# การประเมินต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยเทคโนโลยีระบบทำความเย็นแบบดูดซึมในระบบปรับอากาศสำหรับอุตสาหกรรม

# Marginal Abatement Cost Assessment of Greenhouse Gas Reduction by Absorption Refrigeration Technology for Industry

สุนทรพจน์ ทิพประเสริฐ และ ณัฐนี วรยศ*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัด เชียงใหม่ 50200
*ติดต่อ: E-mail: nnatanee@eng.cmu.ac.th, โทรศัพท์: 053-944-146, โทรสาร: 053-944145

***บทคัดย่อ***

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการประเมินต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Marginal Abatement Cost: MAC) จากการใช้เทคโนโลยีระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (Absorption Refrigeration) ขนาด 4 20 และ 50 Tons of Refrigeration (TR) ทดแทนระบบปรับอากาศแบบวัฏจักรอัดไอที่มีการใช้งานอยู่ทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม โดยงานวิจัยจะเริ่มจากการประเมินผลประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งานของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมแต่ละขนาด จากนั้นนำผลที่ได้มาทำการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พร้อมกับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้ และนำผลจากการประเมินทั้งหมดมาคำนวณหาต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยในการศึกษานี้ดัชนีที่นำมาใช้ในการชี้วัดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบ ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน และระยะเวลาคืนทุน โดยผลจากการศึกษาพบว่าระบบทำความเย็นแบบดูดซึมขนาด 4 TR ไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน ส่วนกรณีระบบขนาด 20 TR และ 50 TR พบว่ามีความคุ้มค่า และน่าสนใจในการลงทุน โดยกรณีระบบขนาด 20 TR จะมีความน่าสนใจในการลงทุนก็ต่อเมื่อจำนวนชั่วโมงการทำงานของระบบเท่ากับ 24 ชั่วโมง/วัน ซึ่งมีมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน ระยะเวลาคืนทุน และต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 916,567 บาท 20% 4 ปี และ -2.30 บาท/kg$CO_2$eq ส่วนกรณีระบบขนาด 50 TR พบว่าจำนวนชั่วโมงการทำงานของระบบตั้งแต่ 16 ชั่วโมง/วัน เป็นต้นไปจะมีความคุ้มค่าในการลงทุน โดยกรณีระบบทำงาน 16 ชั่วโมง/วัน จะมีมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน ระยะเวลาคืนทุน และ ต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 1,934,436 บาท 27% 3 ปี และ -2.91 บาท/kg$CO_2$eq

***คำหลัก:*** ต้นทุนหน่วยสุดท้าย, การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก, ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม, ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

***Abstract***

The main objective of this research is to assess the Marginal Abatement Cost (MAC) of absorption refrigeration technology with capacity of 4, 20 and 50 Tons of Refrigeration (TR) for industry. This research can be divided into four parts. Firstly, evaluate the economic advantages of using

absorption refrigeration system compared with vapor compression refrigeration system. Secondly, economic analysis was carried out by using Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and Payback Period (PBP) schemes. Then, estimate greenhouse gas (GHG) reduction from absorption refrigeration technology. Finally, the Marginal Abatement Cost was assessed. The result reveals that the system with size of 4 TR was not profitable while the 20 and 50 TR systems were found to be worthwhileness provided that the system operate at least 24 and 16 hours/day respectively. The results of NPV, IRR, PBP and MAC of the 20 TR-system are 916,567 Baht, 20%, 4 years and -2.30 Baht/kg$CO_2$eq respectively and those of the 50 TR-system are 1,934,436 Baht, 27%, 3 years and -2.91 Baht/kg$CO_2$eq respectively.

***Keywords**:* Marginal Abatement Cost, Greenhouse gas reduction, Absorption refrigeration system, Economic feasibility

## 1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีอัตราการใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้น และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในอนาคต เนื่องจากการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจ อุตสาหกรรม และปริมาณที่อยู่อาศัยที่เพิ่มมากขึ้น โดยแหล่งพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานประเภทที่ใช้แล้วหมดไป อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากการใช้พลังงานอีกด้วย ดังนั้นรัฐบาลจึงมีนโยบายในการส่งเสริม และพัฒนาเทคโนโลยีด้านการอนุรักษ์พลังงาน ได้แก่ การผลักดันให้มีการใช้วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพสูงในการใช้พลังงาน รวมทั้งการสนับสนุนการวิจัย และการพัฒนาเทคโนโลยีประสิทธิภาพสูงเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในอาคาร หรือกระบวนการผลิตเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพ และความคุ้มค่าในการใช้พลังงานอย่างสูงสุด โดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรมซึ่งเป็นสาขาที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่สูง

โดยข้อมูลจากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานในปี พ.ศ.2554 ระบุปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแยกตามสาขาของประเทศไทยพบว่า สาขาที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงที่สุดคือ ภาคอุตสาหกรรม มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 46 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งประเทศ (EPPO, 2555) โดยร้อยละ 60 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร หรือโรงงานอุตสาหกรรมมาจากระบบปรับอากาศ (EDCO, 2552) ซึ่งโดยส่วนใหญ่ภายในอาคาร หรือโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปมักจะใช้ระบบปรับอากาศแบบวัฏจักรอัดไอซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นการอนุรักษ์พลังงาน หรือการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศจึงสามารถประหยัดพลังงานและลดค่าใช้จ่ายโดยรวมได้เป็นอย่างมาก โดยเทคโนโลยีอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศที่มีความน่าสนใจคือ เทคโนโลยีระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (Absorption Refrigeration) ซึ่งเป็นระบบที่สามารถนำความร้อนทิ้งจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมมาใช้แทนพลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน อีกทั้งยังช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย โดยในปัจจุบันได้มีการนำระบบทำความเย็นแบบดูดซึมมาใช้ในระบบปรับอากาศอย่างกว้างขวาง เช่น บริษัท ไทยแทฟฟิต้า ได้นำไอน้ำส่วนเกินจากกระบวนการผลิตมาใช้ในระบบทำความเย็นแบบดูดซึมขนาด 450 TR 1 หน่วย และ 900 TR 3 หน่วย เพื่อผลิตความเย็นสำหรับใช้ในกระบวนการผลิต และโรงผลิตไฟฟ้า โดยมีค่าใช้จ่ายในการลงทุน และติดตั้งรวม 21.5 ล้านบาท ซึ่งสามารถคืนทุนได้ที่ระยะเวลา 3 ปี และ บริษัท เขาช่องอุตสาหกรรม ได้ติดตั้งระบบทำความเย็นแบบดูด

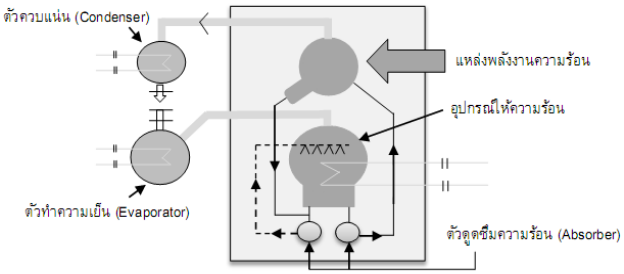
ซึมขนาด 180 TR มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนเท่ากับ 4.038 ล้านบาท โดยมีระยะเวลาคืนทุน 1 ปี เป็นต้น (DEDE, 2545)

ทั้งนี้การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนเทคโนโลยีระบบทำความเย็นแบบดูดซึมจะต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ เช่น ขนาดของระบบ พลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ จำนวนชั่วโมงการทำงาน ต้นทุน ค่าใช้จ่าย เป็นต้น ซึ่งนอกจากการประเมินด้วยวิธีทางเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ การประเมินมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน และระยะเวลาคืนทุน ยังสามารถประเมินด้วยวิธีการคำนวณต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเป็นดัชนีตัวหนึ่งที่มีความสามารถในการประเมินทั้งด้านเศรษฐศาสตร์และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมไปพร้อมๆ กัน

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะประเมินต้นทุนเศรษฐศาสตร์ และต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยเทคโนโลยีระบบทำความเย็นแบบดูดซึมในระบบปรับอากาศสำหรับอุตสาหกรรม ที่ขนาด 4 TR 20 TR และ 50 TR เพื่อนำมาเปรียบเทียบถึงความคุ้มค่าในการลงทุน และศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทคโนโลยีระบบทำความเย็นแบบดูดซึมแต่ละขนาด นำไปสู่การตัดสินใจในการลงทุนของผู้ประกอบการและผู้ที่สนใจต่อไปในอนาคต

## 2. ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

ในระบบปรับอากาศแบบเดิมที่ใช้กันมาจนถึงปัจจุบันจะอาศัยหลักการทำงานของระบบแบบอัดไอ ซึ่งการทำงานผ่านคอมเพรสเซอร์ (Compressor) จะต้องใช้พลังงานในรูปของพลังงานกลขับเคลื่อนเพื่อให้เกิดการทำงาน ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นวิธีในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนพลังงานกลจากระบบดังกล่าวนั้นคือ ระบบแบบดูดซึม โดยพลังงานที่ต้องการใช้ในระบบเพื่อให้เกิดการทำงานส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของพลังงานความร้อน ได้แก่ ความร้อนของไอน้ำจากหม้อไอน้ำ จากพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น




รูปที่ 1 วงจรการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

โดยหลักการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมแสดงดังรูปที่ 1 เริ่มต้นจากสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นไอ ความดันต่ำ จะถูกดูดซึมด้วยสารดูดซึมกลายเป็นของเหลวภายในตัวดูดซึมความร้อน (Absorber) จากนั้นจะถูกสูบโดยปั๊มเพื่อให้มีความดันสูงขึ้น และส่งต่อไปยังอุปกรณ์ให้ความร้อน (Generator) เพื่อรับความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนต่าง ๆ เช่น น้ำร้อน ไอน้ำ หรือความร้อนทิ้งจากการเผาไหม้ เป็นต้น ทำให้สารทำความเย็นแยกตัวออกจากสารดูดซึม โดยสารดูดซึมที่เหลือจะถูกส่งกลับมายังตัวดูดซึมความร้อนเพื่อนำกลับมาใช้งานอีกครั้ง ส่วนไอของสารทำความเย็นจะไหลเข้าสู่ชุดควบแน่น (Condenser) เพื่อคายความร้อนทิ้ง ทำให้เมื่อออกจากชุดควบแน่นสารจะอยู่ในสถานะของเหลวที่มีความดันสูง จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการลดความดัน และไหลเข้าสู่ตัวทำความเย็น (Evaporator) เพื่อรับความร้อนจากภายนอก ทำให้สารทำความเย็นเมื่อไหลออกจากตัวทำความเย็นจะอยู่ในสถานะไอ ความดันต่ำเพื่อเริ่มวัฏจักรการทำงานใหม่อีกครั้ง

## 3. ทฤษฎีการคำนวณ

### 3.1 การประเมินผลประหยัด

การประเมินผลประหยัดที่ได้จากการใช้เทคโนโลยีระบบทำความเย็นแบบดูดซึมแทนระบบแบบอัดไอ สามารถคำนวณได้จากผลต่างของปริมาณกำลังไฟฟ้า

ที่ใช้ของทั้ง 2 ระบบ ที่ขนาดความสามารถในการทำความเย็นเท่ากัน ดังสมการที่ 1

$$\text{ผลประหยัด } (kW) = W_C - W_A \quad (1)$$

โดยที่

$W_C$ คือ กำลังไฟฟ้าของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

$W_A$ คือ กำลังไฟฟ้าของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

### 3.2 การประเมินด้านเศรษฐศาสตร์

การประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนด้านเศรษฐศาสตร์ของเทคโนโลยีระบบทำความเย็นแบบดูดซึมจะทำการประเมินด้วยดัชนีชี้วัด 3 ประเภท ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน และระยะเวลาคืนทุน โดยมีสมการการคำนวณตามลำดับ ดังนี้

$$NPV = \sum_{n=1}^{N} \frac{B_n}{(1+i)^n} - \left( \sum_{n=1}^{N} \frac{C_n}{(1+i)^n} + C_0 \right) \quad (2)$$

โดยที่

$B_n$ คือ ผลตอบแทนในปีที่ n (n=1, 2, 3, …, N)

$C_n$ คือ ค่าใช้จ่ายในปีที่ n (n=1, 2, 3, …, N)

$C_0$ คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนปีเริ่มแรก

$i$ คือ อัตราดอกเบี้ย

$N$ คือ ระยะเวลาโครงการ

$$NPV = 0 = \sum_{n=1}^{N} \frac{B_n - C_n}{(1+i)^n} - C_0 \quad (3)$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี}} \quad (4)$$

### 3.3 การประเมินต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การประเมินต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5 โดยตัวแปร ต้นทุน ค่าใช้จ่าย ผลประหยัดที่ได้จากการดำเนินการใช้เทคโนโลยี รวมทั้งปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงได้จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของมูลค่ารายปี อ้างอิงการคำนวณจาก The Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME, 2011)

$$MAC, (\text{บาท}/kgCO_2eq) = \frac{C_{an} + S_{an} - B_{an} + \sum O_{an}}{CO_2} \quad (5)$$

โดยที่

$C_{an}$ คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนปีเริ่มแรกของเทคโนโลยี

$S_{an}$ คือ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและดูแลรักษา

$B_{an}$ คือ ผลประหยัดที่ได้จากการใช้เทคโนโลยี

$O_{an}$ คือ ค่าใช้จ่ายอื่นๆที่เกิดขึ้นตลอดอายุโครงการ เช่น ต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการติดตั้งระบบ เป็นต้น

$CO_2$ คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้

โดยการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงได้จากการใช้เทคโนโลยีระบบทำความเย็นแบบดูดซึมแทนระบบทำความเย็นแบบอัดไอสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 6 โดย $C$ คือ พลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ต่อปี ซึ่งไม่นับรวมในส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตความร้อนเพื่อนำมาใช้ในระบบ เนื่องจากเป็นความร้อนส่วนเกินที่ได้จากกระบวนการผลิต และค่า $EF$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

$$\text{ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้ } (kgCO_2eq/year) = C \times EF \quad (6)$$

## 4. ขอบเขต

งานวิจัยนี้เป็นการประเมินต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยเทคโนโลยีระบบทำความเย็นแบบดูดซึมในระบบปรับอากาศสำหรับอุตสาหกรรม ประเภทของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นระบบทำความเย็นแบบดูดซึมชั้นเดียว (Single Effect Absorption Water Chilling Unit) โดยจะแบ่งขนาดของระบบที่ทำการศึกษาออกเป็น 3 ขนาดด้วยกันคือ 4 TR 20 TR และ 50 TR ซึ่งสารคู่ผสมในการทำความเย็นที่ทำการศึกษาในระบบคือ ลิเธียมโบรไมด์กับน้ำ เนื่องจากเป็นสารคู่ผสมที่เหมาะกับระบบทำความเย็นเพื่อการปรับอากาศโดยทั่วไป (อุณหภูมิ 10°C ถึง

25°C) โดยลิเธียมโบรไมด์จะทำหน้าที่เป็นสารดูดซึม ส่วนน้ำจะทำหน้าที่เป็นสารทำความเย็น

โดยในส่วนแรกจะทำการประเมินพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้จากการใช้ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมแทนระบบทำความเย็นแบบวัฏจักรอัดไอตลอดอายุการใช้งานของระบบแต่ละขนาด จากนั้นนำผลประหยัดที่ได้มาคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พร้อมทั้งประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้จากการใช้เทคโนโลยี โดยในส่วนของการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จะประเมินด้วยดัชนีชี้วัด 3 ประเภท ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน และระยะเวลาคืนทุน โดยมีเงื่อนไขในการพิจารณาดังต่อไปนี้ เงินลงทุนเบื้องต้นของระบบพิจารณาจากค่าอุปกรณ์ ค่าแรงพร้อมติดตั้ง รวมทั้งค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ในการนำความร้อนมาใช้ในระบบ แสดงดังตารางที่ 1 ในส่วนของความร้อนที่นำมาใช้ในระบบกำหนดให้อยู่ในรูปของไอน้ำส่วนเกินและได้มาโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใด ๆ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้เพื่อการอนุรักษ์พลังงานกำหนด 4% ต่อปี (ธนาคารกสิกรไทย, 2556) ค่าดำเนินการ ดูแลรักษาต่อปี และมูลค่าซากกำหนดให้เท่ากับ 10% ของเงินลงทุนเบื้องต้น อายุการใช้งานของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม 10 ปี อัตราค่าไฟฟ้ากำหนดให้เท่ากับ 3.9361 บาท/kWh (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2556) จากนั้นนำผลจากการประเมินทั้งหมดมาคำนวณหาต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยต้นทุนค่าใช้จ่าย ผลประหยัดที่ได้ รวมทั้งปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้ที่นำมาใช้ในการคำนวณจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของมูลค่ารายปี โดยค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยการเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้ากำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.6093 $kgCO_2/kWh$ (Thai national database, 24 กันยายน 2555)

ตารางที่ 1 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเบื้องต้นของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม ขนาด 4 20 และ 50 TR

| ขนาด (TR) | ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเบื้องต้น (บาท) |
|---|---|
| 4 | 650,000 |
| 20 | 950,000 |
| 50 | 1,350,000 |

ที่มา: Advance Thermal Solution, 2549

ในส่วนสุดท้ายจะทำการเปรียบเทียบ และวิเคราะห์ผลการศึกษาของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมแต่ละขนาด รวมทั้งวิเคราะห์ถึงผลจากการเปลี่ยนแปลงจำนวนชั่วโมงการทำงานต่อความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยจะแบ่งจำนวนชั่วโมงการทำงานที่ศึกษาออกเป็น 3 กรณี คือ กรณีการทำงาน 8 16 และ 24 ชั่วโมง/วัน (กำหนดให้ระบบทำงาน 365 วัน/ปี)

## 5. ผลการศึกษา

ผลการศึกษาในส่วนแรกจากการประเมินพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบทำความเย็นแบบดูดซึมอ้างอิงจากผลการวัดและเก็บข้อมูลทางไฟฟ้าของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมขนาด 4 TR พบว่าปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ใช้จริงของระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.18 kW (นัฐพร ไชยญาติ, 2551) หรือคิดเป็น 84.44% ของปริมาณกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ แสดงดังตารางที่ 2

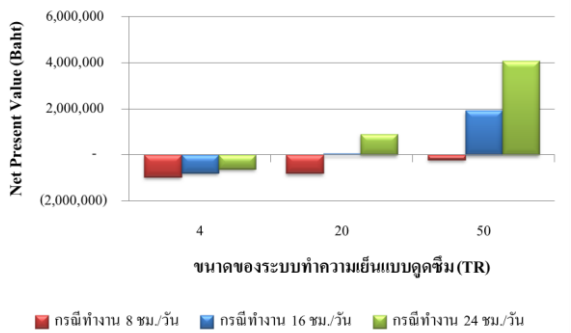
ตารางที่ 2 ปริมาณกำลังไฟฟ้าสูงสุดของอุปกรณ์ในระบบทำความเย็นแบบดูดซึมขนาด 4 TR

| อุปกรณ์ | ปริมาณกำลังไฟฟ้าสูงสุด (kW) |
|---|---|
| 1. Solution Pump | 2.2 |
| 2. Cooled Water Pump | 1.5 |
| 3. Chilled Pump | 0.6 |
| 4. Cooling Tower | 0.2 |
| 5. Fancoil | 0.45 |
| รวม | 4.95 |

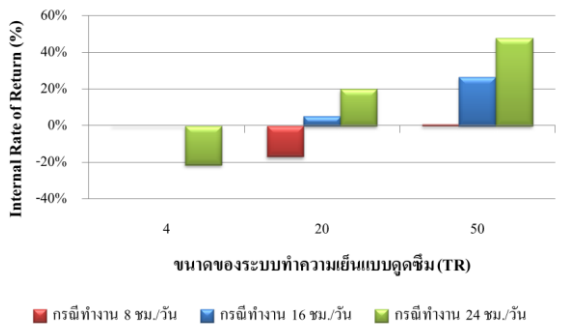
ที่มา: นัฐพร ไชยญาติ, 2551

ดังนั้นระบบทำความเย็นแบบดูดซึมจะมีจะมีการใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 1.04 kW/TR ซึ่งมีค่าน้อย

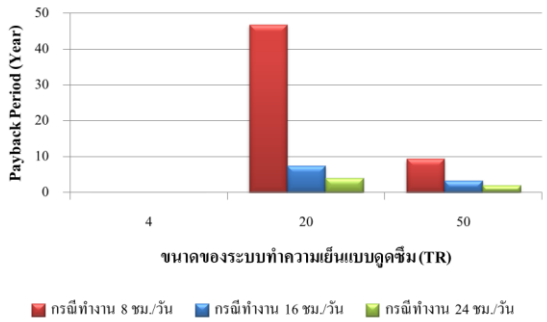
กว่าระบบทำความเย็นแบบวัฏจักรอัดไอซึ่งมีค่าดังกล่าวเท่ากับ 1.5 kW/TR (กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน, 2545) จะเห็นได้ว่าระบบทำความเย็นแบบดูดซึมสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 0.46 kW/TR หรือคิดเป็น 30.66% จากนั้นจึงทำการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมด้วยดัชนีชี้วัด 3 ประเภทคือ มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน และระยะเวลาคืนทุน ได้ทำการเปรียบเทียบและแสดงให้เห็นถึงความคุ้มค่าในการลงทุนของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมแต่ละขนาดคือ 4 TR 20 TR และ 50 TR อีกทั้งจำนวนชั่วโมงการทำงานของระบบที่เปลี่ยนแปลงไปคือ 8 16 และ 24 ชั่วโมง/วัน ซึ่งล้วนแต่มีผลต่อการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมแต่ละขนาด ดังแสดงในรูปที่ 2 – 4




รูปที่ 2 ผลการประเมินมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม




รูปที่ 3 ผลการประเมินอัตราผลตอบแทนภายในของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม




รูปที่ 4 ผลการประเมินระยะเวลาคืนทุนของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

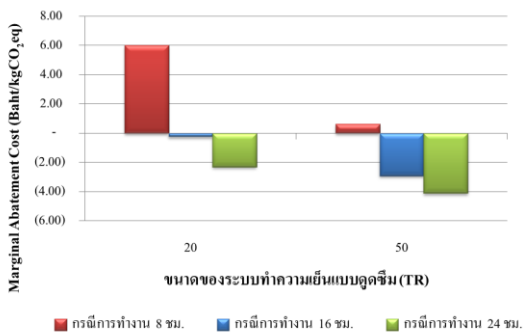
จากรูปที่ 2 – 4 พบว่า ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมขนาด 50 TR มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับขนาด 4 TR และ 20 TR โดยกรณีระบบทำความเย็นขนาด 50 TR จำนวนชั่วโมงการทำงาน 16 ชั่วโมง/วัน ผลการประเมินมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน และระยะเวลาคืนทุน มีค่าเท่ากับ 1,934,436 บาท 27% (MARR เท่ากับ 4%) และ 3 ปี ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความคุ้มค่าในการลงทุน ในขณะที่กรณีระบบทำความเย็นแบบดูดซึมขนาด 4 TR จำนวนชั่วโมงการทำงาน 16 ชั่วโมง/วัน มีมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ เท่ากับ -790,240 บาท ในส่วนของการประเมินอัตราผลตอบแทนภายใน และระยะเวลาคืนทุนพบว่ามีค่าเป็นลบค่อนข้างสูง เนื่องจากไม่มีผลกำไรในแต่ละปีจากการติดตั้งระบบดังกล่าว แสดงให้เห็นถึงความไม่คุ้มค่าในการลงทุน

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าขนาดของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมมีผลต่อการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยระบบทำความเย็นขนาดใหญ่จะมีความคุ้มค่าในการลงทุนมากกว่าระบบทำความเย็นขนาดเล็ก เนื่องจากระบบขนาดเล็กจะมีราคาต่อตันความเย็นที่ค่อนข้างสูง โดยเฉพาะระบบทำความเย็นที่มีขนาดต่ำกว่า 10 TR ซึ่งอุปกรณ์ภายในระบบทำความเย็นจะต้องออกแบบ และสร้างขึ้นมาใหม่ทั้งหมด ไม่สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาด ทำให้ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นมีค่าสูง ส่งผลให้ผลจากการประเมิน

ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า ไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน

ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงจำนวนชั่วโมงการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมแต่ละขนาด เพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนพบว่ากรณีระบบทำความเย็นขนาด 50 TR มีความน่าสนใจในการลงทุนกรณีที่ระบบทำงาน 16 และ 24 ชั่วโมง/วัน ส่วนกรณีระบบทำความเย็นขนาด 20 TR จะมีความน่าสนใจในการลงทุนหากมีจำนวนชั่วโมงการทำงานที่ 24 ชั่วโมง/วัน ซึ่งหากพิจารณากรณีที่ระบบมีจำนวนชั่วโมงการทำงาน 16 ชั่วโมง/วัน แม้ว่าจะมีมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ และอัตราผลตอบแทนภายในที่มีความน่าสนใจในการลงทุน โดยมีค่าเท่ากับ 58,926 บาท และ 5% (MARR เท่ากับ 4%) ตามลำดับ แต่เนื่องจากมีระยะเวลาในการคืนทุนที่ค่อนข้างนานเท่ากับ 8 ปี ดังนั้นจะเห็นได้ว่าหากมีจำนวนชั่วโมงการทำงานของระบบที่เพิ่มมากขึ้นก็จะส่งผลให้ระยะเวลาในการคืนทุนสั้นลง และความคุ้มค่าในการลงทุนที่เพิ่มสูงขึ้น

ส่วนต่อมาเป็นการประเมินต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยพิจารณาระบบทำความเย็นแบบดูดซึมที่ขนาด 20 TR และ 50 TR และจำนวนชั่วโมงการทำงานที่แตกต่างกันของระบบ คือ 8 16 และ 24 ชั่วโมง/วัน ผลการประเมินแสดงดังรูปที่ 5




รูปที่ 5 ต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

จากรูปที่ 5 ผลการประเมินต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกพบว่า ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมขนาด 50 TR มีความคุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุดเมื่อเทียบกับระบบขนาด 20 TR โดยกรณีพิจารณาระบบทำงาน 16 ชั่วโมง/วัน ขนาด 20 TR และ 50 TR มีต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ -0.22 และ -2.91 บาท/kg$CO_2$eq ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าระบบทำความเย็นแบบดูดซึมขนาด 50 TR มีความคุ้มค่าในการลงทุนมากกว่า เนื่องจากผลการประเมินมีค่าที่ติดลบมากกว่า โดยผลจากการประเมินต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีค่าเป็นลบแสดงถึงระบบดังกล่าวมีมูลค่าของผลประโยชน์มากกว่าค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการลงทุน หรืออาจกล่าวได้ว่า ระบบดังกล่าวสามารถสร้างผลกำไรและลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ในขณะเดียวกัน ส่วนกรณีที่ผลการประเมินมีค่าเป็นบวก แสดงถึงการที่จะลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบดังกล่าวจะต้องเสียค่าใช้จ่ายสุทธิเพิ่มเติม นั้นคือไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน

ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงจำนวนชั่วโมงการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมแต่ละขนาด พบว่า เมื่อเพิ่มจำนวนชั่วโมงการทำงานของระบบจะส่งผลให้ต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีค่าที่ต่ำลง แสดงถึงความคุ้มค่าที่เพิ่มมากขึ้น โดยกรณีระบบทำความเย็นแบบดูดซึมขนาด 20 TR ทำงาน 8 16 และ 24 ชั่วโมง/วัน พบว่า มีต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 6.02 -0.22 และ -2.30 บาท/kg$CO_2$eq ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่ากรณีระบบทำงาน 24 ชั่วโมง/วัน จะมีความคุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุด

อย่างไรก็ตามการพิจารณาลงทุนในเทคโนโลยีใด ๆ ด้วยวิธีการประเมินต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกควรจะพิจารณาทั้งค่าต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้จากการดำเนินการใช้เทคโนโลยีนั้น ๆ ซึ่งจากผลการประเมินเทคโนโลยีระบบทำความเย็นแบบดูดซึมแต่ละขนาด พบว่า กรณีที่มีความคุ้มค่า และน่าสนใจในการ

ลงทุน ได้แก่ กรณีระบบขนาด 20 TR จำนวนชั่วโมงการทำงานเท่ากับ 24 ชั่วโมง/วัน มีต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ -2.30 บาท/kg$CO_2$eq และ 49,104.71 kg$CO_2$eq/ปี ส่วนกรณีระบบขนาด 50 TR พบว่ามีความคุ้มค่า และน่าสนใจในการลงทุนกรณีที่ระบบทำงาน 16 และ 24 ชั่วโมง/วัน โดยมีค่าดังกล่าวเท่ากับ -2.91 บาท/kg$CO_2$eq 81,841.18 kg$CO_2$eq/ปี และ -4.10 บาท/kg$CO_2$eq 122,761.76 kg$CO_2$eq/ปี

## 6. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยเทคโนโลยีระบบทำความเย็นแบบดูดซึมแต่ละขนาด คือ 4 TR 20 TR และ 50 TR เปรียบเทียบกับผลจากการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ สามารถสรุปได้ว่า ผลจากการประเมินทั้ง 2 วิธี เป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ ขนาดของระบบที่มีความคุ้มค่าในการลงทุนคือ ขนาด 20 TR โดยชั่วโมงการทำงานของระบบจะต้องเท่ากับ 24 ชั่วโมง/วัน จึงจะพบว่ามีความคุ้มค่าในการลงทุน ส่วนกรณีระบบขนาด 50 TR พบว่ามีความคุ้มค่าในการลงทุนกรณีที่ระบบทำงาน 16 และ 24 ชั่วโมง/วัน ในส่วนของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมขนาด 4 TR ซึ่งจากการประเมินพบว่าไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน แต่หากในในอนาคตค่าพลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มที่สูงขึ้น หรือราคาต่อตันความเย็นของระบบขนาดเล็กมีมูลค่าที่ลดลง จะส่งผลให้ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมขนาดเล็กมีความคุ้มค่า และน่าสนใจในการลงทุนเพิ่มมากขึ้น

## 7. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้สำเร็จไปได้ด้วยดีต้องขอขอบพระคุณกองทุนเพื่อการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ได้มอบเงินทุนสนับสนุนการวิจัย รวมทั้ง อ.ดร.นัฐพร ไชยญาติ ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ และข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการเขียนบทความ ผู้เขียนจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

## 8. เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, กระทรวงพลังงาน (2555). *รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2555.*

[2] กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (2545). *การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ.*

[3] โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (2006). *เครื่องทำความเย็นและระบบเครื่องปรับอากาศ.*

[4] นัฐพร ไชยญาติ (2551). *การออกแบบและสร้างระบบทำความเย็นแบบดูดซึมที่ใช้ไอเสียจากเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าชีวภาพ*, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

[5] บริษัท เอ็นเนอร์ยี ดีไซน์ คอนเซ็ปท์ จำกัด (2552). *Heating Ventilation and Air Conditioning System (HVAC System)*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา www.edco.co.th, เข้าดูเมื่อวันที่ 19/05/2556.

[6] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน (2554). *กรณีศึกษา ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (Absorption Chiller)*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา www.dede.go.th, เข้าดูเมื่อวันที่ 19/05/2556.

[7] The Society of Naval Architects and Marine Engineers (2011). *Marginal abatement costs and cost effectiveness of energy-efficiency measures.*

[8] Wang, H. and Russell, B.A. (2011). *Example of calculating the marginal abatement cost of employing technologies and operational measures for ship $CO_2$ emissions' reduction.*