



บทคัดย่อ

การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตน้ำร้อนของอาคารธุรกิจประเภทโรงแรมมีอุปสรรคในด้านต้นทุนอุปกรณ์ที่ยังมีราคาสูง ส่งผลให้การคืนทุนช้ากว่าการใช้เทคโนโลยีชนิดอื่น ดังนั้นหากนำระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสานที่ใช้แหล่งความร้อนเหลือทิ้งมาใช้ในการผลิตน้ำร้อนควบคู่กับพลังงานแสงอาทิตย์ ก็จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการผลิตน้ำร้อน รวมทั้งมีผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการพิจารณาคัดเลือกระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสานมาใช้กับอาคารธุรกิจประเภทโรงแรม จำเป็นต้องทำการศึกษานาถของระบบให้เหมาะสม ทั้งทางด้านเทคนิคและทางด้านผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อให้การออกแบบระบบสามารถรองรับการผลิตน้ำร้อนที่เพียงพอต่อลูกค้าที่เข้าพัก รวมทั้งยังให้ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่ดีอีกด้วย โดยการศึกษาความเป็นไปได้ของงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษารออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสานของโรงแรมตัวอย่างในเขตอำเภอกลาง จังหวัดภูเก็ต ซึ่งมีการประกอบธุรกิจอุตสาหกรรมบริการอย่างหนาแน่น

จากการศึกษาพบว่า ระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสานที่เหมาะสมกับโรงแรมตัวอย่าง เป็นการออกแบบขนาดของระบบที่ 25% ของความต้องการน้ำร้อนทั้งหมด โดยติดตั้งตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ขนาด 40 m² รวมกับความร้อนทิ้งจากเครื่องปรับอากาศจำนวน 2 ชุด ผลิตน้ำร้อนรวมได้วันละ 2,987 ลิตร/วัน เป็นปริมาณน้ำร้อนที่ผลิตได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ 2,375 ลิตร/วัน และปริมาณน้ำร้อนที่ผลิตได้จากความร้อนเหลือทิ้ง 612 ลิตร/วัน ใช้เงินลงทุนเริ่มต้น 556,500 บาท ค่าใช้จ่ายรายปี 5,021 บาท/ปี เป็นค่าดูแลรักษาและซ่อมบำรุง โดยมีผลตอบแทนทางการเงินเท่ากับ 16.4% และระยะเวลาคืนทุน 3.74 ปี ผลประโยชน์ตลอดอายุโครงการ 15 ปี มีมูลค่า 2,179,618 บาท แบ่งเป็นผลประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ 1,664,883 บาท ผลประโยชน์จากความร้อนเหลือทิ้ง 451,735 บาท และผลประโยชน์จากการลดการปลดปล่อย CO₂ 63,000 บาท

คำสำคัญ: ระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสาน, ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม krittidejd@siamtechno.ac.th



Abstract

The use of solar energy for hot water production of hotel buildings. There is a cost problem with expensive equipment. As a result, payback is slower than other types of technology. So, if the solar water heater is combined with waste heat, it will be used to produce hot water in combination with solar energy. It will make the system stable to produce hot water with more economic returns. However, the selection of integrated solar water heater for hotel buildings is important to study the size of the system. Both technical and economic returns. In order for the system design to support the production of adequate hot water for the guests staying. It also provides a good return on the economy. By studying the feasibility of this research, we have studied the design of Integrated Solar Water Heater with the combination of sample hotels in Phuket province which has a heavy industry service business.

According to studies, it has been found that the Hybrid solar water heater system of sample hotels is a 25% system design by installing a 40 m² together with Waste Heat from 2 Air Conditioner, one unit produces 2,987 liters of hot water per day, 2,375 liters per day of hot water and 612 liters of hot water per day. Using initial investment of 556,500 baht, annual cost of 5,021 baht/year is maintenance and maintenance fee. With a financial return of 15.6% and a payback period of 3.85 years, the benefits throughout the 15-year life of the project are valued at 2,179,618 baht, including solar energy benefits of 1,664,883 baht, waste heat benefits of 451,735 baht, and benefits from Reduce CO₂ emissions of 63,000 baht

Keywords: Hybrid Solar Water Heater, Economic Return

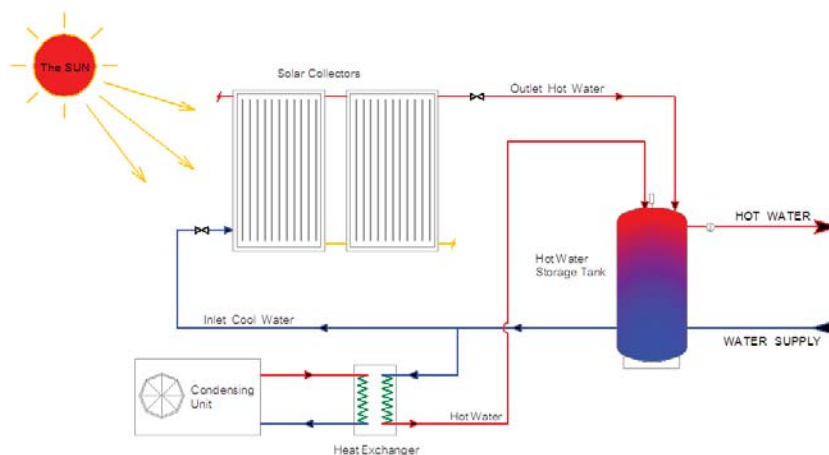


บทนำ

อุตสาหกรรมโรงแรมมีความต้องการพลังงานในการผลิตน้ำร้อนในปริมาณที่สูงเพื่อใช้ในการให้บริการซักล้าง หรือประกอบอาหาร น้ำร้อนที่ใช้ในโรงแรมโดยทั่วไปสามารถผลิตได้จากการเผาเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นแหล่งความร้อนหรือผลิตจากความร้อนจากพลังงานไฟฟ้าโดยตรง แต่ด้วยปัญหาราคาต้นทุนพลังงานในปัจจุบันที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตและใช้พลังงานเป็นแรงผลักดันให้เกิดแนวคิดในการนำพลังงานทดแทนมาใช้เพื่อการผลิตความร้อน ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานที่ฟรี สะอาด และใช้แล้วไม่มีวันหมดไป แม้ว่าการใช้เทคโนโลยีการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้อย่างดีต้องมีการลงทุนที่สูง แต่ด้วยต้นทุนพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นศูนย์ ทำให้ไม่มีความแปรปรวนด้านต้นทุน

เชื้อเพลิง เพราะแม้จะมีการใช้มากขึ้นราคาแสงอาทิตย์ก็จะไม่สูงขึ้นตาม ซึ่งต่างกับกรณีต้นทุนเชื้อเพลิงฟอสซิล หรือ เชื้อเพลิง และทำให้เป็นข้อได้เปรียบของพลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตน้ำร้อนได้โดยใช้ ตัวรับรังสีอาทิตย์ (Solar Collector) ซึ่งตัวรับรังสีอาทิตย์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency) อยู่ระหว่าง 40-60% ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิใช้งาน แต่เนื่องจากการใช้พลังงานแสงอาทิตย์มีอุปสรรคในส่วนของเงินทุนด้านเทคโนโลยี และอุปกรณ์ที่ยังมีราคาสูง และมีจำนวนชั่วโมงการทำงานที่สั้นกว่าพลังงานชนิดอื่นๆ ส่งผลให้การคืนทุนช้ากว่าการใช้เทคโนโลยีชนิดอื่น ดังนั้นแนวทางหนึ่งที่จะสามารถช่วยทำให้เอาชนะอุปสรรคนี้ได้คือ การหาแหล่งพลังงานอื่นมาช่วยในการผลิตน้ำร้อน เนื่องจากในกิจการโรงแรมมีแหล่งพลังงานความร้อนที่เหลือทิ้งอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งอาจมาจากการทำงานของชุดระบายความร้อนของระบบปรับอากาศ และตู้แช่ รวมถึงความร้อนจาก ปล่องไอเสียของหม้อไอน้ำ (Boiler) ดังนั้นหากสามารถนำแหล่งพลังงานเหล่านี้มาใช้ในการผลิตน้ำร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ ก็จะทำให้ระบบมีความมั่นคงในการผลิตน้ำร้อนมากขึ้น ในกรณีที่ไม่มีแสงแดดระบบผลิตน้ำร้อนก็ยังสามารถทำงานได้ด้วยพลังงานจากความร้อนเหลือทิ้ง ระบบดังกล่าวยังมีส่วนช่วยให้ระบบปรับอากาศ ตู้แช่ หรือหม้อไอน้ำ มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ในทางเศรษฐศาสตร์การลงทุนระบบผลิตน้ำร้อนแบบผสมผสานจะมีระยะเวลาคืนทุนของระบบสั้นลงและเหมาะสมคุ้มค่ากับการลงทุน นอกจากนี้ การใช้ระบบผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานความร้อนเหลือทิ้งยังช่วยเสริมภาพลักษณ์ของโรงแรมในด้านการส่งเสริมการใช้พลังงานที่สะอาด ช่วยลดมลภาวะ และยังเป็นการสนับสนุนนโยบายและแผนการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนของภาครัฐอีกด้วย



รูปที่ 1 ระบบผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานความร้อนเหลือทิ้ง

ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้ จึงมุ่งเน้นการศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ ด้วยระบบผสมผสานกับอาคารประเภทโรงแรม โดยคัดเลือกโรงแรมตัวอย่างในเขตอำเภอกลาง จังหวัดภูเก็ต ซึ่งมีการประกอบธุรกิจอุตสาหกรรมบริการอย่างหนาแน่น โดยการศึกษาความเป็นไปได้นี้จะพิจารณาการนำเทคโนโลยีตัวรับรังสีอาทิตย์ (Solar Collector) มาผลิตน้ำร้อนควบคู่กับการใช้ระบบความร้อนเหลือทิ้ง

ซึ่งเลือกใช้เทคโนโลยีการนำความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องปรับอากาศ เนื่องจากโรงแรมส่วนใหญ่มีการใช้งานระบบปรับอากาศซึ่งมีศักยภาพในการนำความร้อนเหลือทิ้งมาผลิตเป็นน้ำร้อนได้ดี



วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสานเพื่อการประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรมบริการประเภทโรงแรม

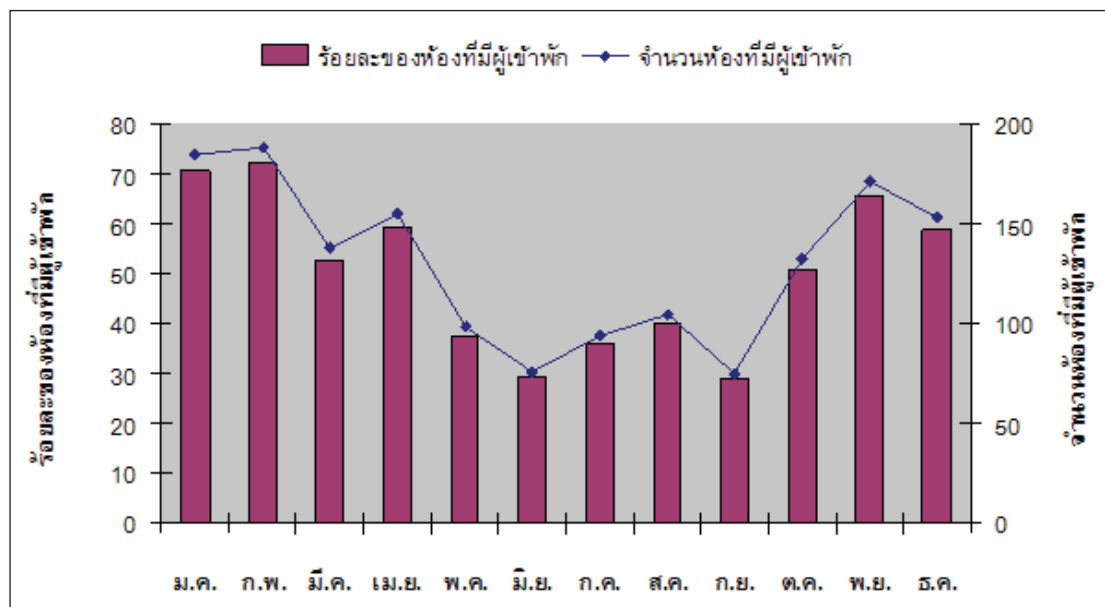
ขอบเขตของการวิจัย

ด้านพื้นที่ โรงแรมตัวอย่างในเขตพื้นที่อำเภอกลาง จังหวัดอุตรดิตถ์



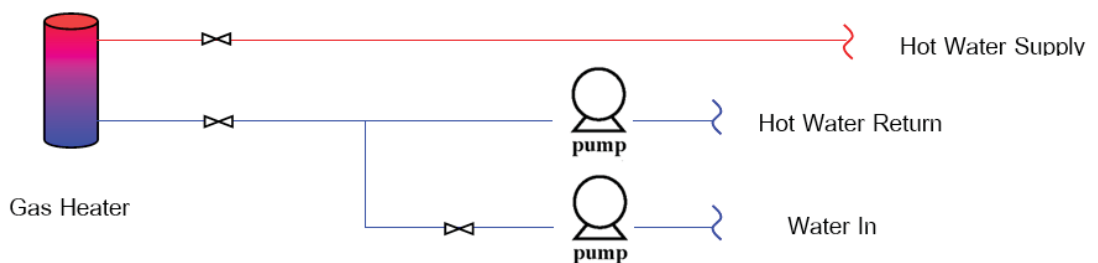
วิธีดำเนินการวิจัย

โรงแรมแห่งหนึ่งในอำเภอกลาง จังหวัดอุตรดิตถ์ เป็นโรงแรมขนาด 96 ห้อง มีลักษณะเป็นอาคาร Low Rise Tower มีผู้เข้าพักตลอดทั้งปีเฉลี่ยในปี 2559 อยู่ที่ประมาณ 50.12%



รูปที่ 2 ข้อมูลผู้เข้าพักของโรงแรม

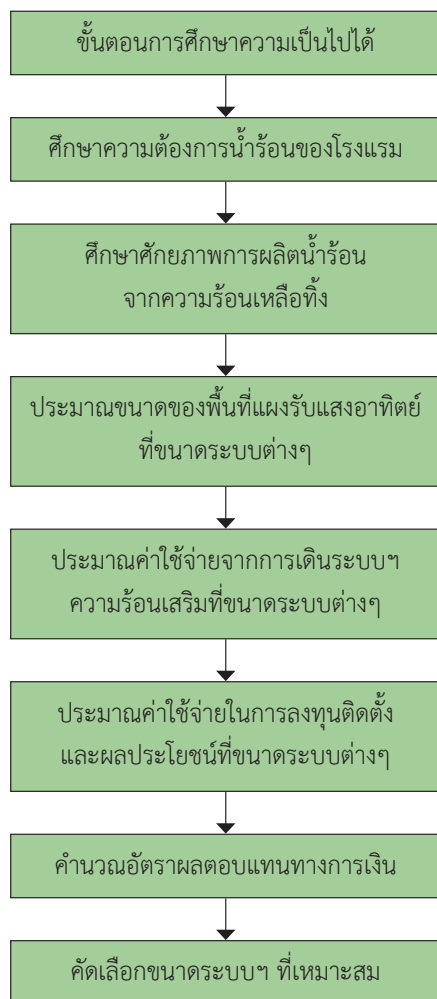
ปัจจุบันน้ำร้อนที่ใช้ให้บริการกับลูกค้าที่เข้าพักผลิตจาก Gas Heater ขนาด 35 kW จำนวน 6 เครื่อง ใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิงในการทำน้ำร้อนสำหรับห้องพักและซักรีด โดยอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ใช้งานประมาณ 60°C ปัจจุบันระบบได้ใช้งานมานานหลายปีและทางโรงแรมมีนโยบายที่ต้องการปรับปรุงระบบผลิตน้ำร้อน เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำร้อนลง จึงมีแนวทางในการนำระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสาน โดยจะใช้แสงอาทิตย์ร่วมกับการใช้ความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องปรับอากาศขนาด 18,000 btu/h จำนวน 2 ชุด ซึ่งจากการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนจากความร้อนเหลือทิ้งของเครื่องปรับอากาศจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนของเครื่องปรับอากาศ เป็นการประหยัดพลังงานได้อีกทางหนึ่ง



รูปที่ 3 การผลิตน้ำร้อนเดิมของโรงแรม

ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสาน จะทำการศึกษาความเป็นไปได้ของระบบฯ โดยทำการศึกษาปัจจัยที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาระบบที่เหมาะสมกับความต้องการใช้น้ำร้อนของโรงแรมฯ ทั้งในการออกแบบขนาดของระบบฯ และค่าใช้จ่ายในการลงทุนและค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาระบบฯ ซึ่งจะกำหนดขนาดระบบฯ ให้ครอบคลุมกับความต้องการใช้น้ำร้อนทั้งหมดของโรงแรมในแต่ละวัน คิดเป็นขนาดระบบที่ 100% และทำการศึกษาเพิ่มเติม โดยจำลองขนาดของระบบฯ ที่มีขนาดเล็กลงมาตั้งแต่ 90% 75% 60% 50% 40% 30% และ 25% ของความต้องการน้ำร้อนตามลำดับ จากนั้นจึงมาคัดเลือกขนาดของระบบฯ ที่เหมาะสมจากการพิจารณาอัตราผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ (Finance Internal Rate of Return : FIRR) ของแต่ละระบบฯ เพื่อหาความคุ้มค่าและเหมาะสมของระบบฯ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการติดตั้งระบบจริงในอนาคตต่อไป

สำหรับขั้นตอนในการศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสาน จะมีขั้นตอนในการศึกษาดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ขั้นตอนในการศึกษาความเป็นไปได้ฯ

สมการที่ใช้ในการออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสาน จะใช้สมการในการออกแบบดังต่อไปนี้

$$\eta_c = \frac{\dot{m} C_p \Delta T}{I_T A_c} \quad (1)$$

โดยที่

η_c คือ ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ (%)

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลของน้ำร้อน (kg/s)

C_p คือ ค่าความจุความร้อนของน้ำ (kJ/kg.°C)

ΔT คือ อุณหภูมิแตกต่างระหว่างน้ำเย็นและน้ำร้อน (°C)

I_T คือ ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m²)

A_c คือ พื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์ (W/m²)

และการออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนจากความร้อนเหลือทิ้ง จะใช้สมการในการออกแบบดังต่อไปนี้

$$\dot{m}_{WHE} = \frac{C_p \Delta T G \eta_{HEX}}{Q_{WHE}} \quad (2)$$

โดยที่

$\dot{m}_{WHE}$ คือ ปริมาณน้ำที่ผลิตได้จากความร้อนเหลือทิ้งของระบบปรับอากาศ (kg/day)

Q_{WHE} คือ ขนาดของเครื่องปรับอากาศ (btu/h)

C_p คือ ค่าความจุความร้อนของน้ำ (kJ/kg.°C)

DT คือ อุณหภูมิแตกต่างระหว่างน้ำเย็นและน้ำร้อน (°C)

η_{HEX} คือ ประสิทธิภาพเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 75%

G คือ ความร้อนของสารทำความเย็นช่วง Superheat Steam ของสารทำความเย็นที่สามารถนำมาผลิตน้ำร้อนได้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 30%

สำหรับการคำนวณมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิตลอดอายุของโครงการ เพื่อหาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{Benefit}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{Cost}{(1+i)^t} \quad (3)$$

โดยที่

NPV คือ มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิตลอดอายุของโครงการ (บาท)

$Benefit$ คือ มูลค่าผลตอบแทนในปีที่ t (บาท)

$Cost$ คือ มูลค่าของต้นทุนในปีที่ t (บาท)

i คือ อัตราคิดลด (Discount Rate) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 7.75%

t คือ ปีของโครงการ

n คือ อายุของโครงการ (ปี)

สำหรับการคำนวณอัตราผลตอบแทนทางการเงิน เพื่อหาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$FIRR = \sum_{t=0}^n \frac{Benefit}{(1+FIRR)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{Cost}{(1+FIRR)^t} \quad (4)$$

โดยที่

$FIRR$ คือ อัตราผลตอบแทนทางการเงิน (%)

$Benefit$ คือ มูลค่าผลตอบแทนในปีที่ t (บาท)

$Cost$ คือ มูลค่าของต้นทุนในปีที่ t (บาท)

t คือ ปีของโครงการ

n คือ อายุของโครงการ (ปี)

สำหรับการคำนวณระยะเวลาคืนทุน เพื่อหาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี}} \quad (5)$$

โดยมีสมมติฐานที่ใช้ในการคำนวณความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ดังต่อไปนี้

- ราคา LPG = 18.65 บาท/kg
- Discount Rate = 7.75%
- อายุการใช้งานระบบ 15 ปี
- ปริมาณการปลดปล่อย CO₂ จากการเผาไหม้ LPG = 0.00143 ตัน/ลิตร
- ราคาขาย CO₂ = 10 US\$/ton
- อัตราแลกเปลี่ยนเงิน 1 US\$ = 30 บาท
- ประสิทธิภาพของ Boiler = 70%
- ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ = 50%
- ค่าใช้จ่ายต่อตารางเมตรของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ = 12,000 บาท
- ค่าดูแลรักษาและซ่อมบำรุงระบบปีละ 1% ของเงินลงทุน



ผลการวิจัย

จากข้อมูลในตารางที่ 1 เป็นข้อมูลการศึกษาปริมาณความต้องการน้ำร้อนของโรงแรม โดยทำการคำนวณจากจำนวนห้องพักเทียบกับความต้องการน้ำร้อนของห้องพักแขกในแต่ละวัน รวมทั้งประเมินร่วมกับสัดส่วนการเข้าพักสูงสุดของแขกในช่วงที่ทำการศึกษาข้อมูล โดยกำหนดเงื่อนไขอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้ที่ 60 °C ซึ่งจากการคำนวณพบว่าความต้องการน้ำร้อนในแต่ละวันจะอยู่ที่ 11,946 ลิตร/วัน

ตารางที่ 1 ปริมาณความต้องการน้ำร้อนของโรงแรม

จำนวนห้องพัก	96	ห้อง
ความต้องการน้ำร้อนรวมต่อห้อง	150	ลิตร/ห้อง-วัน
อุณหภูมิของน้ำป้อน	25	°C
อุณหภูมิของน้ำร้อน	65	°C
ปริมาณความต้องการน้ำร้อนรวมต่อวัน	14,000	ลิตร
ปริมาณการสูญเสียกับระบบหมุนเวียน คิดที่ 15% ของความต้องการน้ำร้อน	2,160	ลิตร/วัน
ปริมาณการใช้น้ำร้อนรวม (100%)	16,560	ลิตร/วัน
เปอร์เซ็นต์การจำหน่ายห้องพักรายเดือนสูงสุดของปี	72.14	%
ปริมาณการใช้น้ำร้อนรวม (100%)	11,946	ลิตร/วัน

ข้อมูลในตารางที่ 2 เป็นข้อมูลการศึกษาการผลิตน้ำร้อนจากความร้อนเหลือทิ้งของเครื่องปรับอากาศ ด้วยการใช้ Plate Heat Exchanger จำนวน 2 เครื่อง ผลิตน้ำร้อนได้ที่ 60 °C ซึ่งจากการคำนวณพบว่าความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องปรับอากาศสามารถผลิตน้ำร้อนได้ 612 ลิตร/วัน

ตารางที่ 2 การผลิตน้ำร้อนจากความร้อนเหลือทิ้งของระบบปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน	18,000	BTU/h
จำนวน	2	เครื่อง
ชั่วโมงการผลิตน้ำร้อนต่อวัน LF~60-65%	12	ชั่วโมง
ปริมาณความร้อนเหลือทิ้ง	432,000	BTU
ปริมาณความร้อนเหลือทิ้งทั้งหมด	455,784	kJ
ความสามารถการดึงความร้อน	30	%
ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	75	%
ปริมาณน้ำร้อนที่ผลิตได้ (100% Water Heat)	615	ลิตร/วัน
ราคาลงทุนระบบ	76,500	บาท

ข้อมูลในตารางที่ 3 เป็นข้อมูลการผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยแบ่งออกตามขนาดของระบบฯ ตั้งแต่ขนาด 100% และมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยลดขนาดของระบบฯ ลงมาตามลำดับโดยการออกแบบระบบฯ ที่ 100% จะเท่ากับความต้องการน้ำร้อนของโรงแรมทั้งหมด แต่การออกแบบจะยึดปริมาณน้ำร้อนที่ผลิตจากความร้อนเหลือทิ้งของเครื่องปรับอากาศเป็นค่าคงที่ แล้วปรับเปลี่ยนขนาดแผงรับแสงอาทิตย์ให้ปริมาณน้ำร้อนที่ผลิตแปรผันไปตามขนาดของความต้องการน้ำร้อนของระบบฯ

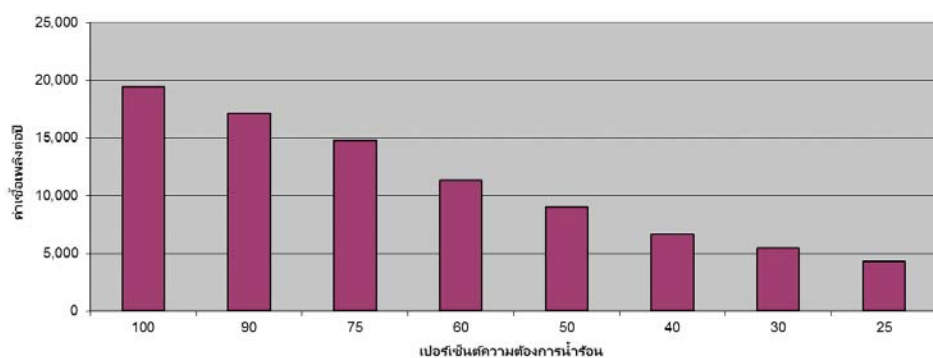
ตารางที่ 3 การผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ปริมาณความต้องการต่างๆ

เปอร์เซ็นต์ความต้องการน้ำร้อน	100%	90%	75%	60%	50%	40%	30%	25%	
ปริมาณการใช้ความร้อน	11,946	10,751	8,960	7,168	5,973	4,778	3,584	2,987	liter/day
ปริมาณน้ำร้อนที่ผลิตได้จากความร้อนเหลือทิ้ง				612					liter/day
ปริมาณน้ำร้อนที่ต้องการจาก Collector	11,334	10,139	8,348	6,556	5,361	4,166	2,972	2,375	liter/day
ปริมาณความร้อนที่ผลิตได้จาก Collector	1,898,218	1,698,147	1,398,039	1,097,932	897,860	697,789	497,717	397,681	kJ/day
ประสิทธิภาพของ Solar Collector				50					%
ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปี				19.94					MJ/m ² - day
ขนาดของพื้นที่ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์	192	172	141	111	91	71	50	40	m ²
ราคาทุนระบบ	2,304,000	2,064,000	1,692,000	1,332,000	1,092,000	852,000	600,000	480,000	บาท

จากการออกแบบระบบฯ ผลิตน้ำร้อนด้วยระบบผสมผสานขนาดต่างๆ ยังพบว่ามีน้ำร้อนในบางช่วงเวลาที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการ จนต้องมีการเดินระบบความร้อนขึ้นมาเพิ่มเติม จึงได้ทำการศึกษาข้อมูลการผลิตน้ำร้อนจากระบบความร้อนเสริม ดังตารางที่ 4 และรูปที่ 5

ตารางที่ 4 ค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำร้อนจากระบบความร้อนเสริม

เปอร์เซ็นต์ความต้องการน้ำร้อน	100	90	75	60	50	40	30	25	%
ค่าใช้จ่ายจากการเดินระบบความร้อนเสริม	19,459	17,150	17,777	11,313	9,004	6,695	5,476	4,322	บาท/ปี



รูปที่ 5 ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบความร้อนเสริม

จากตารางที่ 5 เป็นตารางค่าใช้จ่ายการลงทุนระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสาน ซึ่งแสดงรายละเอียดของค่าใช้จ่ายเริ่มต้นของระบบผลิตน้ำร้อนทั้งในส่วน of ระบบแสงอาทิตย์และระบบผลิตน้ำร้อนจากความร้อนเหลือทิ้งของเครื่องปรับอากาศ รวมทั้งค่าใช้จ่ายรายปีตลอดอายุการใช้งาน (15 ปี) ทั้งค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานและค่าดูแลรักษาระบบฯ พร้อมทั้งแสดงถึงรายละเอียดผลตอบแทนที่จะได้รับจากการใช้งานระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสานในขนาดต่างๆ

ตารางที่ 5 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสาน

เปอร์เซ็นต์ความต้องการน้ำร้อน	100	90	75	60	50	40	30	25	%
พื้นที่ของตัวรับรังสีที่จะติดตั้ง	192	172	141	111	91	71	50	40	m ²
1) เงินลงทุนเริ่มต้น									
1.1) ระบบพลังงานแสงอาทิตย์									
แผงรับรังสีดวงอาทิตย์+ติดตั้ง	2,304,000	2,064,000	1,692,000	1,332,000	1,092,000	852,000	600,000	480,000	บาท
ถังเก็บน้ำร้อน	-	-	-	-	-	-	-	-	บาท
เงินลงทุนในการติดตั้งระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	2,304,000	2,064,000	1,692,000	1,332,000	1,092,000	852,000	600,000	480,000	บาท
1.2) ระบบความร้อนเหลือทิ้ง									
Plate Heat Exchanger*	76,500	76,500	76,500	76,500	76,500	76,500	76,500	76,500	บาท
เงินลงทุนในการติดตั้งชุดแลกเปลี่ยนความร้อนจาก									
เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน	76,500	76,500	76,500	76,500	76,500	76,500	76,500	76,500	บาท
รวมเป็นเงินลงทุนเริ่มต้น	2,380,500	2,140,500	1,768,500	1,408,500	1,168,500	928,500	676,500	556,500	บาท
2) ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (15 ปี)									
ค่าพลังงานในการเดินระบบความร้อนเสริมตลอดอายุการใช้งาน	291,888	257,250	221,654	169,696	135,058	100,419	82,143	64,824	บาท
ค่าดูแลรักษาและซ่อมบำรุง Collector ตลอดอายุการใช้งาน	345,600	309,600	253,800	199,800	163,800	127,800	90,000	72,000	บาท
ค่าดูแลรักษาและซ่อมบำรุง Waste Heat ตลอดอายุการใช้งาน	3,315	3,315	3,315	3,315	3,315	3,315	3,315	3,315	บาท
รวมค่าดูแลรักษาและซ่อมบำรุงตลอดอายุการใช้งาน	345,600	312,915	257,115	203,115	167,115	131,115	93,315	75,315	บาท
รวมค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของระบบรวม	3,017,988	2,710,665	2,247,269	1,781,311	1,470,673	1,160,034	851,958	696,639	บาท
3) ผลประโยชน์ (Benefit) ของระบบ									
Collector Benefit	531,459	475,813	390,784	307,314	251,667	196,021	138,816	110,992	บาท/ปี
Waste Heat Benefit	30,116	30,116	30,116	30,116	30,116	30,116	30,116	30,116	บาท/ปี
CO ₂ Benefit	16,500	14,700	12,300	9,900	8,100	6,600	4,800	4,200	บาท/ปี
รวมผลประโยชน์ (Benefit) ของโครงการ	578,075	520,628	433,200	347,330	289,883	232,736	173,731	145,308	บาท/ปี

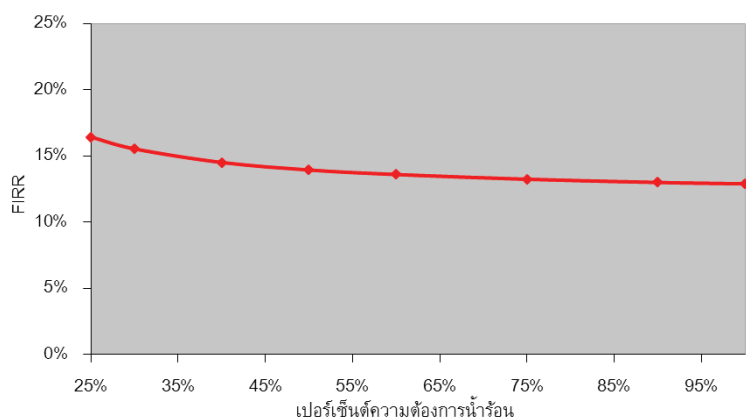


อภิปรายผล

จากตารางที่ 6 และ รูปที่ 6 เป็นข้อมูลสรุปการคำนวณผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ในรูปของค่า FIRR ของระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสานในขนาดของระบบฯ ต่างๆ ซึ่งในกรณีของโรงแรมตัวอย่างจะเห็นว่าค่า FIRR จะแปรผันกับขนาดของระบบฯ ที่มีขนาดใหญ่มากขึ้น

ตารางที่ 6 การคำนวณค่า FIRR ของระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสานที่ % ความต้องการต่างๆ

เปอร์เซ็นต์ความต้องการน้ำร้อน	100%	90%	75%	60%	50%	40%	30%	25%
FIRE	12.9%	13.0%	13.2%	13.6%	13.9%	14.5%	15.5%	16.4%



รูปที่ 6 ค่า FIRR ของระบบฯ ขนาดต่างๆ

จากการวิเคราะห์เพื่อหาความเหมาะสมของปริมาณน้ำร้อนที่ใช้งาน ร่วมกับการพิจารณาถึงระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์แล้วพบว่า การออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสานที่ขนาดของระบบฯ 25% มีค่า FIRR สูงสุดเท่ากับ 16.4% ซึ่งเป็นระบบที่ให้ผลตอบแทนด้านเศรษฐศาสตร์ดีที่สุด

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงินที่ % การออกแบบระบบ 25%

การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงิน ปริมาณความต้องการน้ำร้อน 25%						
Year	Cost Description	Cost	PV (Cost)	Benefit	PV (Benefit)	NPV
0	Initial Cost	505,500	505,500	0	0	-505,500
1	O&M + Back up Cost	9,377	8,702	145,308	134,857	126,154
2	O&M + Back up Cost	9,377	8,076	145,308	125,157	117,081
3	O&M + Back up Cost	9,377	7,495	145,308	116,155	108,659
4	O&M + Back up Cost	9,377	6,956	145,308	107,800	100,844
5	O&M + Back up Cost	34,622	23,837	145,308	100,047	76,209
6	O&M + Back up Cost	9,377	5,992	145,308	92,851	86,859
7	O&M + Back up Cost	9,377	5,561	145,308	86,172	80,612
8	O&M + Back up Cost	9,377	5,161	145,308	79,974	74,814
9	O&M + Back up Cost	9,377	4,789	145,308	74,222	69,433
10	O&M + Back up Cost	34,622	16,412	145,308	68,884	52,471
11	O&M + Back up Cost	9,377	4,125	145,308	63,929	59,804
12	O&M + Back up Cost	9,377	3,829	145,308	59,331	55,502
13	O&M + Back up Cost	9,377	3,553	145,308	55,064	51,510
14	O&M + Back up Cost	9,377	3,298	145,308	51,103	47,805
15	O&M + Back up Cost	9,377	3,060	145,308	47,427	44,367
			616,348	2,179,618	1,262,973	646,625
FIRR						16.4%

ดังนั้นการออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนแบบผสมผสานที่เหมาะสมกับโรงแรมตัวอย่างเป็นการออกแบบขนาดของระบบที่ 25% โดยติดตั้งตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ขนาด 40 m^2 ร่วมกับระบบผลิตน้ำร้อนจากความร้อนเหลือทิ้งของเครื่องปรับอากาศจำนวน 2 ชุด ผลิตน้ำร้อนรวมได้วันละ 2,987 ลิตร/วัน เป็นปริมาณน้ำร้อนที่ผลิตได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ 2,375 ลิตร/วัน และปริมาณน้ำร้อนที่ผลิตได้จากความร้อนเหลือทิ้ง 612 ลิตร/วัน ใช้เงินลงทุนเริ่มต้น 556,500 บาท ค่าใช้จ่ายรายปี 5,021 บาท/ปี เป็นค่าดูแลรักษาและซ่อมบำรุง โดยมีผลตอบแทนทางการเงินเท่ากับ 16.4% และระยะเวลาคืนทุน 3.74 ปี ผลประโยชน์ตลอดอายุโครงการ 15 ปี มีมูลค่า 2,179,618 บาท แบ่งเป็นผลประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ 1,664,883 บาท ผลประโยชน์จากความร้อนเหลือทิ้ง 451,735 บาท และผลประโยชน์จากการลดการปลดปล่อย CO_2 63,000 บาท



ข้อเสนอแนะ

ในการพิจารณาระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสานมาใช้ในการอาคารธุรกิจประเภทโรงแรม สามารถเลือกใช้ความร้อนเหลือทิ้งจากระบบต่างๆ ของโรงแรมนอกเหนือจากการใช้ระบบผลิตน้ำร้อนจากความร้อนเหลือทิ้งของเครื่องปรับอากาศ เช่น ความร้อนเหลือทิ้งจากระบบไอน้ำหรือระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ (Chiller) มาผลิตน้ำร้อนได้แทบทั้งสิ้น เพราะนอกจากจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำร้อนได้แล้ว ยังทำให้ค่าผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์หรือค่า FIRR ของระบบฯ สูงขึ้น เนื่องจากไม่มีค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานในการเดินระบบความร้อนเหลือทิ้ง อีกทั้งยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนในกรณีใช้ระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ (Chiller) ได้อีกทางหนึ่ง



เอกสารอ้างอิง

- จงจิตร หิรัญลาภ. (2543). เครื่องทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์อย่างง่ายสำหรับประเทศไทย. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร., 23, 109-119.
- จอมภพ แววศักดิ์. (2546). การหาสมรรถนะเชิงความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ติดตั้งบนหลังคา. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย, 17, 15-17.
- ฉัตรนภา พรหมมา. (2560). การพัฒนาระบบบริหารงานวิจัยและพันธกิจสัมพันธ์มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์กับสังคม. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์, 12(1).
- ณัฐพงษ์ จิยังเรืองรุ่ง. (2552). การวิเคราะห์ต้นทุนทางการเงินเปรียบเทียบระหว่างการจัดการขยะแบบฝังกลบ (Sanitary Landfill) กับการจัดการขยะแบบเผาโดยใช้เทคโนโลยีก๊าซซิฟิเคชัน (Gasification). วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยบูรพา, 93 หน้า.

- Chaurasia, P. B. L. (1990). Solar Water Heating from Natural Surfaces. **Journal of Energy Heat and Mass Transfer**, 12, 31-38.
- Duffie, A. D. and Beckman. W. A. (1991). **Solar Engineering of Thermal Processes**, 2nd ed, New York: Wiley.
- Van Nickered, W. M. K. and Scheffler, T. B. (1993). **Measured Performance of a Solar Water Heater with a Parallel Tube Polymer Absorber**. *Solar Energy*, 51, 339-347.