่ใช้พลังงานหมุนเวียน ซึ่งหมายความว่าระบบนี้ยังเป็นระบบที่ก่อให้เกิดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าของประเทศให้มีค่าเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย จากการศึกษาพบว่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าของระบบปั๊มความร้อนนั้นมีค่าน้อยกว่าระบบทำความร้อนชนิดขดลวดความร้อนที่ใช้หลักการใช้พลังงานไฟฟ้ามาผลิตความร้อนไม่ต่ำกว่า 3 เท่า ทั้งนี้ระบบปั๊มความร้อนประเภท Air Source heat pump ที่นำมาพิจารณายังมีข้อเสียในด้านอุณหภูมิที่ผลิตน้ำร้อนมีความผันผวนมากเนื่องจากประสิทธิภาพการทำน้ำร้อนของระบบปั๊มความร้อนนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมซึ่งควบคุมได้ยากจึงจำเป็นต้องมีวิธีอื่นเข้ามาช่วยเพื่อรองรับในกรณีที่ปั๊มความร้อนไม่สามารถผลิตน้ำร้อนได้ตามอุณหภูมิที่ต้องการ

2. ข้อได้เปรียบของปั๊มความร้อน

ในปัจจุบันระบบปั๊มความร้อนถือเป็นระบบที่ใช้พลังงานน้อย มีประสิทธิภาพสูงและมีความสะดวกในการใช้งาน ซึ่งมีข้อได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับระบบผลิตน้ำร้อนชนิดอื่นๆ ดังนี้

2.1 ระบบปั๊มความร้อนสามารถควบคุมเวลาทำงานได้ เมื่อปั๊มความร้อนผลิตน้ำร้อนได้ตามอุณหภูมิที่ต้องการแล้วต่อไป ระบบจะทำงานโดยเพิ่มความร้อนที่ละน้อยตามปริมาณการใช้น้ำร้อน และน้ำเย็นใหม่ที่เข้ามาแทนที่ ซึ่งทำให้อุณหภูมิลดต่ำลงปั๊มความร้อนจึงจะทำงานซึ่งสามารถตั้งให้ทำงานโดยอัตโนมัติตลอดเวลาหรือผู้ใช้สามารถตั้งให้ปั๊มเดินหรือหยุดเองได้

2.2 ระบบปั๊มความร้อน สามารถให้พลังงานได้มากกว่าพลังงานที่ป้อนให้แก่เครื่องปั๊มความร้อน

2.3 สามารถนำลมเงินที่ระบบปั๊มความร้อนผลิตได้ไปใช้ประโยชน์ในการแลกเปลี่ยนความร้อนอากาศก่อนเข้าระบบปรับอากาศหรือใช้หล่อเย็นระบบที่ไม่ต้องการความร้อนสูงได้

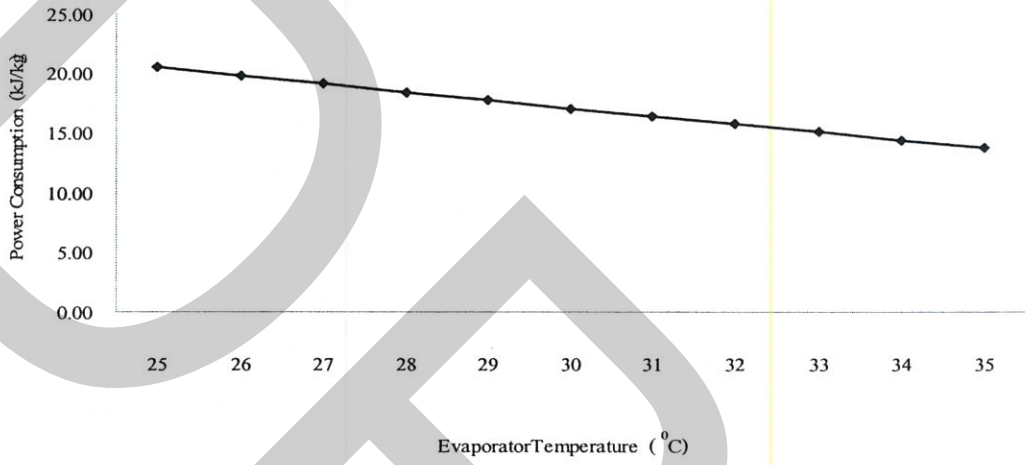
2.4 ระบบปั๊มความร้อนประเภท Air Source Heat pump นั้นจะมีราคาค่าติดตั้งเริ่มต้นถูกกว่าระบบปั๊มความร้อนประเภทอื่นและสะดวกสำหรับการใช้งาน

4.2 ผลการศึกษาสมรรถนะการทำงานของระบบปั๊มความร้อน

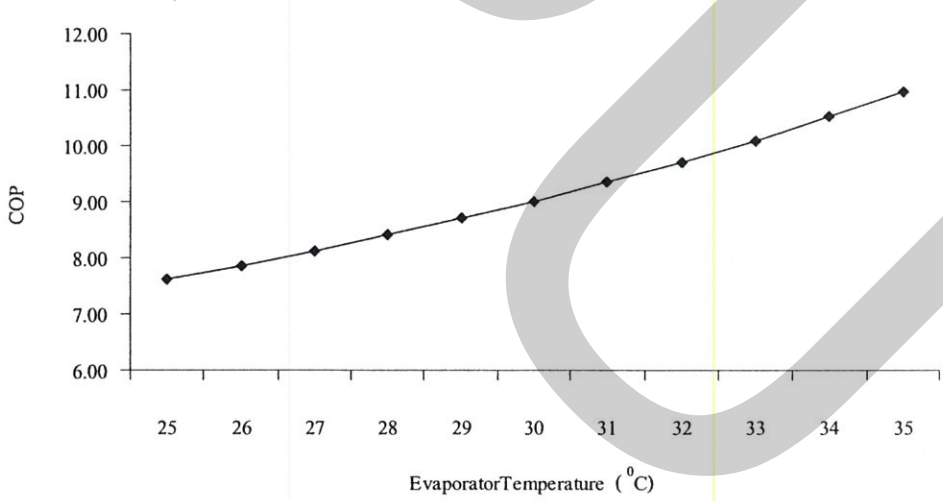
การวิเคราะห์สมรรถนะการทำงานของระบบปั๊มความร้อนที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากปัจจัยของอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ต้องการใช้จากการจำลองระบบการทำน้ำร้อนด้วย P-h Diagram ของสารทำความเย็น R-22 จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CoolPack

4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมและสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ

ปั๊มความร้อนเป็นระบบอัดไอที่ใช้ดึงความร้อนบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำไปให้แก่บริเวณที่มีอุณหภูมิสูง ดังนั้นอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมจึงมีผลต่อการใช้พลังงานและประสิทธิภาพของระบบ



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมและความต้องการพลังงานของระบบ



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมและสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมและสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ (COP) พบว่าเมื่ออุณหภูมิของอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมมีค่าเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าความต้องการพลังงานของระบบที่ใช้ในการอัดสารทำงานเพื่อให้มีอุณหภูมิให้สูงขึ้นมี

ค่าลดลง ผลจากการจำลองค่าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าอุณหภูมิสภาพแวดล้อมเฉลี่ยของประเทศไทยที่ 29 ^{0}C ซึ่งมีความต้องการพลังงาน 17.76 kJ/kg พบว่ากรณีที่อุณหภูมิสภาพแวดล้อมมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง 25 – 28 ^{0}C ค่าความต้องการพลังงานของระบบจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสภาพแวดล้อมมีค่าต่ำลงและกรณีที่อุณหภูมิสภาพแวดล้อมมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง 30-35 ^{0}C ค่าความต้องการพลังงานของระบบจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสภาพแวดล้อมมีค่าสูงขึ้น ดังตารางที่ 4.3

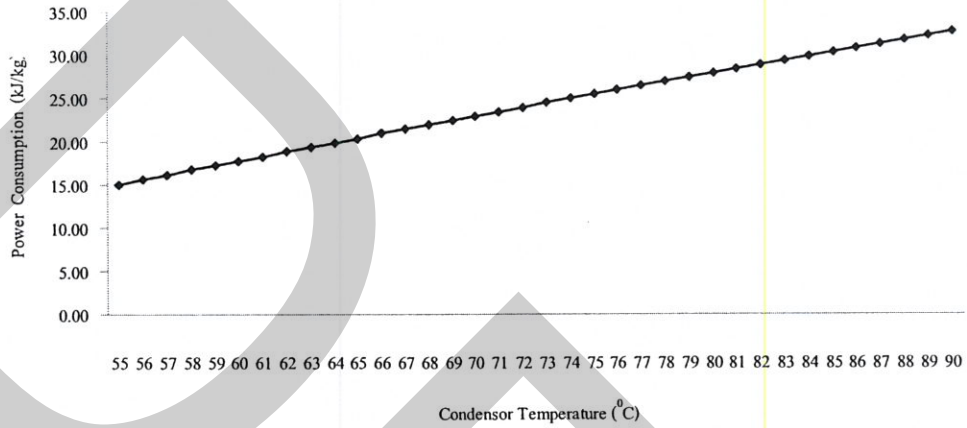
ดังนั้นจึงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ (COP) มีค่าเพิ่มมากขึ้นแปรผันตามอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมจากการจำลองค่าการเปลี่ยนแปลงสภาพของอุณหภูมิสภาพแวดล้อมให้มีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงจากค่าอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยที่ 29 ^{0}C โดยให้ค่าอุณหภูมิน้ำร้อนใช้งานมีค่าคงที่ 60 ^{0}C ระหว่างอุณหภูมิ 25 -35 ^{0}C พบว่า COP มีค่าอยู่ระหว่าง 7.62 - 10.97 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนมาตรฐานตามที่พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานกำหนดไว้ที่ 3.0 แล้วพบว่าค่า COP ของระบบมีค่าตามมาตรฐาน

ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมและความต้องการพลังงานในระบบ

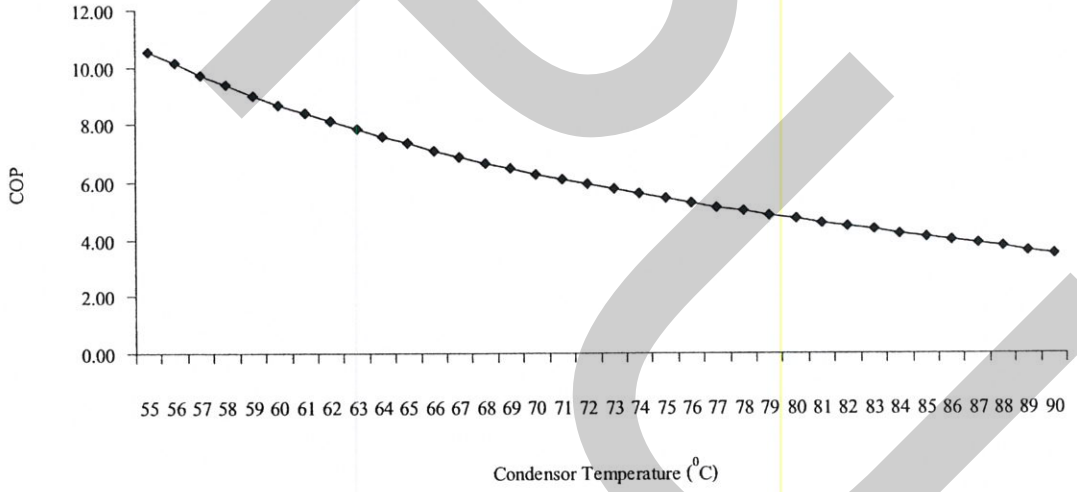
อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม (^{0}C)	ความต้องการพลังงานในระบบ (kJ/kg)	COP
25	20.50	7.62
26	19.83	7.86
27	19.12	8.13
28	18.44	8.40
29 (ค่ามาตรฐาน)	17.76	8.70
30	17.09	9.01
31	16.43	9.35
32	15.78	9.71
33	15.13	10.10
34	14.48	10.52
35	13.85	10.97

4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำร้อนและสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ

การที่อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ต้องการใช้งานมีค่าที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นได้ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำความร้อนโดยมีลักษณะการส่งผลกระทบต่อปั๊มความร้อน ดังนี้



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำร้อนและความต้องการพลังงานของระบบ



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำร้อนและสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำร้อนใช้งานและสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ (COP) พบว่าเมื่ออุณหภูมิของอุณหภูมิของน้ำร้อนใช้งานมีค่าเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าความต้องการพลังงานของระบบที่ใช้ในการอัดสารทำงานเพื่อให้มีอุณหภูมิให้สูงขึ้นมีค่าลดลง ผลจากการจำลองค่าอุณหภูมิของน้ำร้อนใช้งานที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าอุณหภูมิของน้ำร้อนใช้งานเฉลี่ยของโรงแรมกรณีศึกษาที่ 60 ^{0}C ซึ่งมีความต้องการพลังงาน 17.76 kJ/kg พบว่ากรณี

ที่อุณหภูมิของน้ำร้อนใช้งานมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง 55-59 ^{0}C ค่าความต้องการพลังงานของระบบจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิของน้ำร้อนใช้งานมีค่าต่ำลง และกรณีที่อุณหภูมิน้ำร้อนใช้งานมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง 61-90 ^{0}C ค่าความต้องการพลังงานของระบบจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิน้ำร้อนใช้งานมีค่าสูงขึ้น ดังตารางที่ 4.4

ดังนั้นจึงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ (COP) มีค่าลดลงแปรผันตามอุณหภูมิของน้ำร้อนใช้งาน จากการจำลองค่าการเปลี่ยนแปลงสภาพของอุณหภูมิน้ำร้อนใช้งานให้มีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงจากค่าอุณหภูมิน้ำร้อนใช้งานเฉลี่ยที่ 60 ^{0}C โดยให้ค่าอุณหภูมิสภาวะแวดล้อมใช้งานมีค่าคงที่ 29 ^{0}C ระหว่างอุณหภูมิ 55-90 ^{0}C พบว่า COP มีค่าอยู่ระหว่าง 3.50 - 10.55 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนมาตรฐานตามที่พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานกำหนดไว้ที่ 3.0 แล้วพบว่าค่า COP ของระบบมีค่าเป็นไปตามมาตรฐาน

ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำร้อนและความต้องการพลังงานของระบบ

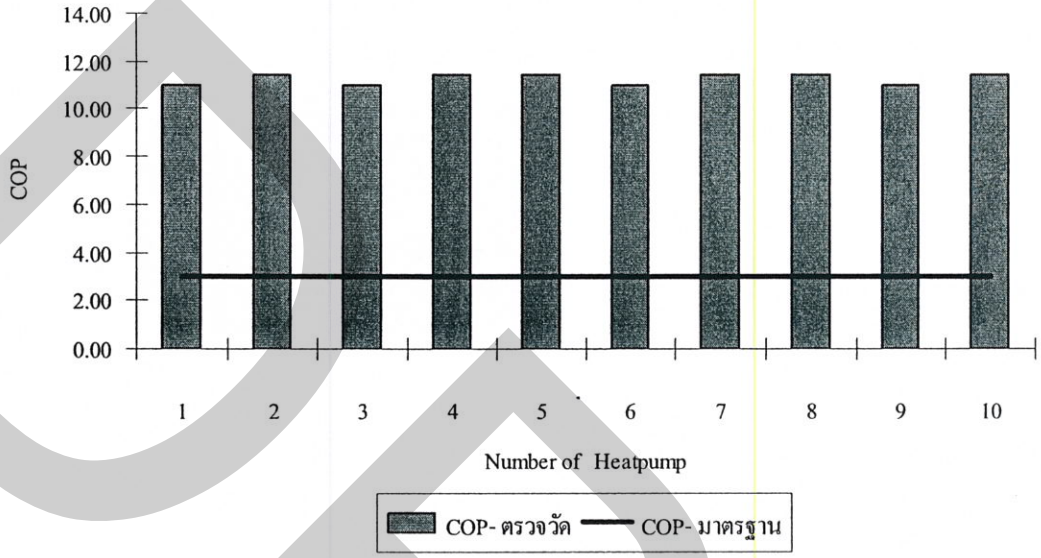
อุณหภูมิของน้ำร้อน (^{0}C)	ความต้องการพลังงานในระบบ (kJ/kg)	COP
55	15.08	10.55
56	15.62	10.13
57	16.16	9.73
58	16.70	9.36
59	17.23	9.02
60 (ค่ามาตรฐาน)	17.76	8.70
61	18.29	8.39
62	18.82	8.11
63	19.34	7.84
64	19.86	7.58
65	20.38	7.34
66	20.90	7.11
67	21.41	6.89
68	21.92	6.68
69	22.43	6.48
70	22.94	6.29

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

อุณหภูมิของน้ำร้อน (^{0}C)	ความต้องการพลังงานในระบบ (kJ/kg)	COP
71	23.45	6.10
72	23.95	5.93
73	24.45	5.76
74	24.95	5.59
75	25.44	5.44
76	25.94	5.29
77	26.43	5.14
78	26.92	5.00
79	27.41	4.86
80	27.89	4.72
81	28.38	4.59
82	28.86	4.47
83	29.34	4.34
84	29.82	4.22
85	30.30	4.10
86	30.78	3.98
87	31.25	3.86
88	31.73	3.74
89	32.20	3.62
90	32.67	3.50

4.3 ผลการศึกษาสมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนจากการตรวจวัด

การวิเคราะห์สมรรถนะการทำงานของระบบปั๊มความร้อนที่ติดตั้งสำหรับโรงแรมกรณีศึกษาทั้งหมด 10 เครื่อง ซึ่งได้ผลของสมรรถนะของปั๊มความร้อนแต่ละเครื่อง ดังนี้



รูปที่ 4.8 สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบจากการตรวจวัดและมาตรฐาน

การผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนที่มีค่าประสิทธิภาพ (COP) นั้นกฎหมายกำหนดค่าสัมประสิทธิสมรรถนะการทำความร้อนตามมาตรฐานให้มีค่าไม่ต่ำกว่า 3 ซึ่งจากผลการตรวจวัดค่าสัมประสิทธิสมรรถนะของปั๊มความร้อนทุกเครื่องที่ติดตั้งสำหรับใช้งานในโรงแรมกรณีศึกษา โดยปั๊มความร้อนเครื่องที่ 1 ถึง 5 ติดตั้งอยู่ด้านบนดาดฟ้าของโรงแรมและเครื่องที่ 6 ถึง 10 ติดตั้งบริเวณด้านล่างของโรงแรม ซึ่งปัจจัยดังกล่าวไม่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องปั๊มความร้อน ซึ่งปั๊มความร้อนแต่ละเครื่องมีค่าสัมประสิทธิสมรรถนะการทำความร้อน คือ 11.00 , 11.49, 11.00, 11.48, 11.46, 10.97, 11.46, 11.48, 11.01 และ 11.49 ตามลำดับ ซึ่งปั๊มความร้อนทุกเครื่องมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานคือ มีค่าไม่ต่ำกว่า 3

4.4 ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมในการลงทุน

การวิเคราะห์ทางการเงินของการลงทุนโครงการผลิตน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อน (Heat pump) สำหรับโรงแรมกรณีศึกษาจำนวน 325 ห้อง ทั้งนี้จะทำการเปรียบเทียบมูลค่าลงทุนเริ่มต้นและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของระบบทำน้ำร้อนแต่ละชนิดกับปั๊มความร้อน รวมทั้งผลประโยชน์ที่จะได้รับทางการเงินของโครงการ ในช่วงเวลาของอายุโครงการ 15 ปี โดยใช้มูลค่าปัจจุบันของผลที่

ได้สุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนที่ได้ต่อการลงทุน (BCR) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ณ ระดับอัตราคิดลดร้อยละ 11.75 ต่อปี (ใช้อัตราคิดลดอัตราดอกเบี้ยของธนาคารกรุงไทย ณ วันที่ 6 มิถุนายน พ.ศ. 2550) และระยะเวลาในการคืนทุน (SPP) เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้ปั๊มความร้อนซึ่งสามารถทำได้จากการเปรียบเทียบผลประหยัดที่ได้จากการใช้ปั๊มความร้อน (Heat pump) ผลิตน้ำร้อนในเงื่อนไขการผลิตเดียวกันแทนการใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ได้แก่

กรณีที่ 1 การผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแทนการใช้น้ำมันเตา

กรณีที่ 2 การผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแทนการใช้ขดลวดไฟฟ้า

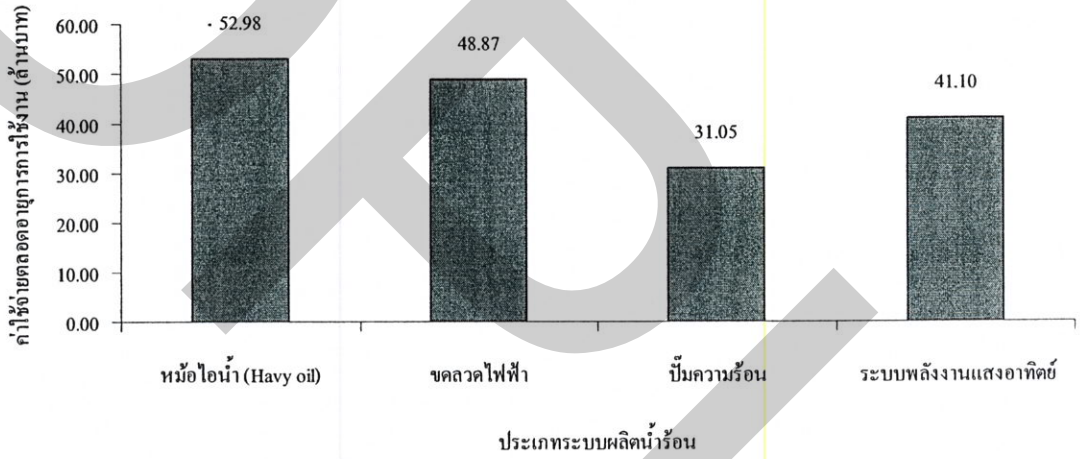
กรณีที่ 3 การผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแทนการใช้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

โดยเงื่อนไขในการผลิตน้ำร้อนคือต้องมีอุณหภูมิใช้งานสูงสุดที่ 60 ^{0}C ที่อุณหภูมิสภาพแวดล้อมมีค่าเท่ากับ 29 ^{0}C ซึ่งเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยของสภาพแวดล้อมของกรุงเทพมหานคร ทั้งนี้กำหนดให้ความต้องการน้ำร้อนสำหรับโรงแรมมีค่าเท่ากับ 150 L/คน/วัน ภายใต้สมมุติฐาน 1 คน สำหรับ 1 ห้องพัก ดังนั้นโรงแรมกรณีศึกษาแห่งนี้จึงมีความต้องการปริมาณน้ำร้อนทั้งสิ้น 48,750 L/day ซึ่งจากข้อมูลในข้างต้นจึงสามารถคิดเป็นพลังงานความร้อนที่น้ำต้องการมีค่าเท่ากับ 1,757.27 kWh/day

4.4.1 ค่าใช้จ่ายสุทธิตลอดอายุการใช้งานระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิด (Life Cycle Cost)

ต้นทุนหรือค่าใช้จ่าย (Cost) ทางการเงินของการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนทุกประเภทนั้นย่อมประกอบด้วยต้นทุน 2 ส่วน คือ ต้นทุนการลงทุนเริ่มต้น (C_I) และต้นทุนขณะดำเนินการ (C_V) คือ ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นครั้งแรกและต้นทุนเงินประกันที่เพิ่มขึ้นต่อปีเมื่อเปลี่ยนมาใช้ระบบปั๊มความร้อนแทนระบบผลิตน้ำร้อนชนิดอื่น ทั้งนี้ต้นทุนการลงทุนเริ่มต้น (Investment Cost) ของโครงการนั้นในการศึกษานี้จะถือว่าต้นทุนค่าแรงงานในการติดตั้ง พร้อมทั้งอุปกรณ์ประกอบระบบผลิตน้ำร้อน เช่น ท่อน้ำร้อน สายไฟฟ้า และอุปกรณ์อื่นๆ ของแต่ละระบบมีค่าเท่ากัน ดังนั้นต้นทุนการลงทุนเริ่มต้นจึงแตกต่างกันเฉพาะส่วนของต้นทุนระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิด และในส่วนของต้นทุนขณะดำเนินการ (Operation Cost) ประกอบด้วย ค่าประกันระบบ ค่าซ่อมบำรุง ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ทั้งนี้ค่าใช้จ่ายในส่วนดังกล่าวของระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิดจะมีค่าแตกต่างกัน โดยทั่วไปค่าประกันระบบจะมีค่าเท่ากับ 1% ของมูลค่าเริ่มต้น ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานคำนวณจากปริมาณเชื้อเพลิงและไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนภายใต้สภาวะเงื่อนไขเดียวกัน โดยการคิดคำนวณค่าใช้จ่ายด้านพลังงานตลอดอายุการใช้งานของระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิดทั้งนี้เนื่องมาจากระบบผลิตน้ำร้อนเมื่อใช้งานได้ระยะเวลาหนึ่งย่อมทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องลดลงทำให้มีการใช้

พลังงานเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งราคาของพลังงานแต่ละประเภทที่ใช้ในระบบก็มีราคาสูงสุดตามสภาวการณ์ การศึกษานี้จึงคำนวณค่าใช้จ่ายพลังงานให้มีค่าสูงขึ้นในแต่ละปีโดยใช้ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นปีละ 5% และค่าน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับหม้อต้มน้ำเพิ่มขึ้นปีละ 10% เนื่องจากราคาน้ำมันมีแนวโน้มเพิ่มสูงมากกว่าค่าพลังงานไฟฟ้า และต้นทุนการดำเนินการในส่วนของค่าบำรุงรักษาด้วยวิธีการจ้างหน่วยงานภายนอก (Outsource) ทั้งนี้ระบบผลิตน้ำร้อนนั้นย่อมต้องได้รับการบำรุงรักษามากขึ้นเนื่องจากอายุการใช้งานเพิ่มมากขึ้นโดยกำหนดให้อัตราค่าบำรุงรักษาเพิ่มขึ้นปีละ 10% อย่างไรก็ตามค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิดยังมีควมเกี่ยวข้องกับรายได้ที่ได้จากมูลค่าซากที่ทำให้ค่าใช้จ่ายนั้นลดลง การศึกษานี้ใช้วิธีการคิดค่าเสื่อมราคาแบบลดเท่ากันทุกปี



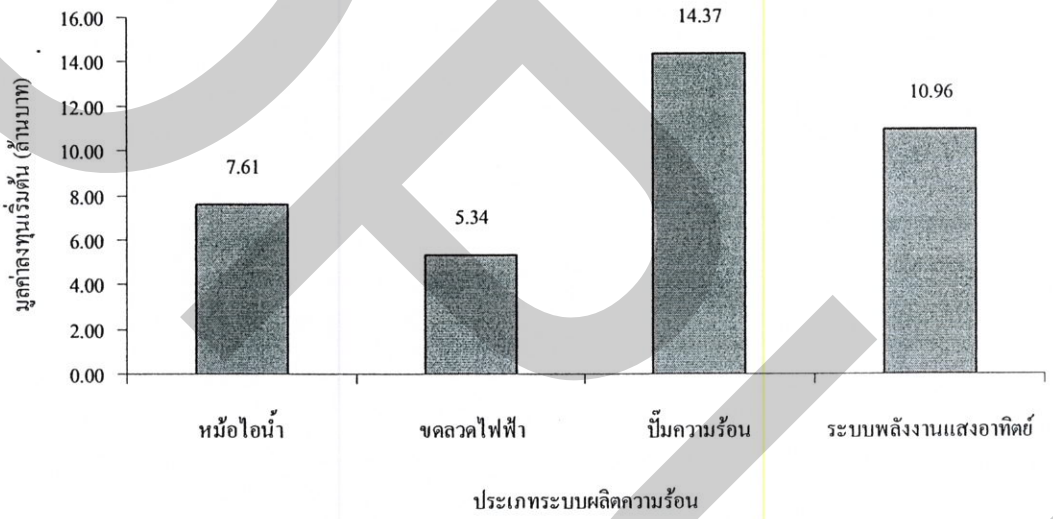
รูปที่ 4.9 ค่าใช้จ่ายสุทธิตลอดอายุการใช้งานระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิด

ค่าใช้จ่ายสุทธิตลอดอายุการใช้งานระบบทำน้ำร้อนชนิดที่ใช้หม้อไอน้ำประเภทใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเตา ระบบขดลวดไฟฟ้า ปั๊มความร้อน และระบบการผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ มีค่าเท่ากับ 52,449,312.61 บาท 48,499,734.49 บาท 30,043,496.77 บาท 39,857,464.90 บาท ตามลำดับ ซึ่งระบบปั๊มความร้อนมีค่าใช้จ่ายสุทธิตลอดอายุการใช้งาน 15 ปี มีค่าต่ำที่สุด จากการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทั้งหมดอันประกอบไปด้วย มูลค่าลงทุนเริ่มต้น ค่าประกันระบบ ค่าซ่อมบำรุง และค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน พบว่าสัดส่วนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่อค่าใช้จ่ายสุทธิตลอดอายุการใช้งานของระบบหม้อไอน้ำ ระบบขดลวดไฟฟ้า และระบบการผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ มีสัดส่วนสูงถึง 82.76 % 85.61 % และ 52.09 % ตามลำดับ ในขณะที่ระบบปั๊มความร้อนมีค่าเพียง 46.07% อีกทั้งมูลค่าซากของระบบปั๊มความร้อนนั้นมีมูลค่ามากที่สุดจึงทำให้ค่าใช้จ่ายสุทธิตลอด

อายุการใช้งานของระบบปั๊มความร้อนต่ำที่สุดถึงแม้ว่ามูลค่าการลงทุนเริ่มต้นของระบบปั๊มความร้อนจะมีค่าสูงกว่าระบบอื่นๆ ก็ตาม

4.4.2 มูลค่าการลงทุนเริ่มต้นของระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิด

โรงแรมขนาด 27 ชั้น ที่มีห้องพักรวมทั้งสิ้น 325 ห้อง ซึ่งมีความต้องการพลังงานความร้อนหรับผลิตน้ำร้อนขั้นต่ำตามมาตรฐานสำหรับกิจการโรงแรมที่ 48,750 L/day ที่สภาวะอุณหภูมิแวดล้อมมีค่าเท่ากับ 29 ^{0}C และสภาวะที่อุณหภูมิน้ำร้อนใช้งานที่ 60 ^{0}C ซึ่งคิดเป็นปริมาณความร้อนที่ต้องการเท่ากับ 1,511,250 kcal/day เทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า 1,757.27 kWh/day อย่างไรก็ตามหากเลือกใช้ระบบผลิตน้ำร้อนที่แตกต่างกันจึงทำให้มูลค่าการลงทุนเริ่มต้นสำหรับการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน



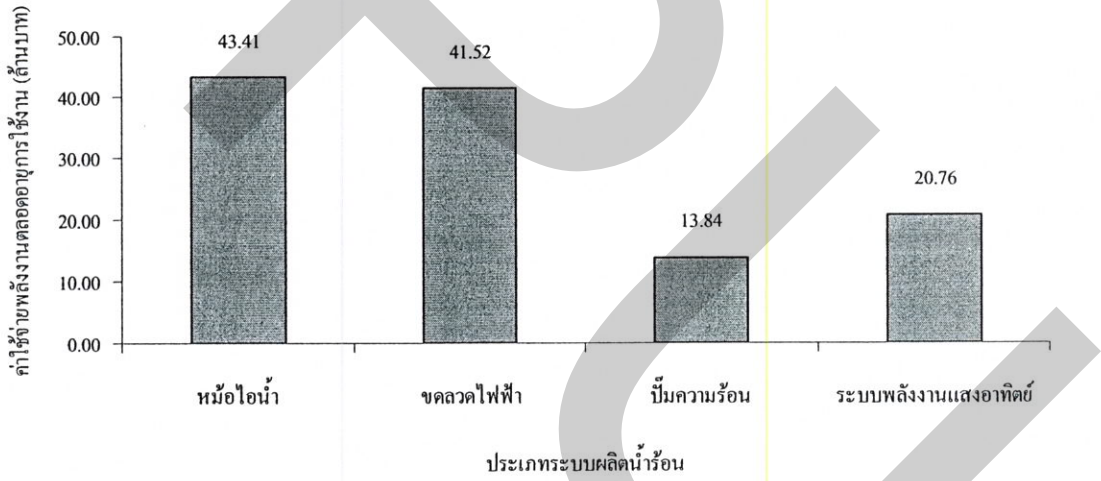
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบมูลค่าการลงทุนเริ่มต้นของระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิด

จากการศึกษาต้นทุนของระบบผลิตน้ำร้อนสำหรับโรงแรมกรณีศึกษาแต่ละประเภท พบว่าต้นทุนของระบบสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนแรกต้นทุนติดตั้งระบบเริ่มแรก ได้แก่ ค่าระบบผลิตน้ำร้อนและค่าแรงงานในการติดตั้ง และส่วนที่สองต้นทุนการดำเนินการ ได้แก่ ค่าประกัน ค่าพลังงานไฟฟ้า และค่าซ่อมบำรุง ทั้งนี้มูลค่าการลงทุนเริ่มต้นของระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิดสำหรับผลิตน้ำร้อนภายใต้สภาวะเดียวกันโดยให้มูลค่าของระบบประกอบอื่นๆมีมูลค่าเท่ากัน พบว่ามูลค่าการลงทุนติดตั้งระบบปั๊มความร้อนมูลค่าสูงมากที่สุดมีค่า 14,370,000.00 บาท ส่วนระบบทำน้ำร้อนชนิดที่ใช้หม้อไอน้ำประเภทใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเตา ระบบขดลวดไฟฟ้า และระบบการผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ มีมูลค่าการลงทุนเริ่มต้นรวมภาษีมูลค่าเพิ่มเท่ากับ

7,612,800.00 บาท 5,341,500.00 บาท และ 10,958,250.00 บาท โดยปั๊มความร้อนมีมูลค่าลงทุนเริ่มต้นมากกว่าระบบผลิตน้ำร้อนอื่นๆ เท่ากับ 47.02 % 62.83 % และ 23.74 % ตามลำดับ

4.4.3 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิด

โรงแรมกรณีศึกษาซึ่งมีความต้องการพลังงานความร้อนหรับผลิตน้ำร้อนขั้นต่ำตามมาตรฐานสำหรับกิจการโรงแรม ที่มีเลือกใช้ระบบผลิตน้ำร้อนที่แตกต่างกันย่อมต้องใช้ประเภทของพลังงานที่มีปริมาณและราคาแตกต่างกันจึงทำให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสำหรับการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนที่แตกต่างกัน โดยการคิดคำนวณค่าใช้จ่ายด้านพลังงานตลอดอายุการใช้งานของระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิดทั้งนี้เนื่องมาจากระบบผลิตน้ำร้อนเมื่อใช้งานได้ระยะเวลาหนึ่งย่อมทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องลดลงทำให้มีการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งราคาของพลังงานแต่ละประเภทที่ใช้ในระบบก็มีราคาสูงสุดตามสภาวการณ์ การศึกษานี้จึงคำนวณค่าใช้จ่ายพลังงานให้มีค่าสูงขึ้นในแต่ละปีโดยใช้ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นปีละ 5% และค่าน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับหม้อต้มน้ำเพิ่มขึ้นปีละ 10% เนื่องจากราคาน้ำมันมีแนวโน้มเพิ่มสูงมากกว่าค่าพลังงานไฟฟ้า



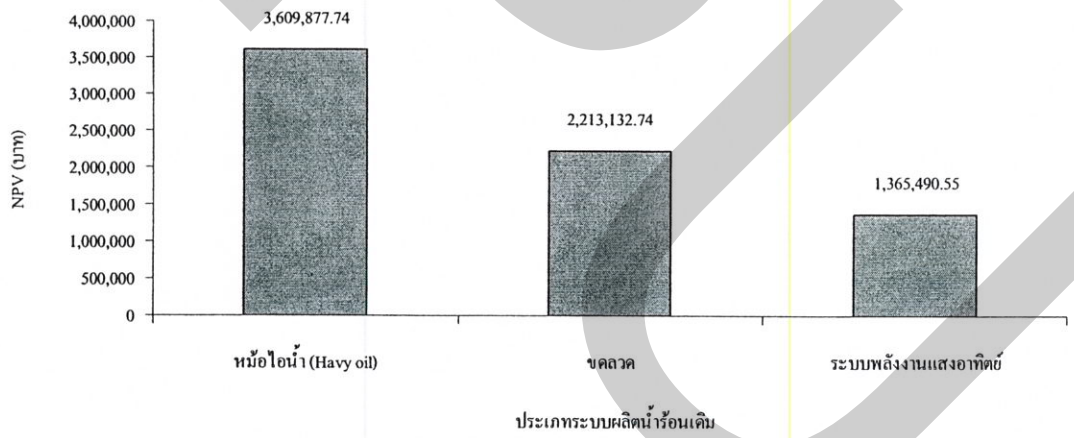
รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของระบบทำน้ำร้อนแต่ละชนิด

จากการศึกษาพบว่าค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิดตลอดอายุการใช้งาน 15 ปี พบว่าค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจากหม้อไอน้ำประเภทใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเตาต้องเสียค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 43,407,800.57 บาท ซึ่งมีค่าสูงมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากราคาน้ำมันเชื้อเพลิงที่นำมาใช้เป็นพลังงานสำหรับระบบผลิตน้ำร้อนชนิดดังกล่าวมีอัตราการเพิ่มขึ้นมากกว่าอัตราการเพิ่มของราคาค่าพลังงานไฟฟ้า อีกทั้งประสิทธิภาพของการเปลี่ยนพลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิงให้กลายเป็นพลังงานความร้อนยังต่ำกว่าระบบผลิตน้ำร้อนชนิดอื่นๆ กล่าวคือมีประสิทธิภาพเพียง

85% ในขณะที่ระบบอื่นๆซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้ามีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้กลายเป็นพลังงานความร้อนได้ 100% (ทั้งนี้ในบางกรณีอาจจะมีการสูญเสียบ้างประมาณ 5-10%) ทั้งนี้ในส่วนของการผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนที่มีค่าประสิทธิภาพ (COP) ตามมาตรฐานที่กฎหมายกำหนดคือ 3 นั้นจะทำให้ระบบปั๊มความร้อนทำงานโดยใช้พลังงานไฟฟ้าในอัตราส่วนเพียง 1 ใน 3 ของความต้องการพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ดังนั้นจึงทำให้เสียค่าใช้จ่ายด้านพลังงานตลอดอายุการใช้งานต่ำที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 13,840,547.14 บาท ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเลือกใช้ปั๊มความร้อนสำหรับผลิตน้ำร้อนสำหรับโรงแรมกรณีศึกษานั้นจะมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานตลอดอายุการใช้งานต่ำกว่าการผลิตน้ำร้อนด้วยระบบทำน้ำร้อนชนิดที่ใช้หม้อไอน้ำประเภทใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเตา ระบบขดลวดไฟฟ้า และระบบการผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ เท่ากับ 68.12% 66.67% และ 33.33% ตามลำดับ

4.4.4 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV)

ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินของจากการเลือกใช้ปั๊มความร้อนแทนการเลือกใช้ระบบขดลวดความร้อน ระบบทำน้ำร้อนจากการใช้น้ำมันเตา การใช้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นการวิเคราะห์เพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับในกรณีที่โรงแรมต้องการเปลี่ยนมาใช้ปั๊มความร้อนแทนระบบอื่นๆ



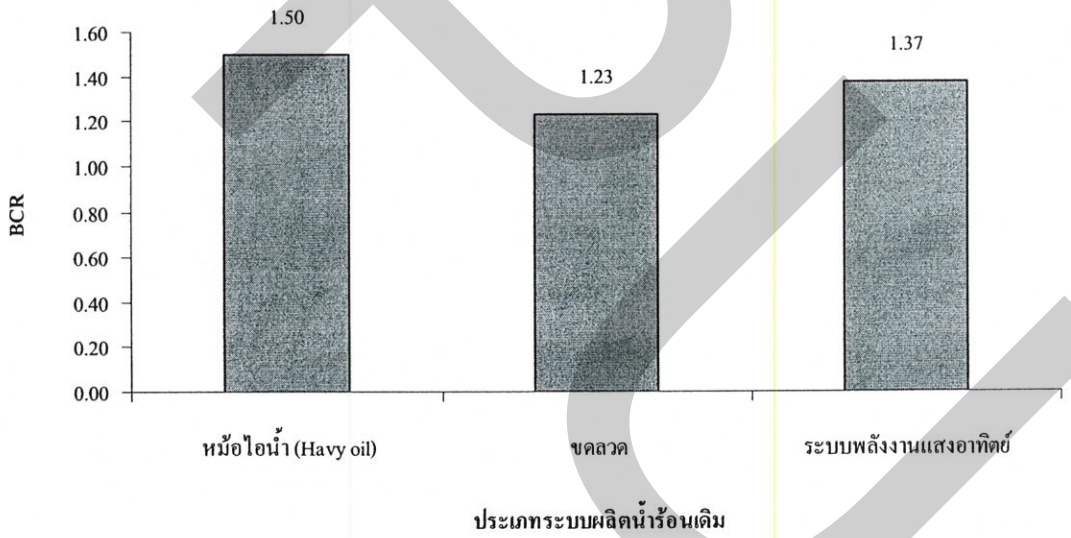
รูปที่ 4.12 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของการติดตั้งระบบปั๊มความร้อนแทนระบบทำน้ำร้อนอื่นๆ

จากการศึกษาผลของมูลค่าปัจจุบันสุทธิสำหรับการเปลี่ยนระบบทำน้ำร้อนชนิดอื่นๆมาเป็นใช้ปั๊มความร้อนโดยไม่มีการดัดแปลงการใช้ระบบทำน้ำร้อนเดิมเพิ่มเติม จะพบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิของ ระบบหม้อไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงประเภทน้ำมันเตา ระบบผลิตน้ำร้อนจากขดลวดไฟฟ้า และระบบผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 3,609,877.74 บาท 2,213,132.74 บาท และ 1,365,490.55 บาท ตามลำดับ โดยมีค่าบวกทั้งหมดซึ่งหมายถึงการเปลี่ยน

ระบบทำน้ำร้อนอื่นๆจาก 3 ระบบมาเป็นการใช้ปั๊มความร้อนภายใต้ภาวะเงื่อนไขการผลิตน้ำร้อนเดียวกันนั้นมีความคุ้มค่าในการลงทุนทุกกรณี ทั้งนี้เนื่องมาจากมูลค่าผลประหยัดจากการเปลี่ยนระบบทั้ง 3 ดังกล่าวมาใช้ปั๊มความร้อนนั้นมีมูลค่าตลอดอายุการใช้งานปั๊มความร้อน 15 ปี ที่อัตราคิดลด 11.75 % มีค่ามากกว่ามูลค่าในการติดตั้งระบบปั๊มความร้อนสำหรับผลิตน้ำร้อนภายใต้เงื่อนไขการผลิตน้ำร้อนเดียวกันกับโรงแรมกรณีตัวอย่างจึงทำให้มีความคุ้มค่าในการลงทุน อีกทั้งค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของระบบปั๊มความร้อนนั้นมีค่าต่ำกว่าค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของระบบผลิตน้ำร้อนจากขดลวดไฟฟ้า ระบบหม้อไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงประเภทน้ำมันเตา และระบบผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีค่าต่ำกว่าถึง 68.12 % 66.67% และ 33.33% ตามลำดับ

4.4.5 อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio : BCR)

อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio : BCR) หมายถึงมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ตลอดอายุของโครงการหารด้วยมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวมทั้งหมดตลอดอายุของโครงการ โดยมีเกณฑ์การตัดสินใจยอมรับคือ BCR ต้องมากกว่าหนึ่งจึงถือว่าโครงการนั้นคุ้มค่าต่อการลงทุน



รูปที่ 4.13 อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) ของการติดตั้งระบบปั๊มความร้อนแทนระบบทำน้ำร้อนอื่นๆ

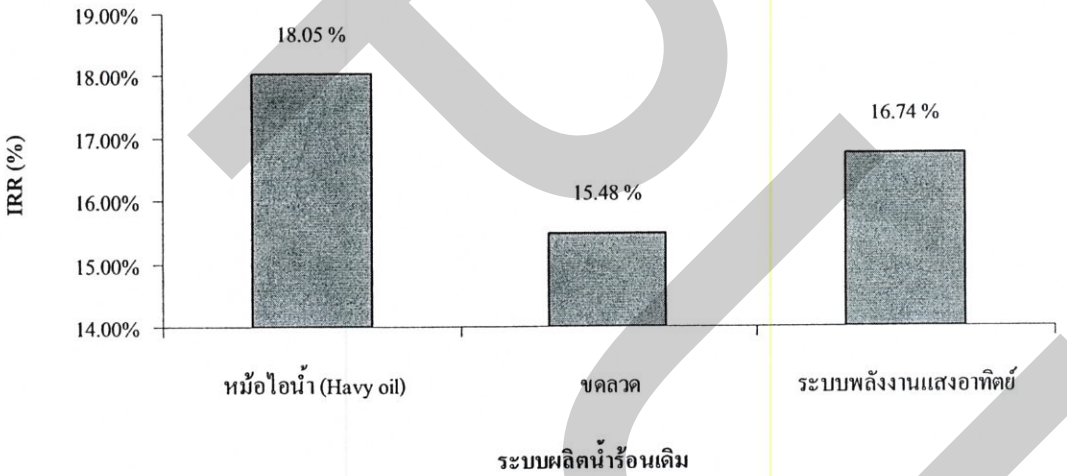
จากการวิเคราะห์ผลพบว่าหากโรงแรมที่มีความต้องการพลังงานความร้อนสำหรับผลิตน้ำร้อนเช่นเดียวกันกับโรงแรมกรณีศึกษาแต่ใช้ระบบการผลิตน้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนชนิดอื่นแล้วต้องการที่จะเปลี่ยนมาใช้ระบบปั๊มความร้อนนั้นมีความคุ้มค่าในการลงทุนทุกกรณี จาก

การศึกษาพบว่าหากมีการเปลี่ยนจากระบบผลิตน้ำร้อนจากหม้อไอน้ำชนิดเชื้อเพลิงจากน้ำมันเตา ระบบขดลวดความร้อน และระบบผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นปั๊มความร้อนนั้นมีค่าอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน(BCR) เท่ากับ 1.50 1.23 และ1.37 ตามลำดับ

ทั้งนี้เนื่องมาจากผลประโยชน์จากการเปลี่ยนระบบผลิตน้ำร้อนชนิดอื่นมาใช้ปั๊มความร้อนเมื่อคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ตลอดอายุการใช้งานของปั๊มความร้อน 15 ปี พบว่ามีค่ามากกว่า NPV ของมูลค่าการลงทุนที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้ค่า BCR ของระบบมีค่ามากกว่า 1 ซึ่งถือว่าคุ้มค่าในการลงทุน

4.4.6 อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return : IRR)

อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return : IRR) คือผลตอบแทนของเงินลงทุนตลอดอายุโครงการเป็นร้อยละ หรืออัตราคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการเท่ากับศูนย์ หากค่า IRR มีค่ามากกว่าอัตราดอกเบี้ย 11.75 % จึงจัดว่ามีความคุ้มค่าในการลงทุน



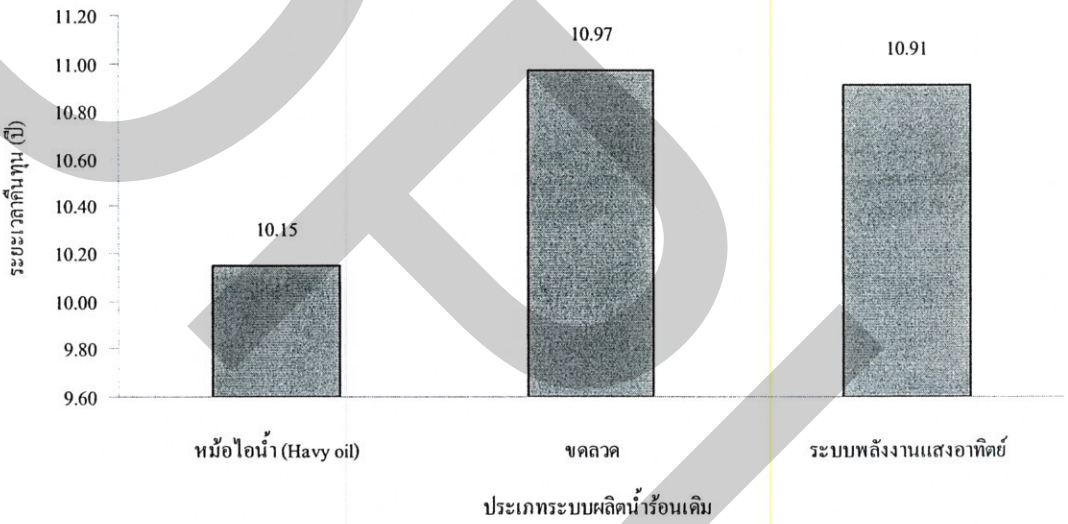
รูปที่ 4.14 อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) ของการติดตั้งระบบปั๊มความร้อนแทนระบบทำน้ำร้อนอื่นๆ

จากการวิเคราะห์ผลพบว่าหากโรงแรมที่มีความต้องการพลังงานความร้อนสำหรับผลิตน้ำร้อนเช่นเดียวกันกับโรงแรมกรณีศึกษาแต่ใช้ระบบการผลิตน้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนชนิดอื่นแล้วต้องการที่จะเปลี่ยนมาใช้ระบบปั๊มความร้อนนั้นมีความคุ้มค่าในการลงทุนในทุกกรณี โดยอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) ของการเปลี่ยนระบบผลิตน้ำร้อนจากระบบผลิตน้ำร้อนจากหม้อไอน้ำชนิดเชื้อเพลิงจากน้ำมันเตา ระบบขดลวดความร้อน และระบบผลิตน้ำร้อนจาก

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นระบบปั๊มความร้อน มีค่าเท่ากับ 18.05% 15.48 % และ 16.74% ตามลำดับ ซึ่งค่าของอัตราผลตอบแทนภายในโครงการมีค่าสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้มาลงทุนที่ 11.75 % ดังนั้นหากเป็นโรงแรมที่อยู่ระหว่างการตัดสินใจเลือกระบบผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้งานจึงควรเลือกติดตั้งระบบปั๊มความร้อนเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่ำที่สุด

4.4.7 ระยะเวลาในการคืนทุน (Simple Payback Period : SPP)

ระยะเวลาในการคืนทุน (Simple Payback Period : SPP) คือค่าที่บ่งบอกว่าเมื่อลงทุนแล้วจะคืนทุนภายในระยะเวลาเท่าใด ทั้งนี้สามารถใช้ข้อมูลดังกล่าวเป็นองค์ประกอบในการตัดสินใจลงทุนได้อีกค่าหนึ่ง หากค่า SPP ไม่เกินกว่า 5 ปีหรือมีค่าไม่เกินกว่าครึ่งหนึ่งของอายุการใช้งานสูงสุด จึงจัดว่ามีความคุ้มค่าในการลงทุนที่เหมาะสม



รูปที่ 4.15 ระยะเวลาในการคืนทุนของการติดตั้งระบบปั๊มความร้อนแทนระบบทำน้ำร้อนอื่นๆ

จากการวิเคราะห์ผลพบว่าระยะเวลาการคืนทุนหลังจากที่มีการลงทุนเพิ่มขึ้นเมื่อเปลี่ยนมาใช้ระบบปั๊มความร้อนแทนระบบผลิตน้ำร้อนประเภทอื่น ซึ่งได้แก่ระบบผลิตน้ำร้อนจากระบบผลิตน้ำร้อนจากหม้อไอน้ำชนิดเชื้อเพลิงจากน้ำมันเตา ระบบขดลวดความร้อน และระบบผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ มีค่าเท่ากับ 10.15 ปี 10.97 ปี และ 10.91 ปี ตามลำดับ แม้ว่าระยะเวลาการคืนทุนทุกกรณีนั้นมีค่าสูงกว่าครึ่งหนึ่งของอายุการใช้งานสูงสุดของระบบ แต่ระยะเวลาดังกล่าวก็มีค่าไม่เกินกว่าอายุการใช้งานสูงสุดของระบบทำให้ได้รับผลประโยชน์ จึงถือได้ว่ามีความคุ้มค่าในการลงทุน

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

ในการศึกษาระบบทำน้ำร้อนสำหรับโรงแรมที่มีจำนวน 27 ชั้น ขนาด 325 ห้อง มีความต้องการปริมาณน้ำร้อนอุณหภูมิไม่เกิน 60 ^{0}C โดยทำการศึกษารูปแบบการติดตั้งระบบปั๊มความร้อนสำหรับโรงแรมกรณีศึกษา ศึกษาสมรรถนะการทำงานของระบบปั๊มความร้อนที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากปัจจัยของอุณหภูมิสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิน้ำร้อนที่ต้องการจากการคำนวณทางทฤษฎีโดยใช้ P-h Diagram ของสารทำความเย็น R-22 จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CoolPack เป็นเครื่องมือในการศึกษา และศึกษาสมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนเมื่อใช้งานจริง พร้อมทั้งวิเคราะห์ความเหมาะสมทางการเงิน ได้แก่ มูลค่าการลงทุนเริ่มต้นที่เพิ่มมากขึ้น ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและผลประโยชน์จากการลงทุนอื่นๆที่ได้รับในการเปลี่ยนจากระบบผลิตน้ำร้อนชนิดอื่นได้แก่ ระบบการผลิตน้ำร้อนโดยใช้น้ำมันเตา ระบบขดลวดไฟฟ้า และพลังงานแสงอาทิตย์ มาใช้ระบบปั๊มความร้อนภายใต้เงื่อนไขการผลิตน้ำร้อนเช่นเดียวกันกับโรงแรมกรณีศึกษา

กรณีที่โรงแรมกรณีศึกษาได้มีการตัดสินใจติดตั้งระบบทำน้ำร้อนด้วยระบบอื่นๆ คือ การผลิตน้ำร้อนแทนการผลิตน้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนจากน้ำมันเตา ขดลวดไฟฟ้า และเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และต้องการจะเปลี่ยนมาใช้ระบบปั๊มความร้อนนั้นย่อมมีต้นทุนที่แตกต่างกัน โดยต้นทุนแบ่งออกเป็นสองส่วนคือต้นทุนเริ่มแรกและต้นทุนขณะดำเนินการ

ทั้งนี้ต้นทุนเริ่มแรกของระบบเกิดจากต้นทุนที่เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากราคาของระบบและภาษีมูลค่าเพิ่มที่แตกต่างกัน ในการศึกษานี้จะถือว่าต้นทุนค่าแรงงานในการติดตั้ง พร้อมทั้งอุปกรณ์ประกอบระบบผลิตน้ำร้อน เช่น ท่อน้ำร้อน สายไฟฟ้า และอุปกรณ์อื่นๆ ของแต่ละระบบมีค่าเท่ากัน ดังนั้นต้นทุนการลงทุนเริ่มต้นจึงแตกต่างกันเฉพาะส่วนของต้นทุนระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิด ในส่วนของต้นทุนขณะดำเนินการ (Operation Cost) นั้นประกอบด้วย ค่าประกันระบบ ค่าซ่อมบำรุง และค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ทั้งนี้ค่าใช้จ่ายในส่วนดังกล่าวของระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิดจะมีค่าแตกต่างกัน โดยทั่วไปค่าประกันระบบจะมีค่าเท่ากับ 1% ของมูลค่าเริ่มต้น ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานคำนวณจากปริมาณเชื้อเพลิงและไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนภายใต้สภาวะเงื่อนไข

เดียวกันโดยการคิดคำนวณค่าใช้จ่ายด้านพลังงานตลอดอายุการใช้งานของระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิดทั้งนี้เนื่องมาจากระบบผลิตน้ำร้อนเมื่อใช้งานได้ระยะเวลาหนึ่งย่อมทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องลดลงทำให้มีการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งราคาของพลังงานแต่ละประเภทที่ใช้ในระบบก็มีราคาสูงสุดตามสภาวการณ์ การศึกษานี้จึงคำนวณค่าใช้จ่ายพลังงานให้มีค่าสูงขึ้นในแต่ละปีโดยใช้ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นปีละ 5% และค่าน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับหม้อต้มน้ำเพิ่มขึ้นปีละ 10% เนื่องจากราคาน้ำมันมีแนวโน้มเพิ่มสูงมากกว่าค่าพลังงานไฟฟ้า และต้นทุนการดำเนินการในส่วนของค่าบำรุงรักษาด้วยวิธีการจ้างหน่วยงานภายนอก (Outsource) ทั้งนี้ระบบผลิตน้ำร้อนนั้นย่อมต้องได้รับการบำรุงรักษามากขึ้นเนื่องจากอายุการใช้งานเพิ่มมากขึ้นโดยกำหนดให้อัตราค่าบำรุงรักษาเพิ่มขึ้นปีละ 10%

ทั้งนี้พบว่าต้นทุนขณะดำเนินการของระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิดทั้ง 3 ส่วน คือ ค่าประกัน ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน และค่าซ่อมบำรุง พบว่าหากมีการเปลี่ยนจากการผลิตน้ำร้อนจากระบบอื่นๆมาใช้ปั๊มความร้อนแทน จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและค่าซ่อมบำรุงได้ ดังนั้นต้นทุนในขณะดำเนินการสุทธิจึงมีเฉพาะส่วนของค่าประกันเท่านั้น

ในส่วนของผลตอบแทนหรือผลประโยชน์ (Benefit) ทางการเงินของโครงการ คือ มูลค่าด้านพลังงานที่ประหยัดได้ (Energy Saved) มูลค่าการซ่อมบำรุงที่ลดลง และมูลค่าซากที่จำหน่ายได้ของระบบทั้งนี้คิดมูลค่าซากแบบหักลดปีละเท่าๆกันตลอดอายุการใช้งาน ของมูลค่าการลงทุนเริ่มแรกของระบบนั้น โดยผลประโยชน์นี้สามารถคำนวณได้จากการเปรียบเทียบมูลค่าที่ลดลงของต้นทุนที่ลดลงเมื่อมีการใช้ปั๊มความร้อนผลิตน้ำร้อนแทนระบบอื่นๆ ที่เงื่อนไขการผลิตน้ำร้อนเดียวกัน

จากการคำนวณมูลค่าผลประโยชน์ได้จากการติดตั้งระบบทำน้ำร้อนจากปั๊มความร้อน (Heat Pump) แทนการใช้ระบบทำน้ำร้อนจากเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายพลังงานที่ประหยัดได้ ค่าบำรุงรักษาที่ลดลง และมูลค่าซากที่จำหน่ายได้ในราคาที่สูงขึ้น

ทั้งนี้จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องของต้นทุนวงจรชีวิตของระบบทำความร้อนชนิดต่างๆ นั้นพบว่าปั๊มความร้อนมีต้นทุนวงจรชีวิตตลอดอายุการใช้งานต่ำที่สุดถึงแม้ว่าจะมีเงินลงทุนเริ่มแรกสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระบบผลิตน้ำร้อนชนิดอื่นๆ (ภาณุศักดิ์, 2550) ดังนั้นหากเลือกติดตั้งปั๊มความร้อนตั้งแต่เริ่มต้นระบบผลิตน้ำร้อนของโรงแรมจะเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการผลิตน้ำร้อนและมีคุ้มค่ามากที่สุด ทั้งนี้สามารถสรุปผลการศึกษาซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ

1. ระบบปั๊มความร้อนสำหรับโรงแรมกรณีศึกษา
2. สมรรถนะการทำงานของระบบปั๊มความร้อนจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3. สมรรถนะการทำงานของระบบปั๊มความร้อนจากการตรวจวัด

4. ความเหมาะสมทางด้านการเงินการลงทุน

5.1.1 ระบบปั๊มความร้อนสำหรับโรงแรมกรณีศึกษา

โรงแรมกรณีศึกษาเป็นโรงแรมที่ตั้งอยู่ในจังหวัดกรุงเทพมหานครมีความสูง 27 ชั้น โดยมีห้องพักรวมทั้งสิ้น 325 ห้อง ซึ่งก่อสร้างแล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2550 และได้ทำการศึกษาระบบผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อน ทั้งนี้ผลของการศึกษาก็คือ โรงแรมกรณีศึกษาต้องติดตั้งปั๊มความร้อนประเภท Air Source Heat pump จำนวน10 เครื่อง ขนาดของปั๊มความร้อนรวมทั้งสิ้น 460 kWh ติดตั้งถังเก็บน้ำร้อนขนาด 25,500 L โดยติดตั้งระบบปั๊มความร้อนแบบศูนย์รวมเพื่อจ่ายให้แก่ห้องพักและส่วนอื่นๆภายในโรงแรม ทั้งนี้ระบบปั๊มความร้อนประเภทดังกล่าวมีความสะดวกในการใช้งานมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับปั๊มความร้อนประเภทอื่น อย่างไรก็ตามปั๊มความร้อนชนิดนี้มักมีความผันผวนของอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้ จึงจำเป็นจะต้องมีการใช้รวมกับระบบผลิตน้ำร้อนชนิดอื่นเพื่อให้ผลิตน้ำร้อนตามเงื่อนไขที่ต้องการได้ตลอดเวลา

5.1.2 สมรรถนะการทำงานของระบบปั๊มความร้อนจากการจำลองค่าทฤษฎี

สมรรถนะการทำงานของระบบปั๊มความร้อนประเภท Air Source heat pump นั้นมีปัจจัยหลักมาจากอุณหภูมิสภาพอากาศแวดล้อมและอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ต้องการ ซึ่งหากอุณหภูมิสภาพอากาศแวดล้อมสูงขึ้นจะส่งให้สมรรถนะการทำงานปั๊มความร้อนมีค่าเพิ่มมากขึ้น และมีค่าสมรรถนะลดลงเมื่ออุณหภูมิของน้ำร้อนที่ต้องการมีค่าสูงขึ้น ซึ่งสมรรถนะการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนทุกกรณีที่ทำการศึกษามีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน คือ มีค่าไม่ต่ำกว่า 3

5.1.3 สมรรถนะการทำงานของระบบปั๊มความร้อนจากการตรวจวัด

การผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนที่มีค่าประสิทธิภาพ (COP) นั้นกฎหมายมีการกำหนดค่าสัมประสิทธิสมรรถนะการทำความร้อนตามมาตรฐานให้มีค่าไม่ต่ำกว่า 3 ซึ่งจากผลการตรวจวัดค่าสัมประสิทธิสมรรถนะของปั๊มความร้อนทุกเครื่องที่ติดตั้งสำหรับใช้งานในโรงแรมกรณีศึกษามีค่าเป็นไปตามมาตรฐานคือ มีค่าไม่ต่ำกว่า 3

5.1.4 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ทางด้านการเงิน

การวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ทางด้านการเงินในกรณีที่จะพิจารณามูลค่าลงทุนเริ่มต้นและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของระบบทำน้ำร้อนแต่ละชนิดกับปั๊มความร้อน รวมทั้งผลประโยชน์ที่จะได้รับทางการเงินของโครงการ ในช่วงเวลาของอายุโครงการ 15 ปี โดยใช้มูลค่าปัจจุบันของผลที่ได้สุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนที่ได้ต่อการลงทุน (BCR) ณ ระดับอัตราคิดลดร้อยละ 11.75 ต่อปี อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) และระยะเวลาในการคืนทุน(SPP) เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจในการเปลี่ยนระบบผลิตน้ำร้อนภายใต้สภาวะ

เงื่อนไขการผลิตเดียวกันกับโรงแรมกรณีศึกษามาใช้ปั๊มความร้อน ซึ่งสามารถทำได้จากการเปรียบเทียบผลประหยัดที่ได้จากการใช้ปั๊มความร้อน (Heat pump) แทนการใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้แก่ ค่าน้ำมันเตาและค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละระบบผลิตน้ำร้อนภายใต้สภาวะเงื่อนไขการผลิตเดียวกันนั้นค่าใช้จ่ายพลังงานต่อปีของระบบการผลิตน้ำร้อนด้วยระบบปั๊มความร้อนมีค่าต่ำที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 641,403.00 บาท/ปี

2. มูลค่าปัจจุบันสุทธิทุกกรณีมีค่ามากกว่าศูนย์ ซึ่งมีความคุ้มค่าในการลงทุน

3. อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนทุกกรณีมีค่ามากกว่า 1 ซึ่งมีความคุ้มค่าในการลงทุนเพราะมูลค่าผลประโยชน์สุทธิมีค่ามากกว่าเงินลงทุน

4. อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการมีค่ามากกว่าอัตราดอกเบี้ย 11.75 % ซึ่งมีความคุ้มค่าในการลงทุน

5. ระยะเวลาในการคืนทุนจากการตัดสินใจลงทุนเพิ่มในการเปลี่ยนจากระบบผลิตน้ำร้อนชนิดอื่นๆมาใช้ปั๊มความร้อนพบว่ามีระยะเวลาในการคืนทุนน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของอายุการใช้งานสูงสุดของระบบปั๊มความร้อน

ดังนั้นหากลงทุนติดตั้งระบบปั๊มความร้อนแทนติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนชนิดอื่นๆเพื่อการประหยัดพลังงานนั้นมีความคุ้มค่าในการลงทุน จึงควรเลือกติดตั้งปั๊มความร้อนตั้งแต่เริ่มต้นระบบผลิตน้ำร้อนของโรงแรมจะเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการผลิตน้ำร้อนและมีคุ้มค่ามากที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิเคราะห์ค่าทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ค่าความอ่อนไหวของโครงการ

การวิเคราะห์ถึงค่าความอ่อนไหวของโครงการเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงเพื่อศึกษาโครงการในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลง (Dynamic) อันเนื่องมาจากความไม่แน่นอน (Uncertainly) และความเสี่ยง (Rick) เข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งความไม่แน่นอนเหล่านี้เกิดจากปัจจัยต่างๆ เช่น ความไม่แน่นอนของภาวะเศรษฐกิจ ความไม่แน่นอนทางนโยบายทางการเงินของประเทศ เป็นต้น

จากความไม่แน่นอนของอนาคตและมีความเสี่ยงในปัจจัยต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้น อันจะเป็นผลกระทบต่อต้นทุนและผลประโยชน์ได้ ถ้าต้องการให้โครงการมีความน่าเชื่อถือได้ในระยะยาวควรมีการประเมินความเสี่ยงจากความไม่แน่นอนด้วยจึงจะน่าลงทุนมากยิ่งขึ้น

5.2.2 ข้อเสนอแนะอื่นๆ

1. การติดตั้งเพิ่มประสิทธิภาพของการทำน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนนั้นสามารถทำได้ด้วยการเพิ่มอุณหภูมิให้แหล่งความร้อน เช่น การติดตั้งระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับปั๊มความร้อนในสถานประกอบการ

2. การเลือกขนาดของปั๊มความร้อนนั้นควรคำนึงถึงปริมาณน้ำร้อนที่ใช้จริงในแต่ละวันเพื่อที่จะสามารถล็อกขนาดของเครื่องปั๊มความร้อนและถังเก็บความร้อนได้อย่างเหมาะสม

3. การหุ้มฉนวนบริเวณส่วนท่อและถังเก็บน้ำร้อนจะช่วยในการประหยัดพลังงานได้ทั้งนี้เป็นการลดความสูญเสียความร้อนจากน้ำร้อนที่เก็บไว้

4. กิจการที่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศประเภทแยกส่วนสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องทำน้ำร้อนได้ ทั้งนี้ต้องดูความเหมาะสมและความเป็นไปได้ในการลงทุนด้วย

5. ควรมีการบำรุงรักษาเครื่องปั๊มความร้อนเป็นประจำเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงอยู่เสมอ

5.2.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาต่อไป

ระบบปั๊มความร้อนเป็นระบบผลิตน้ำร้อนที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันเนื่องจากทำให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสำหรับผลิตน้ำร้อนขององค์กรต่ำกว่าระบบผลิตน้ำร้อนชนิดอื่น ซึ่งแนวทางสำหรับการศึกษาต่อไปมีดังนี้

1. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินในการลงทุนหรับโรงแรมที่มีเงื่อนไขการผลิตน้ำร้อนอื่นๆ โดยทำการศึกษาว่าหากโรงแรมมีขนาดใหญ่หรือเล็กลงจะส่งผลต่อความคุ้มค่าในการลงทุนหรือไม่

2. การออกแบบโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อใช้สำหรับการประเมินสมรรถนะของปั๊มความร้อนเมื่ออุณหภูมิสภาวะแวดล้อมและน้ำร้อนใช้งานเปลี่ยนแปลงไปโดยมีการพิจารณาปัจจัยคงที่อื่นๆเพื่อให้การประเมินสมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนมีความใกล้เคียงขณะใช้งานจริง

3. การศึกษาผลของชนิดสารทำงานในระบบปั๊มความร้อนว่าส่งผลต่อสมรรถนะของระบบหรือไม่

4. การศึกษาวิธีการออกแบบระบบปั๊มความร้อนให้มีขนาดเหมาะสมกับองค์กรประเภทต่างๆ

5. การบริหารระบบผลิตน้ำร้อนให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดโดยการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำความเย็นทิ้งจากระบบปั๊มความร้อนมาใช้งานเพื่อการประหยัดพลังงานจากระบบปรับอากาศ

บรรณานุกรม

DPU

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

หนังสือ

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน.(ม.ป.ป.) . **การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร.** กรุงเทพฯ : ผู้แต่ง

จรัล อินทรังษี .(2551). **โครงการพัฒนาประสิทธิภาพในภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจ**. กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.

ชุญาดา เส้งโสตะ. (2547). **สูตร & ฟังก์ชั่น Excel ฉบับใช้งานจริงในสำนักงาน.** กรุงเทพฯ : เฟิสท์ ออฟเซต (1993).

มานะศิษฏ์ พิมพ์สาร.(ม.ป.ป.). **ระบบน้ำร้อนในอาคาร**.กรุงเทพฯ : เอเซียเพรส (1989).

วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ . (2540). **การออกแบบระบบท่อภายในอาคาร สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์**. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วัชระ มั่งวิฑิตกุล . (2550). **กระบวนการและเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงานสำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ : สามลดา.

วันชัย ริจิรวนิช และชอุ่ม พลอยมีค่า. (2550). **เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม.** กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศุภชัย ปัญญาวีร์ และจตุพร สถากุลเจริญ. (2549). **คู่มือการลดต้นทุนผลิตด้านพลังงาน.** กรุงเทพฯ : ส.ส.ท.

สุรินทร์ เศรษฐมาตร และทาเคโอะ มอริมูระ. (2530). **วิศวกรรมงานท่อภายในอาคาร การออกแบบและการบำรุงรักษา**. กรุงเทพฯ : ดวงกมล และ สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์.

วิทยานิพนธ์

กฤษณ์ คงเจริญ. (2548). **การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการลงทุนโครงการผลิตน้ำร้อนด้วยระบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีศึกษาโรงพาบาลแกลง จังหวัดระยอง.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากร.กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จุฑามาส ภควัตบริรักษ์ .(ม.ป.ป.). **การวิเคราะห์สมรรถนะปั๊มความร้อนทำงานร่วมกับสารดูดความชื้นชนิดแข็งในกระบวนการอบแห้ง**. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ธีรภัทร์ อนุชาติ. (2549). **การเลือกขนาดระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ร่วมกับปั๊มความร้อนสำหรับการใช้งานในโรงแรมในประเทศไทย**. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ปณต วิไลพล. (2543). **การศึกษาการนำความร้อนทิ้งจากอุปกรณ์ควบแน่นของระบบปรับอากาศสำหรับผลิตน้ำร้อนโดยปั๊มความร้อน** .วิทยานิพนธ์ระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล. ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ปราโมทย์ ลายประดิษฐ์. (2542). **การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนแบบฮีทปั๊มในที่พักอาศัย**. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยี พลังงาน. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าธนบุรี.

พัชรี จันทนบุบผา. (2536). **การใช้ปั๊มความร้อนเพื่อเพิ่มคุณภาพพลังงานความร้อน**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าธนบุรี.

ภาณุศักดิ์ มูลศรี. (2550). **การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบต้นทุนวงจรชีวิตทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตน้ำร้อนแบบต่างๆ**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าธนบุรี.

ศรีธร อุปคำ. (2543). **การวิเคราะห์สมรรถนะระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ร่วมกับปั๊มความร้อนสำหรับอาคารที่อยู่อาศัย**. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สรรพวรรธ วิทยาศัย. (2543). **การเลือกปั๊มความร้อนเสริมระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์**. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าธนบุรี.

อลงกรณ์ สุขใส. (2538). **การออกแบบระบบน้ำร้อนแสงอาทิตย์ในโรงแรม**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าธนบุรี.

อาทิตย์ ไชยนันท์. (2543). **การทำน้ำร้อนจากปั๊มความร้อน** . วิทยานิพนธ์ระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าธนบุรี.

สารสนเทศจากสื่ออิเล็กทรอนิกส์

บริษัทบุญเยี่ยมและสหาย, (2551). ปั๊มความร้อนคืออะไร. สืบค้นเมื่อ 25 มีนาคม 2551, จาก **http://www.boonyium/sara-3htm..**

Modern Environment. (2550). ความรู้พื้นฐาน Heat Pump. สืบค้นเมื่อ 4 ธันวาคม 2550, จาก **http://www.modernbis.com.**

DPU

ภาคผนวก

DPU

1. การประเมินผลประหยัดที่ได้จากการเลือกติดตั้งระบบทำน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนของโรงแรม กรณีศึกษา โรงแรมมิเลนเนียมสุขุมวิท

1.1 ค่าใช้จ่ายพลังงานจากการผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อน

ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปั๊มความร้อนนั้นนอกจากจะขึ้นอยู่กับกำลังไฟฟ้าที่เครื่องใช้แล้ว ยังขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์ในการทำงาน (Coefficient of performance: COP) เป็นค่าที่แสดงประสิทธิภาพของวัฏจักรการทำความร้อนคืออัตราส่วนระหว่างพลังงานที่เครื่องสามารถทำความร้อนได้ต่อพลังงานที่ต้องใช้ (พลังงานไฟฟ้า) และค่า COP จะมีค่ามากกว่า 1 เนื่องจากเครื่องทำความร้อนนั้นทำหน้าที่เป็นปั๊มความร้อน ดังนั้นความสามารถในการทำความร้อนจึงต้องมากกว่างานที่ทำในเครื่องอัด มีรายละเอียดสมการ

COP = (พลังงานความร้อนที่น้ำป้อนได้รับ) / (กำลังไฟฟ้าที่ใช้ขับคอมเพรสเซอร์)

โดย

พลังงานความร้อนที่น้ำป้อนได้รับ = $0.00116 \times F \times \Delta T$

กำหนดให้

F คือ อัตราน้ำป้อนที่ต้องการผลิต (L/hr)

ΔT คือ อุณหภูมิแตกต่างของน้ำร้อนที่ไหลเข้าและออกจากส่วนทำน้ำร้อน (F)

0.00116 คือ ค่าคงที่จากการแปลงหน่วย

พลังไฟฟ้า คือ พลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ (kW)

โดย

พลังงานของคอมเพรสเซอร์ = $I \times V \times 1.732 \times PF$

กำหนดให้

I คือ กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่อง (A)

V คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า (Volt)

1.732 คือ ค่าคงที่ใช้ในกรณีต้องการคิดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส

PF คือ ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

ทั้งนี้สัมประสิทธิ์ในการทำงาน (Coefficient of performance : COP) ของเครื่องปั๊มความร้อนจากกรณีศึกษาที่นำมาคำนวณนั้นเป็นค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงจากการวัดค่าของเครื่องจากการทำงานจริงของเครื่อง ซึ่งได้ค่าตัวแปรต่างๆ สำหรับใช้ในการคำนวณ ได้แก่ ค่าอุณหภูมิน้ำร้อนที่สามารถผลิตได้ ค่าอุณหภูมิอากาศป้อน อัตราน้ำป้อนที่ต้องการผลิต อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ไหลเข้า กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่อง และความต่างศักย์ไฟฟ้า และนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำมาเป็นค่าที่ใช้สำหรับการคำนวณ ซึ่งได้ค่า COP ของเครื่องปั๊มความร้อนเท่ากับ 3 ตามที่มาตรฐานตาม

กฎกระทรวง แห่ง พรบ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานกำหนด ซึ่งสามารถนำมาใช้คำนวณค่าใช้จ่ายจากการผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าใช้จ่ายของการผลิตน้ำร้อนในโรงแรมจากปั๊มความร้อน

รายการ	หน่วย	ปั๊มความร้อน
จำนวนวันใช้งานต่อปี	วัน/ปี	365
ปริมาณความต้องการผลิตน้ำร้อน	ลิตร/วัน	48,750
ปริมาณความร้อนที่ต้องการ	kcal/วัน	1,511,250
เทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า	kWh/วัน	1757.27
COP Heat pump		3
ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสำหรับ Heat pump	kWh/วัน	585.76
ขนาด Heat pump ที่ใช้	kW	460
พลังงานที่ใช้ต่อปี	kWh/ปี	213,800.87
อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย	บาท/kWh	3
ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าต่อปี	บาท/ปี	641,403

1.2 ค่าใช้จ่ายการผลิตน้ำร้อนจากการใช้น้ำมันเตา

ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนเงื่อนไขเดียวกันโดยการใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันเตาสามารถคิดเป็นมูลค่าใช้จ่ายได้ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าใช้จ่ายของการผลิตน้ำร้อนในโรงแรมจากเชื้อเพลิงน้ำมันเตา

รายการ	หน่วย	ค่า
จำนวนวันใช้งานต่อปี	วัน/ปี	365
ปริมาณความร้อนที่ต้องการ	kcal/วัน	1,511,250.00
ค่าความร้อนของน้ำมันเตา	kcal/ลิตร	9,500.00
ปริมาณน้ำมันเตาที่ใช้	ลิตร/วัน	159.08
ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	%	85
ต้องใช้น้ำมันเตาจริงต่อวัน	ลิตร/วัน	187.15
ต้องใช้น้ำมันเตาจริงต่อปี	ลิตร/ปี	68,310.37

ตารางที่ 2 (ต่อ)

รายการ	หน่วย	ค่า
ราคาน้ำมันเตาลิตรละ	บาท/ลิตร	20
ราคาน้ำมันเตา	บาท/วัน	3,743.03
ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าต่อปี	บาท/ปี	1,366,207.43

หมายเหตุ : ราคาของน้ำมันเตาใช้ราคาจากบริษัท ปตท. จำกัด วันที่ 12 กันยายน 2551
ค่าพลังงานความร้อนของน้ำมันเตาเท่ากับ 9,500 kcal/ลิตร

1.3 การผลิตน้ำร้อนจากการใช้ขดลวดพลังงานไฟฟ้า

ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนเงื่อนไขเดียวกันโดยการใช้ขดลวดพลังงานไฟฟ้าสามารถคิดเป็นมูลค่าใช้จ่ายได้ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าใช้จ่ายของการผลิตน้ำร้อนในโรงแรมจากเชื้อเพลิงจากขดลวดพลังงานไฟฟ้า

รายการ	หน่วย	ค่า
จำนวนวันใช้งานต่อปี	วัน/ปี	365.00
ต้องการความร้อนวันละ	kcal/วัน	1,511,250.00
เทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า	kwh	1,757.27
ขนาดขดลวด	kw	73.22
ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเฉลี่ย	บาท/kWh	3.00
ค่าไฟฟ้าต่อปี	บาท/ปี	1,924,207.85

1.4 การผลิตน้ำร้อนจากการใช้เครื่องผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนเงื่อนไขเดียวกันโดยการใช้เครื่องผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยในกรณีนี้คิดที่ระบบที่ติดขดลวดไฟฟ้าเพิ่ม 50% สามารถคิดเป็นมูลค่าใช้จ่ายได้ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าใช้จ่ายของการผลิตน้ำร้อนในโรงแรมจากเครื่องผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดขดลวดไฟฟ้าเพิ่ม 50%

รายการ	หน่วย	ค่า
จำนวนวันใช้งานต่อปี	วัน/ปี	365.00
ต้องการความร้อนวันละ	kcal/วัน	1,511,250.00
เป็นความร้อนจากขดลวดไฟฟ้า 50%	kcal/วัน	755,625.00
เป็นพลังงานไฟฟ้าจากขดลวด	kWh/วัน	878.63
ขดลวดทำงานวันละ	ชม./วัน	12.00
ขนาดขดลวด	kW	73.22
อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า	บาท/kWh	3.00
มูลค่าพลังงานไฟฟ้าต่อปี	บาท/ปี	962,103.92

2. การวิเคราะห์ทางการเงินของการทดแทนระบบผลิตน้ำร้อนอื่นๆ ด้วยปั๊มความร้อน

หากโรงแรมที่มีเงื่อนไขการใช้งานและการผลิตน้ำร้อนเช่นเดียวกันกับโรงแรมกรณีศึกษาได้มีการตัดสินใจติดตั้งระบบทำน้ำร้อนด้วยระบบอื่นๆ คือ การผลิตน้ำร้อนแทนการผลิตน้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนจากน้ำมันเตา ขดลวดไฟฟ้า และเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นระบบเดิมมาก่อนและต้องการจะเปลี่ยนมาใช้ระบบปั๊มความร้อนนั้นต้องมีการพิจารณาความคุ้มค่าในการลงทุน

2.1 ต้นทุนทางการเงินของโครงการ

ต้นทุนหรือรายจ่าย (Cost) ทางการเงินของโครงการประกอบด้วยต้นทุน 2 ส่วน คือ ต้นทุนการลงทุนเริ่มต้น (C_p)และต้นทุนขณะดำเนินการ (C_v) คือ ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นครั้งแรกและต้นทุนเงินประกันที่เพิ่มขึ้นต่อปีเมื่อเปลี่ยนมาใช้ระบบปั๊มความร้อนแทนระบบผลิตน้ำร้อนชนิดอื่น โดยสามารถแสดงถึงต้นทุนของโครงการในแต่ละส่วนดังนี้

2.1.1 ต้นทุนการลงทุนเริ่มต้น (Investment Cost)

ในกรณีที่โรงแรมกรณีศึกษาได้มีการตัดสินใจติดตั้งระบบทำน้ำร้อนด้วยระบบอื่นๆ คือ การผลิตน้ำร้อนแทนการผลิตน้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนจากน้ำมันเตา ขดลวดไฟฟ้า และเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และต้องการจะเปลี่ยนมาใช้ระบบปั๊มความร้อนนั้นย่อมมีต้นทุนเริ่มแรกที่เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากราคาระบบและภาษีมูลค่าเพิ่มที่แตกต่างกัน ในการศึกษานี้จะถือว่าต้นทุนค่าแรงงานในการติดตั้ง พร้อมทั้งอุปกรณ์ประกอบระบบผลิตน้ำร้อน เช่น ท่อน้ำร้อน

สายไฟฟ้า และอุปกรณ์อื่นๆ ของแต่ละระบบมีค่าเท่ากัน ดังนั้นต้นทุนการลงทุนเริ่มต้นจึงแตกต่างกันเฉพาะส่วนของต้นทุนระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิด รายละเอียดดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ต้นทุนการลงทุนเริ่มต้นระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิด

กรณีที่	ชนิดของระบบทำน้ำร้อน	ต้นทุนระบบผลิตน้ำร้อน (บาท)	ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปลี่ยนมาใช้ระบบปั๊มความร้อนแทนระบบอื่นๆ (บาท)	ต้นทุนที่เพิ่มขึ้น (%)
	ปั๊มความร้อน	14,370,000.00	ค่าอ้างอิง	ค่าอ้างอิง
1.	น้ำมันเตา	7,612,800.00	6,757,200.00	47.02%
2.	ขดลวดไฟฟ้า	5,341,500.00	9,028,500.00	62.83%
3.	พลังงานแสงอาทิตย์	10,958,250.00	3,411,750.00	23.74%

ที่มา : สำรวจข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตและผู้นำเข้า

2.1.2 ต้นทุนขณะดำเนินการ (Operation Cost)

ต้นทุนขณะดำเนินการ (Operation Cost) ประกอบด้วย ค่าประกันระบบ ค่าซ่อมบำรุง ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ทั้งนี้ค่าใช้จ่ายในส่วนดังกล่าวของระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิดจะมีค่าแตกต่างกัน โดยทั่วไปค่าประกันระบบจะมีค่าเท่ากับ 1% ของมูลค่าเริ่มต้น ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานคำนวณจากปริมาณเชื้อเพลิงและไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนภายใต้สภาวะเงื่อนไขเดียวกันโดยการคิดคำนวณค่าใช้จ่ายด้านพลังงานตลอดอายุการใช้งานของระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิดทั้งนี้เนื่องมาจากระบบผลิตน้ำร้อนเมื่อใช้งานได้ระยะเวลาหนึ่งย่อมทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องลดลงทำให้มีการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งราคาของพลังงานแต่ละประเภทที่ใช้ในระบบก็มีราคาสูงสุดตามสภาวการณ์ การศึกษานี้จึงคำนวณค่าใช้จ่ายพลังงานให้มีค่าสูงขึ้นในแต่ละปีโดยใช้ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นปีละ 5% และค่าน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับหม้อต้มน้ำเพิ่มขึ้นปีละ 10% เนื่องจากราคาน้ำมันมีแนวโน้มเพิ่มสูงมากกว่าค่าพลังงานไฟฟ้า และต้นทุนการดำเนินการในส่วนของค่าบำรุงรักษาด้วยวิธีการจ้างหน่วยงานภายนอก (Outsource) ทั้งนี้ระบบผลิตน้ำร้อนนั้นย่อมต้องได้รับการบำรุงรักษามากขึ้นเนื่องจากอายุการใช้งานเพิ่มมากขึ้นโดยกำหนดให้อัตราค่า

บำรุงรักษาเพิ่มขึ้นปีละ 10% ซึ่งค่าใช้จ่ายขณะดำเนินการปีแรกของเครื่องผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิด สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ต้นทุนขณะดำเนินการของปั๊มความร้อน

กรณีที่	ชนิดของระบบผลิตน้ำร้อน	ค่าประกัน (บาท/ปี)	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานปีแรก* (บาท)	ค่าซ่อมบำรุงปีแรก* (บาท)
	ปั๊มความร้อน	143,700.00	641,403.00	20,000.00
1.	น้ำมันเตา	76,128.00	1,366,207.43	25,000.00
2.	ขดลวดไฟฟ้า	53,415.00	1,924,207.85	37,500.00
3.	พลังงานแสงอาทิตย์	109,582.00	962,103.92	78,750.00

หมายเหตุ : ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสำหรับปั๊มความร้อน ขดลวดไฟฟ้า และพลังงานแสงอาทิตย์ เพิ่มขึ้นปีละ 5% และค่าน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับหม้อต้มน้ำเพิ่มขึ้นปีละ 10% และอัตราค่าบำรุงรักษาของทุกระบบเพิ่มขึ้นปีละ 10%

ที่มา : สำรวจข้อมูลจากบริษัทบริการซ่อมบำรุงและประกัน

จากตารางที่ 6 จะพบว่าต้นทุนขณะดำเนินการของระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิดทั้ง 3 ส่วน คือ ค่าประกัน ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน และค่าซ่อมบำรุง พบว่าหากมีการเปลี่ยนจากการผลิตน้ำร้อนจากระบบอื่นๆมาใช้ปั๊มความร้อนแทน จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและค่าซ่อมบำรุงได้ ดังนั้นต้นทุนในการดำเนินการสุทธิจึงมีเฉพาะส่วนของค่าประกันเท่านั้น

2.2 ผลประโยชน์ทางการเงินของโครงการ

ผลตอบแทนหรือผลประโยชน์ (Benefit) ทางการเงินของโครงการ คือมูลค่าด้านพลังงานที่ประหยัดได้ (Energy Saved) มูลค่าการซ่อมบำรุงที่ลดลง และมูลค่าซากที่จำหน่ายได้ของระบบทั้งนี้คิดมูลค่าซากแบบหักลดปีละเท่าๆ กันตลอดอายุการใช้งาน ของมูลค่าการลงทุนเริ่มแรกของระบบนั้น โดยผลประโยชน์นี้สามารถคำนวณได้จากการเปรียบเทียบมูลค่าที่ลดลงของต้นทุนที่ลดลงเมื่อมีการใช้ปั๊มความร้อนผลิตน้ำร้อนแทนระบบอื่นๆ ที่เงื่อนไขการผลิตน้ำร้อนเดียวกัน ดังสมการต่อไปนี้คือ

$$B_d = PC(e) - PC(i)$$

เมื่อ B_d = มูลค่าผลประโยชน์ที่ได้ในช่วงระยะเวลา 1 ปี

PC (e) = ต้นทุนจากการใช้ระบบผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อน (Heat Pump) ในช่วงระยะเวลา 1 ปี

PC (i) = ต้นทุนจากการผลิตน้ำร้อนของเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆในช่วงระยะเวลา 1 ปี

จากการคำนวณมูลค่าผลประโยชน์ได้จากการติดตั้งระบบทำน้ำร้อนจากปั๊มความร้อน (Heat Pump) แทนการใช้ระบบทำน้ำร้อนจากเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายพลังงานที่ประหยัดได้ ค่าบำรุงรักษาที่ลดลง และมูลค่าซากที่จำหน่ายได้ในราคาที่สูงขึ้น ดังแสดงได้ดังรายละเอียดในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและเปรียบเทียบผลการประหยัดพลังงานเมื่อติดตั้งปั๊มความร้อนแทนการผลิตน้ำร้อนด้วยระบบอื่นๆ ในภาวะเงื่อนไขการผลิตน้ำร้อนเดียวกัน

กรณีที่	ชนิดของระบบผลิตน้ำร้อน	มูลค่าซากในปีสุดท้ายที่เพิ่มขึ้น (บาท)	ผลประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานปีแรก* (บาท)	ผลการประหยัดค่าซ่อมบำรุงปีแรก* (บาท)
	ปั๊มความร้อน	อ้างอิง	อ้างอิง	อ้างอิง
1.	น้ำมันเตา	450,480.00	724,804.81	5,000.00
2.	ขดลวดไฟฟ้า	601,900.00	1,282,805.23	17,500 .00
3.	พลังงานแสงอาทิตย์	227,450.00	320,701.31	58,750.00

หมายเหตุ : 1. ผลการประหยัดด้านพลังงานสำหรับปั๊มความร้อน ขดลวดไฟฟ้า และพลังงานแสงอาทิตย์ เพิ่มขึ้นปีละ 5% และค่าน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับหม้อต้มน้ำเพิ่มขึ้นปีละ 10% และค่าบำรุงรักษาของทุกระบบเพิ่มขึ้นปีละ 10% ซึ่งเป็นไปตามสัดส่วนของค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น

2.3 ค่าใช้จ่ายสุทธิตลอดอายุการใช้งาน

ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายสุทธิตลอดอายุการใช้งาน (Cost) ของการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนทุกประเภทซึ่งประกอบด้วย ต้นทุนการลงทุนเริ่มต้น (C_f) และต้นทุนขณะดำเนินการ (C_v) ทั้งนี้ต้นทุนการลงทุนเริ่มต้น (Investment Cost) ของโครงการนั้นในการศึกษานี้จะถือว่าต้นทุนค่าแรงงานในการติดตั้ง พร้อมทั้งอุปกรณ์ประกอบระบบผลิตน้ำร้อน เช่น ท่อน้ำร้อน สายไฟฟ้า และอุปกรณ์อื่นๆ ของแต่ละระบบมีค่าเท่ากัน ดังนั้นต้นทุนการลงทุนเริ่มต้นจึงแตกต่างกันเฉพาะส่วนของต้นทุนระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิด และต้นทุนขณะดำเนินการ (Operation Cost) ประกอบด้วย ค่าประกันระบบ ค่าซ่อมบำรุง ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ทั้งนี้ค่าใช้จ่ายในส่วนดังกล่าวของระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิดจะมีค่าแตกต่างกัน โดยทั่วไปค่าประกันระบบจะมีค่าเท่ากับ 1%

ของมูลค่าเริ่มต้น ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานคำนวณจากปริมาณเชื้อเพลิงและไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนภายใต้สภาวะเงื่อนไขเดียวกันโดยการคิดคำนวณค่าใช้จ่ายด้านพลังงานตลอดอายุการใช้งานของระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิดทั้งนี้เนื่องมาจากระบบผลิตน้ำร้อนเมื่อใช้งานได้ระยะเวลาหนึ่งย่อมทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องลดลงทำให้มีการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งราคาของพลังงานแต่ละประเภทที่ใช้ในระบบก็มีราคาสูงสุดตามสภาวการณ์ การศึกษานี้จึงคำนวณค่าใช้จ่ายพลังงานให้มีค่าสูงขึ้นในแต่ละปีโดยใช้ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นปีละ 5% และค่าน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับหม้อต้มน้ำเพิ่มขึ้นปีละ 10% เนื่องจากราคาน้ำมันมีแนวโน้มเพิ่มสูงมากกว่าค่าพลังงานไฟฟ้า และต้นทุนการดำเนินการในส่วนของค่าบำรุงรักษาด้วยวิธีการจ้างหน่วยงานภายนอก (Outsource) ทั้งนี้ระบบผลิตน้ำร้อนนั้นย่อมต้องได้รับการบำรุงรักษามากขึ้นเนื่องจากอายุการใช้งานเพิ่มมากขึ้นโดยกำหนดให้อัตราค่าบำรุงรักษาเพิ่มขึ้นปีละ 10% อย่างไรก็ตามค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิดยังมีความเกี่ยวข้องกับรายได้ที่ได้จากมูลค่าซากที่ทำให้ค่าใช้จ่ายนั้นลดลง การศึกษานี้ใช้วิธีการคิดค่าเสื่อมราคาแบบลดเท่ากันทุกปีทั้งนี้มูลค่าซากนั้นถือได้ว่าเป็นส่วนของรายได้ที่นำมาลดต้นทุนค่าใช้จ่ายของระบบผลิตน้ำร้อน โดยระบบทำน้ำร้อนชนิดที่ใช้หม้อไอน้ำประเภทใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเตา ระบบขดลวดไฟฟ้า ปั๊มความร้อน และระบบการผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ มีค่าใช้จ่ายสุทธิตลอดอายุการใช้งานเท่ากับ 52,449,312.61 บาท 48,499,734.49 บาท 30,043,496.77 บาท และ 39,857,464.90 บาท ตามลำดับ แสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 8 ถึง 11

ตารางที่ 8 ค่าใช้จ่ายสุทธิตลอดอายุการใช้งานของระบบปั๊มความร้อน

ปีที่	มูลค่าลงทุนเริ่มต้น	ค่าประกัน	มูลค่าซาก	ค่าพลังงานไฟฟ้า	ค่าซ่อมบำรุง
0	14,370,000.00				
1		143,700.00		641,402.62	20,000.00
2		143,700.00		673,472.75	22,000.00
3		143,700.00		707,146.38	24,200.00
4		143,700.00		742,503.70	26,620.00
5		143,700.00		779,628.89	29,282.00
6		143,700.00		818,610.33	32,210.20
7		143,700.00		859,540.85	35,431.22
8		143,700.00		902,517.89	38,974.34

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ปีที่	มูลค่าลงทุนเริ่มต้น	ค่าประกัน	มูลค่าซาก	ค่าพลังงานไฟฟ้า	ค่าซ่อมบำรุง
9		143,700.00		947,643.79	42,871.78
10		143,700.00		995,025.98	47,158.95
11		143,700.00		1,044,777.28	51,874.85
12		143,700.00		1,097,016.14	57,062.33
13		143,700.00		1,151,866.95	62,768.57
14		143,700.00		1,209,460.29	69,045.42
15		143,700.00	958,000.00	1,269,933.31	75,949.97

ตารางที่ 9 ค่าใช้จ่ายสุทธิตลอดอายุการใช้งานของระบบขดลวดไฟฟ้า

ปีที่	มูลค่าลงทุนเริ่มต้น	ค่าประกัน	มูลค่าซาก	ค่าพลังงานไฟฟ้า	ค่าซ่อมบำรุง
0	5,341,500.00				
1		53,415.00		1,924,207.85	37,500.00
2		53,415.00		2,020,418.24	41,250.00
3		53,415.00		2,121,439.15	45,375.00
4		53,415.00		2,227,511.11	49,912.50
5		53,415.00		2,338,886.67	54,903.75
6		53,415.00		2,455,831.00	60,394.13
7		53,415.00		2,578,622.55	66,433.54
8		53,415.00		2,707,553.68	73,076.89
9		53,415.00		2,842,931.36	80,384.58
10		53,415.00		2,985,077.93	88,423.04
11		53,415.00		3,134,331.83	97,265.34
12		53,415.00		3,291,048.42	106,991.88
13		53,415.00		3,455,600.84	117,691.06
14		53,415.00		3,628,380.88	129,460.17
15		53,415.00	356,100.00	3,809,799.92	142,406.19

ตารางที่ 10 ค่าใช้จ่ายสุทธิตลอดอายุการใช้งานของระบบหม้อไอน้ำ

ปีที่	มูลค่าลงทุนเริ่มต้น	ค่าประกัน	มูลค่าซาก	ค่าพลังงานไฟฟ้า	ค่าซ่อมบำรุง
0	7,612,800.00				
1		76,128.00		1,366,207.43	25,000.00
2		76,128.00		1,502,828.17	27,500.00
3		76,128.00		1,653,110.99	30,250.00
4		76,128.00		1,818,422.09	33,275.00
5		76,128.00		2,000,264.30	36,602.50
6		76,128.00		2,200,290.73	40,262.75
7		76,128.00		2,420,319.80	44,289.03
8		76,128.00		2,662,351.78	48,717.93
9		76,128.00		2,928,586.96	53,589.72
10		76,128.00		3,221,445.66	58,948.69
11		76,128.00		3,543,590.22	64,843.56
12		76,128.00		3,897,949.24	71,327.92
13		76,128.00		4,287,744.17	78,460.71
14		76,128.00		4,716,518.58	86,306.78
15		76,128.00	507,520.00	5,188,170.44	94,937.46

ตารางที่ 11 ค่าใช้จ่ายสุทธิตลอดอายุการใช้งานของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ปีที่	มูลค่าลงทุนเริ่มต้น	ค่าประกัน	มูลค่าซาก	ค่าพลังงานไฟฟ้า	ค่าซ่อมบำรุง
0	10,958,250.00				
1		109,582.50		962,103.92	78,750.00
2		109,582.50		1,010,209.12	105,375.00
3		109,582.50		1,060,719.58	136,537.50
4		109,582.50		1,113,755.56	172,878.75

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ปีที่	มูลค่าลงทุนเริ่มต้น	ค่าประกัน	มูลค่าซาก	ค่าพลังงานไฟฟ้า	ค่าซ่อมบำรุง
5		109,582.50		1,169,443.33	215,122.88
6		109,582.50		1,227,915.50	264,087.04
7		109,582.50		1,289,311.27	320,692.80
8		109,582.50		1,353,776.84	385,978.85
9		109,582.50		1,421,465.68	461,115.18
10		109,582.50		1,492,538.96	547,418.99
11		109,582.50		1,567,165.91	646,372.41
12		109,582.50		1,645,524.21	759,642.32
13		109,582.50		1,727,800.42	889,102.49
14		109,582.50		1,814,190.44	1,036,858.27
15		109,582.50	730,550.00	1,904,899.96	1,205,274.19

2.4 ผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงิน

ในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงินของโครงการจะทำการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินมาทำการวิเคราะห์โดยใช้ตัวชี้วัดความคุ้มค่าของโครงการ 3 ตัว คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio : BCR) และอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return : IRR)

จากการวิเคราะห์โดยใช้ตัวชี้วัดความคุ้มค่าของโครงการ 4 ตัว คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio : BCR) อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return : IRR) และ ระยะเวลาในการคืนทุน (Simple Payback Period :SPP) ตามสมการที่กำหนดไว้พบว่าทุกกรณีมีคุ้มค่าทางการเงิน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 การผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแทนการใช้น้ำมันเตา

การผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแทนการใช้น้ำมันเตาไม่มีความเป็นไปได้ทางการเงิน คือ โครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 3,609,877.74 บาท อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) เท่ากับ 1.50 อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) เท่ากับ 18.05% และระยะเวลาการคืนทุน (SPP) เท่ากับ 10.15 ปี ดังแสดงในตารางที่ 12 โดยสามารถสรุปการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของโครงการ จากตัวชี้วัดแต่ละตัว ได้ดังนี้

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) ของโครงการมีมูลค่าเท่ากับ 3,609,877.74 บาท หมายความว่า การลงทุนในการผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแทนการใช้น้ำมันเตาในโรงแรม เมื่อสิ้นสุดโครงการแล้วจะมีมูลค่าในปัจจุบันของผลตอบแทนที่หักลบกับต้นทุนแล้วมีมูลค่าเท่ากับ 3,609,877.74 บาท ซึ่งแสดงว่าโครงการนี้สมควรที่จะลงทุนเพราะเป็นโครงการที่ได้รับผลตอบแทนมากกว่าต้นทุนและมีค่า NPV มากกว่า 0

อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio : BCR) ของโครงการมีค่าเท่ากับ 1.50 หมายความว่า การลงทุนในการลงทุนการผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแทนการใช้น้ำมันเตาในโรงแรมเมื่อสิ้นสุดโครงการแล้วจะมีอัตราส่วนของผลตอบแทนที่มากกว่าต้นทุนที่ปรับให้เป็นมูลค่าในปัจจุบันแล้ว 1.50 เท่า ซึ่งแสดงว่าโครงการสมควรที่จะลงทุนเพราะเป็นโครงการที่มีค่า BCR มากกว่า 1

อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return : IRR) ของโครงการมีค่าเท่ากับ 18.05% หมายความว่า อัตราดอกเบี้ยของเงินทุนที่นำมาใช้ในการลงทุนในการลงทุนการผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแทนการใช้น้ำมันเตาในโรงแรมมีค่าเพิ่มขึ้น 18.05% หรือแสดงว่าแม้ว่าจะต้องเสียอัตราดอกเบี้ย โครงการก็ให้ผลตอบแทนที่มากกว่าต้นทุน ดังนั้นจึงมีความคุ้มค่าในการลงทุน

ระยะเวลาในการคืนทุน (Simple Payback Period :SPP) ของโครงการมีค่าเท่ากับ 10.15 ปีหมายความว่า มูลค่าของผลการประหยัดเมื่อใช้งานระบบปั๊มความร้อนแทนแทนการใช้น้ำมันเตาในโรงแรมระยะเวลาในการคืนทุนเมื่อใช้งานระบบผ่านไปเวลา 10.15 ปี ซึ่งมีค่าน้อยกว่าอายุการใช้งานของระบบ จึงถือว่าคุ้มค่าในการลงทุน

ตารางที่ 12 ต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินการผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแทนบอยเลอร์น้ำมันเตา

ปีที่	ต้นทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปลี่ยนมาใช้ระบบปั๊มความร้อนแทนบอยเลอร์น้ำมันเตา	ค่าใช้จ่ายในการประกันระบบต่อปีที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปลี่ยนมาใช้ระบบปั๊มความร้อนแทนบอยเลอร์น้ำมันเตา	ผลประโยชน์	อัตราคิดลด 11.75%	มูลค่าปัจจุบันของต้นทุน (PVC)	มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ (PVB)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิรายปี	มูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสม
0	6,757,200	0.00	0.00	1.00	6,757,200.00	0.00	-6,757,200.00	-6,757,200.00
1		67,572	729,804.81	0.89	60,467.11	653,069.18	592,602.07	-6,164,597.93
2		67,572	834,855.43	0.80	54,109.27	668,522.78	614,413.51	-5,550,184.42
3		67,572	952,014.61	0.72	48,419.93	682,183.19	633,763.26	-4,916,421.16
4		67,572	1,082,573.39	0.64	43,328.80	694,172.20	650,843.40	-4,265,577.76
5		67,572	1,227,955.91	0.57	38,772.97	704,604.02	665,831.04	-3,599,746.71
6		67,572	1,389,732.95	0.51	34,696.17	713,585.74	678,889.57	-2,920,857.15
7		67,572	1,569,636.76	0.46	31,048.03	721,217.80	690,169.77	-2,230,687.38
8		67,572	1,769,577.47	0.41	27,783.47	727,594.37	699,810.89	-1,530,876.48
9		67,572	1,991,661.12	0.37	24,862.17	732,803.71	707,941.54	-822,934.94
10		67,572	2,238,209.42	0.33	22,248.02	736,928.58	714,680.56	-108,254.39
11		67,572	2,511,781.66	0.29	19,908.75	740,046.54	720,137.80	611,883.41
12		67,572	2,815,198.69	0.26	17,815.43	742,230.28	724,414.85	1,336,298.26
13		67,572	3,151,569.36	0.24	15,942.22	743,547.91	727,605.69	2,063,903.95
14		67,572	3,524,319.65	0.21	14,265.97	744,063.23	729,797.26	2,793,701.21
15		67,572	4,387,704.63	0.19	12,765.97	828,942.50	816,176.53	3,609,877.74
รวม (บาท)					7,223,634.30	10,833,512.05		
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ : NPV (บาท)						3,609,877.74		
อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน : BCR						1.50		
อัตราผลประโยชน์ภายในโครงการ : IRR (%)						18.05%		
ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)						10.15		

หมายเหตุ อัตราคิดลดร้อยละ 11.75 ต่อปี ณ วันที่ 6 มิถุนายน พ.ศ. 2551 จากอัตราดอกเบี้ยของธนาคารกรุงไทย

กรณีที่ 2 การผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแทนการใช้ขดลวดไฟฟ้า

การผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความแทนการใช้ขดลวดไฟฟ้าในโรงแรมไม่มีความเป็นไปได้ทางการเงิน คือโครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 2,213,132.74 บาท อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) เท่ากับ 1.23 อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) เท่ากับ 15.48% และระยะเวลาการคืนทุน (SPP) เท่ากับ 10.97 ปี ดังแสดงในตารางที่ 9 โดยสามารถสรุปการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของโครงการ จากตัวชี้วัดแต่ละตัว ได้ดังนี้

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) ของโครงการมีมูลค่าเท่ากับ 2,213,132.74บาทหมายความว่า การลงทุนในการผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแทนการใช้ขดลวดไฟฟ้าในโรงแรม เมื่อสิ้นสุดโครงการแล้วจะมีมูลค่าในปัจจุบันของผลตอบแทนที่หักลบกับต้นทุนแล้วมีมูลค่า 2,213,132.74 บาท ซึ่งแสดงว่าโครงการนี้สมควรที่จะลงทุนเพราะเป็นโครงการที่ได้รับผลตอบแทนน้อยกว่าต้นทุนและมีค่า NPV มากกว่า 0

อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio : BCR) ของโครงการมีค่าเท่ากับ 1.23 หมายความว่า การลงทุนในการผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแทนการใช้ขดลวดไฟฟ้าในโรงแรม เมื่อสิ้นสุดโครงการแล้วจะมีอัตราส่วนของผลตอบแทนที่มากกว่าต้นทุนที่ปรับให้เป็นมูลค่าในปัจจุบันแล้ว 1.23 เท่า ซึ่งแสดงว่าโครงการสมควรที่จะลงทุนเพราะเป็นโครงการที่มีค่า BCR มากกว่า 1

อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return : IRR) ของโครงการมีค่า15.48% เท่ากับ หมายความว่า อัตราดอกเบี้ยของเงินทุนที่นำมาใช้ในการลงทุนในการลงทุนการผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแทนการใช้การใช้ขดลวดไฟฟ้าในโรงแรมสามารถเพิ่มขึ้นได้15.48% หรือแสดงว่าถ้าหากอัตราดอกเบี้ยของเงินทุนที่นำมาลงทุนยังอยู่ในระดับต่ำกว่า 15.48% ซึ่งแสดงว่าโครงการนี้สมควรที่จะลงทุน

ระยะเวลาในการคืนทุน (Simple Payback Period :SPP) ของโครงการมีค่าเท่ากับ 10.15 ปีหมายความว่า มูลค่าของผลการประหยัดเมื่อใช้งานระบบปั๊มความร้อนแทนแทนการใช้ขดลวดไฟฟ้าในโรงแรมระยะเวลาในการคืนทุนเมื่อใช้งานระบบผ่านไปเวลา 10.97 ปี ซึ่งมีค่าน้อยกว่าอายุการใช้งานของระบบ จึงถือว่าคุ้มค่าในการลงทุน

ตารางที่ 13 ต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของการผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแทนการใช้ขดลวดไฟฟ้า

ปีที่	ต้นทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปลี่ยนมาใช้ระบบปั๊มความร้อนแทนขดลวดไฟฟ้า	ค่าใช้จ่ายในการประกันระบบต่อปีที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปลี่ยนมาใช้ระบบปั๊มความร้อนแทนขดลวดไฟฟ้า	ผลประโยชน์	อัตราคิดลด 11.75%	มูลค่าปัจจุบันของต้นทุน (PVC)	มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ (PVB)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิรายปี	มูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสม
0	9,028,500	0.00	0.00	1.00	9,028,500.00	0.00	-9,028,500.00	-9,028,500.00
1		90,285	1,300,305.23	0.89	80,791.95	1,163,584.10	1,082,792.15	-7,945,707.85
2		90,285	1,366,195.49	0.80	72,297.04	1,094,001.17	1,021,704.12	-6,924,003.72
3		90,285	1,435,467.77	0.72	64,695.34	1,028,610.26	963,914.91	-5,960,088.81
4		90,285	1,508,299.91	0.64	57,892.92	967,158.33	909,265.41	-5,050,823.40
5		90,285	1,584,879.53	0.57	51,805.75	909,407.64	857,601.89	-4,193,221.51
6		90,285	1,665,404.59	0.51	46,358.61	855,134.77	808,776.16	-3,384,445.35
7		90,285	1,750,084.02	0.46	41,484.22	804,129.84	762,645.62	-2,621,799.73
8		90,285	1,839,138.33	0.41	37,122.34	756,195.59	719,073.25	-1,902,726.48
9		90,285	1,932,800.38	0.37	33,219.10	711,146.73	677,927.63	-1,224,798.84
10		90,285	2,031,316.04	0.33	29,726.26	668,809.11	639,082.85	-585,716.00
11		90,285	2,134,945.04	0.29	26,600.68	629,019.13	602,418.44	16,702.45
12		90,285	2,243,961.82	0.26	23,803.74	591,623.04	567,819.30	584,521.75
13		90,285	2,358,656.39	0.24	21,300.89	556,476.42	535,175.53	1,119,697.28
14		90,285	2,479,335.33	0.21	19,061.20	523,443.52	504,382.32	1,624,079.60
15		90,285	3,208,222.84	0.19	17,057.00	606,110.14	589,053.14	2,213,132.74
รวม (บาท)					9,651,717.03	11,864,849.77		
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ : NPV (บาท)						2,213,132.74		
อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน : BCR						1.23		
อัตราผลประโยชน์ภายในโครงการ : IRR (%)						15.48%		
ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)						10.97		

หมายเหตุ อัตราคิดลดร้อยละ 11.75 ต่อปี ณ วันที่ 6 มิถุนายน พ.ศ. 2551 จากอัตราดอกเบี้ยของธนาคารกรุงไทย

กรณีที่ 3 การผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแทนการใช้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

การผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแทนการใช้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ในโรงแรมไม่มีความเป็นไปได้ทางการเงิน คือโครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) 1,305,104.64 บาท อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) เท่ากับ 1.37 อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) เท่ากับ 16.74 % และระยะเวลาการคืนทุน (SPP) เท่ากับ 10.91 ปี ดังแสดงในตารางที่ 10 โดยสามารถสรุปการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของโครงการ จากตัวชี้วัดแต่ละตัว ได้ดังนี้

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) ของโครงการมีมูลค่าเท่ากับ 1,305,104.64 บาท หมายความว่า การลงทุนในการผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแทนการใช้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในโรงแรม เมื่อสิ้นสุดโครงการแล้วจะมีมูลค่าในปัจจุบันของผลตอบแทนที่หักลบกับต้นทุน แล้วมีมูลค่า 1,305,104.64 บาท ซึ่งแสดงว่าโครงการนี้สมควรที่จะลงทุนเพราะเป็นโครงการที่ได้รับผลตอบแทนมากกว่าต้นทุนและมีค่า NPV มากกว่า 0

อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio : BCR) ของโครงการมีค่าเท่ากับ 1.37 หมายความว่า การลงทุนในการผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแทนการใช้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในโรงแรม เมื่อสิ้นสุดโครงการแล้วจะมีอัตราส่วนของผลตอบแทนที่มากกว่าต้นทุนที่ปรับให้เป็นมูลค่าในปัจจุบัน 1.37 เท่า ซึ่งแสดงว่าโครงการสมควรที่จะลงทุนเพราะเป็นโครงการที่มีค่า BCR มากกว่า 1

อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return : IRR) ของโครงการมีค่า 16.74 % เท่ากับ หมายความว่า อัตราดอกเบี้ยของเงินทุนที่นำมาใช้ในการลงทุนในการลงทุนการผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแทนการใช้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในโรงแรมมีค่าเพิ่มขึ้น 16.74 % โครงการนี้ให้ผลตอบแทนที่มากกว่าต้นทุน ดังนั้นจึงมีความคุ้มค่าในการลงทุน

ระยะเวลาในการคืนทุน (Simple Payback Period :SPP) ของโครงการมีค่าเท่ากับ 10.91 ปีหมายความว่า มูลค่าของผลการประหยัดเมื่อใช้งานระบบปั๊มความร้อนแทนแทนการใช้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในโรงแรมระยะเวลาในการคืนทุนเมื่อใช้งานระบบผ่านไปเวลา 10.91 ปี ซึ่งมีค่าน้อยกว่าอายุการใช้งานของระบบ จึงถือว่าคุ้มค่าในการลงทุน

ตารางที่ 14 ต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของการผลิตน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแทนการใช้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ปีที่	ต้นทุนเริ่มแรกที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปลี่ยนมาใช้ระบบปั๊มความร้อนแทนระบบพลังงานแสงอาทิตย์	ค่าใช้จ่ายในการประกันระบบต่อปีที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปลี่ยนมาใช้ระบบปั๊มความร้อนแทนระบบพลังงานแสงอาทิตย์	ผลประโยชน์	อัตราคิดลด 11.75%	มูลค่าปัจจุบันของต้นทุน (PVC)	มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ (PVB)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิรายปี	มูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสม
0	3,411,750	0.00	0.00	1.00	3,411,750.00	0.00	-3,411,750.00	-3,411,750.00
1		34,118	379,451.31	0.89	30,530.20	339,553.74	309,023.54	-3,102,726.46
2		34,118	420,111.37	0.80	27,320.09	336,410.37	309,090.28	-2,793,636.18
3		34,118	465,910.69	0.72	24,447.51	333,856.69	309,409.18	-2,484,227.00
4		34,118	517,510.60	0.64	21,876.97	331,840.30	309,963.33	-2,174,263.67
5		34,118	575,655.32	0.57	19,576.70	330,312.39	310,735.69	-1,863,527.98
6		34,118	641,182.00	0.51	17,518.30	329,227.52	311,709.22	-1,551,818.76
7		34,118	715,032.01	0.46	15,676.33	328,543.41	312,867.08	-1,238,951.68
8		34,118	798,263.46	0.41	14,028.04	328,220.72	314,192.68	-924,759.00
9		34,118	892,065.30	0.37	12,553.05	328,222.89	315,669.83	-609,089.17
10		34,118	997,773.03	0.33	11,233.16	328,515.94	317,282.78	-291,806.39
11		34,118	1,116,886.20	0.29	10,052.04	329,068.32	319,016.28	27,209.89
12		34,118	1,251,088.06	0.26	8,995.12	329,850.77	320,855.65	348,065.54
13		34,118	1,402,267.40	0.24	8,049.32	330,836.12	322,786.80	670,852.34
14		34,118	1,572,543.00	0.21	7,202.97	331,999.24	324,796.26	995,648.60
15		34,118	1,991,740.87	0.19	6,445.61	376,287.56	369,841.95	1,365,490.55
รวม (บาท)					3,647,255.42	5,012,745.97		
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ : NPV (บาท)						1,365,490.55		
อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน : BCR						1.37		
อัตราผลประโยชน์ภายในโครงการ : IRR (%)						16.74%		
ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)						10.91		

หมายเหตุ อัตราคิดลดร้อยละ 11.75 ต่อปี ณ วันที่ 6 มิถุนายน พ.ศ. 2551 จากอัตราดอกเบี้ยของธนาคารกรุงไทย

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ- นามสกุล	นายบุญรฤทธิ์ ไร่สูงเนิน
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาเครื่องกลวิศวกรรม มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2536
ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน	วิศวกรโครงการ บริษัท เอม อี ซี ที จำกัด เลขที่ 252/144 ถนนพหลโยธิน 32 (อาคารชุดสายลมสวีท) เขตจัตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

DPU