

## ศักยภาพการนำระบบ Cogeneration และ Absorption Chiller มาใช้ในศูนย์การค้า Potential for Cogeneration and Absorption Chiller in a Supercenter Building

สมมาส แก้วล้วน<sup>1</sup> และ จุลละพงษ์ จุลละโพธิ์<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ นครนายก 26120  
โทร 0-26641000 ต่อ 2063, โทรสาร 0-3732-2609 E-mail: [sommask@yahoo.com](mailto:sommask@yahoo.com)

<sup>2</sup>คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 91 ถนนประชาอุทิศ บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140  
โทร 0-2470-8634 โทรสาร 0-2427-9062

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงศักยภาพการนำระบบ cogeneration มาใช้ร่วมกับ absorption chiller ในอาคารศูนย์การค้าแห่งหนึ่ง ระบบ cogeneration ที่ศึกษามี 2 แบบคือ gas turbine cogeneration และ internal combustion engine cogeneration ส่วน absorption chiller ที่ใช้ในการศึกษามี 3 แบบคือ single effect absorption chiller, double effect absorption chiller, และ direct-fired absorption chiller ทั้งนี้ โดยการออกแบบระบบให้รับกับ electrical base load และ electrical intermediate load ของอาคาร และให้ระบบทำงานวันละ 17 ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่เวลา 07.00 น.-24.00 น. ของทุกวัน

ในการประเมินศักยภาพทางด้านเศรษฐศาสตร์ใช้อัตราแลกเปลี่ยนเงินตรา 40 บาท ต่อ 1 US\$ อัตราส่วนลด 8.25 เปอร์เซ็นต์ต่อปี ราคาก๊าซธรรมชาติ 115.7 บาทต่อล้านบีทียู อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD โดยมีค่า Ft เท่ากับ 0.6152 บาทต่อหน่วย ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 เปอร์เซ็นต์ อายุโครงการ 20 ปี

ผลการศึกษาได้ว่า ระบบ Internal combustion engine cogeneration เมื่อออกแบบให้รับ electrical intermediate load ของอาคารและทำงานร่วมกับ direct-fired absorption chiller มีความเป็นไปได้มากที่สุดเนื่องจากให้ระยะเวลาคืนทุนต่ำสุด 6.04 ปี และเมื่อให้ทำงานร่วมกับ double effect absorption chiller จะให้ระยะเวลาคืนทุน 6.28 ปี สำหรับอัตราผลตอบแทนภายในวิเคราะห์ได้ 21.2 และ 20.5 เปอร์เซ็นต์ต่อปีตามลำดับ

### Abstract

This study focuses on potential of cogeneration and absorption chiller in a commercial building. The types of cogeneration system used in the study are gas turbine cogeneration and internal combustion engine cogeneration whereas three absorption chiller systems are investigated consisting of single effect absorption chiller, double effect absorption chiller and direct-fired absorption chiller. The site for the study is a Bangkok supercenter building. The cogeneration system was designed for electrical base load and electrical

intermediate load operating seventeen hours every day during 7.00 to 24.00 hours.

In evaluating the economic potential of the schemes, the following parameters were assumed : The rate of exchange of 40 baht per U.S.dollar, 8.25 percent discount rate, price of natural gas 115.7 baht per MMBtu, TOU tariff with Ft = 0.6152 baht per kWh together with 7 percent VAT and system life of 20 years.

The results of the feasibility analysis indicate that internal combustion engine cogeneration, gas-fired together with the direct-fired absorption chiller, designed for electrical intermediate load is the most profitable scheme, giving a payback period of 6.04 years, with the internal rate of return being 21.2 percent. Next on the list is internal combustion engine cogeneration with double effect absorption chiller, designed for electrical intermediate load which gives a payback period of 6.28 years, with the internal rate of return being 20.5 percent.

### 1. บทนำ

อาคารธุรกิจในปัจจุบันมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นทุกปี เป็นผลให้มีการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้า ซึ่งใช้ใน ระบบปรับอากาศเป็นส่วนใหญ่ ทำให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสูงตามไปด้วย ระบบปรับอากาศที่ใช้ในอาคารธุรกิจขนาดกลางและใหญ่มักเป็น ชนิดเครื่องทำน้ำเย็นแบบอัดไอ ซึ่งทำงานโดยอาศัยไฟฟ้า มีเครื่องทำความเย็นอีกชนิดหนึ่งคือเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน (absorption chiller) ซึ่งทำงานโดยอาศัยความร้อนควบคู่กับการทำปฏิกิริยาดูดกลืนของสาร 2 ชนิด เป็นหลัก ถ้านำมาใช้แทนระบบแบบอัดไอก็มีศักยภาพที่จะลดการใช้ไฟฟ้าลงได้มาก แต่ต้องจัดหาแหล่งความร้อนให้กับ absorption chiller ซึ่งควรต้องเป็นแหล่งความร้อนราคาถูกด้วย เพื่อให้ทำให้โครงการมีความคุ้มทุนในระยะยาว ภายใต้กรอบแนวคิดดังกล่าว ระบบ cogeneration แบบ topping cycle อาจมีความเหมาะสม โดยสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้า และความร้อนที่เหลือสามารถส่งให้กับ absorption chiller เพื่อทำความเย็นตามต้องการได้ ซึ่งจะเป็นหัวข้อหลักของการศึกษาในรายงานนี้

## 2. ข้อมูลการใช้พลังงานของอาคาร

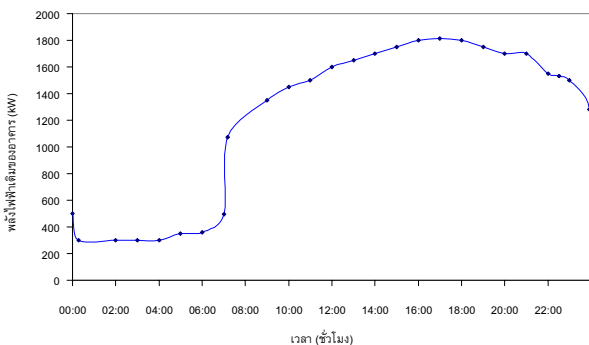
อาคารศูนย์การค้า Supercenter ที่ศึกษา เปิดให้บริการตั้งแต่เวลา 08.00 น. - 24.00 น. อุปกรณ์สำหรับระบบปรับอากาศขณะที่ศึกษาประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- compressor chiller ขนาด 500 ตันความเย็น 1 ชุด
- compressor chiller ขนาด 350 ตันความเย็น 2 ชุด
- cooling tower ขนาด 500 ตัน 3 ชุด
- chilled water pump ขนาด 840 แกลลอนต่อนาที 3 ชุด
- condenser water pump ขนาด 1,050 แกลลอนต่อนาที 3 ชุด

### 2.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร

การใช้ไฟฟ้าของอาคาร ในเดือน กรกฎาคม มีการใช้พลังงานไฟฟ้า 898,000 kWh ความต้องการไฟฟ้าสูงสุด On Peak ในช่วงเวลา 18.30-21.30น มีค่าเท่ากับ 1,849 kW และ partial peak ในช่วงเวลา 08.00 น. - 18.30 น มีค่าเท่ากับ 1,875 kW และค่า Ft เท่ากับ 61.52 สตางค์ ซึ่งรวมแล้วต้องเสียค่าไฟฟ้า 1,995,518 บาท

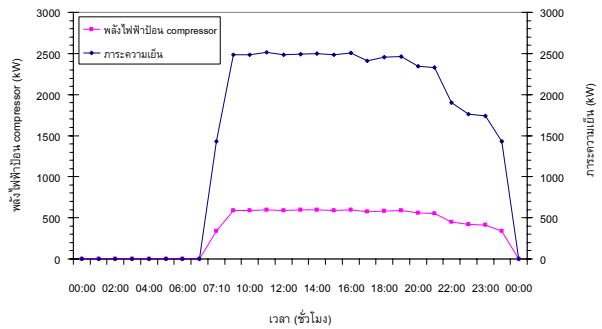
การใช้ไฟฟ้ายาวชั่วโมง ในแต่ละวันมีรูปแบบคล้ายกัน สำหรับข้อมูลของวันที่ 4 กรกฎาคม ตั้งแต่ช่วงหลังเที่ยงคืนจนกระทั่ง 08.00 น. เป็นช่วงปิดให้บริการการใช้พลังงานไฟฟ้ามีน้อย ส่วนในช่วง 08.00 น. - 24.00 น. เป็นช่วงเวลาทำการ การใช้พลังงานจะสูงขึ้นแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 daily load curve

### 2.2 ภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ

ภาระการทำความเย็นของอาคารตามปกติจะไม่คงที่ โดยจะแปรเปลี่ยนตามเวลา ฤดูกาล ปริมาณสินค้า และจำนวนลูกค้าที่เข้ามาใช้บริการ จากการเก็บข้อมูล ปรากฏผลดังรูปที่ 2 โดยภาระการทำความเย็นนี้หามาจาก พลังไฟฟ้าที่ compressor chiller ต้องการ หากด้วย ค่ากิโลวัตต์ต่อตันความเย็น ซึ่งกำหนดให้มีค่าประมาณ 0.84 ซึ่งเป็นข้อมูลของกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน [1] โดยที่ 1 ตันความเย็นมีค่าเท่ากับ 3.517 kW ดังนั้น COP ของ compressor chiller นี้มีค่าประมาณ 4.2



รูปที่ 2 พลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ compressor และ ภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ

## 3. ระบบ cogeneration และ absorption chiller

Cogeneration คือระบบที่ให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้า หรือพลังงานกลและมีการใช้ประโยชน์จากพลังงานความร้อนในขณะเดียวกัน โดยอาศัยเชื้อเพลิงแหล่งเดียวกัน ซึ่งพลังงานความร้อนนั้นอาจอยู่ในรูปของของไหลร้อนหรือก๊าซร้อนก็ได้

ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน (absorption chiller) คือระบบทำความเย็นแบบหนึ่งซึ่งอาศัยพลังงานความร้อนในการขับให้ระบบทำงานแทนพลังงานไฟฟ้า เพราะฉะนั้นระบบนี้จึงสามารถลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าของอาคารลงได้มาก แต่จะต้องจัดหาพลังงานความร้อนเพื่อป้อนให้ระบบซึ่งอาจอยู่ในรูปของ ไอน้ำ น้ำร้อน หรือ ก๊าซร้อนก็ได้ ขึ้นอยู่กับชนิดของ absorption chiller จึงเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะทำงานคู่กับระบบ cogeneration คือ ความร้อนที่ออกจากระบบ cogeneration สามารถป้อนให้กับ absorption chiller ได้โดยตรง

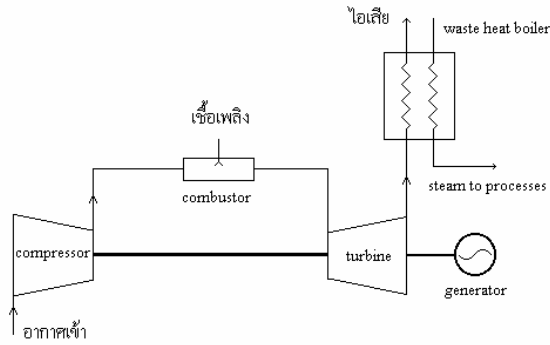
### 3.1 ระบบ cogeneration [2] [3]

ระบบ cogeneration สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดโดยพิจารณาจากลำดับการนำพลังงานความร้อนไปใช้ประโยชน์ว่าก่อนหรือหลังการผลิตพลังงานกล ถ้านำพลังงานความร้อนไปใช้ประโยชน์ก่อนที่จะผลิตพลังงานกล เรียกว่า bottoming cycle cogeneration ในทางตรงกันข้าม ถ้าหากระบบผลิตพลังงานกลก่อนแล้วนำพลังงานความร้อนที่เหลือไปใช้ประโยชน์เรียกระบบนี้ว่า topping cycle cogeneration

ระบบ topping cycle cogeneration สามารถผลิตพลังงานกลได้จากเครื่องต้นกำลัง 3 ชนิด คือ 1. steam turbine 2. gas turbine และ 3. internal combustion engine หลังจากนั้นจึงนำพลังงานความร้อนที่ปล่อยออกจากเครื่องต้นกำลังไปใช้ประโยชน์ ในที่นี้จะพูดถึงเฉพาะระบบ topping cycle cogeneration ชนิดที่ 2 และ 3 เท่านั้น

- ระบบ gas turbine cogeneration

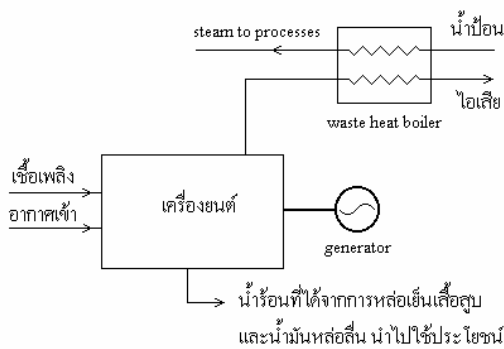
Gas turbine engine มีหลักการการทำงานคืออากาศจากภายนอกถูกอัดโดย compressor เข้าเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ แล้วขยายตัวผ่าน gas turbine ได้พลังงานกลออกมา ส่วนพลังงานความร้อนจะอยู่ในรูปของก๊าซไอเสียหากต้องการนำความร้อนไปใช้ประโยชน์ในรูปไอน้ำต้องมีอุปกรณ์เสริมคือ waste heat boiler ด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ระบบ gas turbine cogeneration

- ระบบ internal combustion engine cogeneration

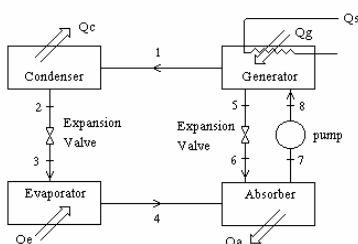
Internal combustion engine มี 2 ชนิด คือ spark-ignition engines (S.I.) มักใช้เชื้อเพลิงเหลวหรือแก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงและ compression-ignition engines (C.I.) จะใช้น้ำมันดีเซลหรือน้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง พลังงานความร้อนที่ออกมาจากเครื่องต้นกำลังชนิดนี้อยู่ในรูปของก๊าซไอเสีย น้ำหล่อเย็นเสื่อสูบและน้ำมันหล่อลื่นในการนำพลังงานความร้อนไปใช้ประโยชน์อาจใช้คู่กับ heat exchanger และ waste heat boiler ในการผลิตไอน้ำหรือน้ำร้อน



รูปที่ 4 ระบบ internal combustion engine cogeneration

3.2 ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน (absorption chiller) [4]

Absorption chiller เป็นระบบทำความเย็นที่อาศัยพลังงานความร้อนในการขับเคลื่อนเครื่องทำความเย็นให้ทำงาน โดยความร้อนที่ป้อนให้ absorption chiller โดยมากจะอยู่ในรูปของไอน้ำ น้ำร้อน หรือก๊าซร้อน ซึ่งมักเป็นพลังงานเหลือทิ้ง จึงเหมาะที่จะทำงานคู่กับระบบ cogeneration คือความร้อนที่ออกจาก cogeneration สามารถนำมาขับให้ absorption chiller ทำงานได้



รูปที่ 5 แสดงวงจรการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

4. การออกแบบระบบเพื่อใช้กับอาคาร

การออกแบบระบบ absorption chiller เพื่อใช้กับอาคารที่พิจารณาจำเป็นต้องทราบภาระการทำความเย็นตลอดวันและพิกัดสูงสุดของความต้องการความเย็นของระบบเดิม เมื่อทราบขนาดการทำความเย็นแล้วหลังจากนั้นก็เลือกระบบ absorption chiller มาใช้ โดยจะพิจารณาจาก absorption chiller 3 แบบดังนี้ 1. single effect absorption chiller 2. double effect absorption chiller และ 3. direct fired absorption chiller

ในการนำ absorption chiller แต่ละแบบมาใช้ ความร้อนที่ใช้ในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ให้ทำงาน จะแตกต่างกันตามชนิดของ absorption chiller และเมื่อได้ภาระความร้อนที่ต้องการแล้วจะนำมาพิจารณาร่วมกับความต้องการพลังไฟฟ้า เพื่อหาค่า heat to power ratio หลังจากนั้นก็สามารถเลือกชนิดของ cogeneration ที่เหมาะสมได้ ส่วนขนาดของ cogeneration จะต้องพิจารณาว่าจะออกแบบให้รองรับความต้องการไฟฟ้าและความร้อนขนาดไหน ความร้อนและไฟฟ้าที่ผลิตได้เพียงพอกับความต้องการของอาคารหรือไม่

4.1 การหาค่าภาระความร้อนสูงสุดของอาคาร

ภาระความร้อนสูงสุดของอาคาร สามารถหาได้โดยการนำระบบ absorption chiller มาใช้แทนระบบ compressor chiller ซึ่งจะพิจารณาตามขนาดความต้องการความเย็นของอาคารตามรูปที่ 2 ซึ่งอาคารดังกล่าวมีความต้องการความเย็นสูงสุดเท่ากับ 2,516 kW (715 tons) เพราะฉะนั้นเครื่องทำความเย็นทั้ง 3 แบบ ที่เลือกใช้จะต้องรับภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นได้

ในการศึกษาในครั้งนี้ ได้เลือกเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืนของ 2 บริษัทผู้แทนจำหน่ายในประเทศไทยมาใช้แทนระบบทำความเย็นแบบอัดไอเดิมของอาคาร จากข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืนทั้ง 3 แบบ สามารถที่จะนำมาหาค่าความต้องการความร้อนที่จะใช้ขับเคลื่อนเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืนแต่ละแบบ รวมทั้งคุณลักษณะของความร้อนที่เครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืนต้องการและค่าความต้องการไฟฟ้าสุทธิของอาคารด้วย

ความต้องการความร้อนสุทธิของระบบนั้นสามารถหาได้จาก

$$Q_{in} = \frac{Q_c}{COP_{ab}} \quad (1)$$

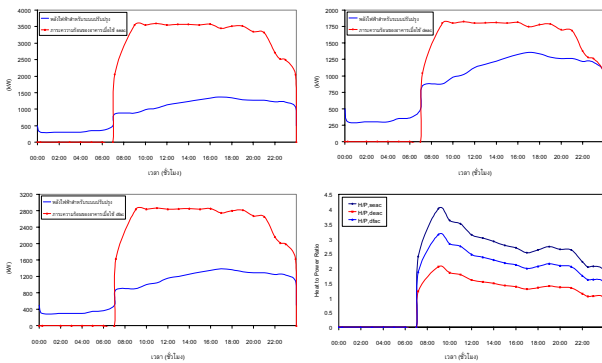
ความต้องการพลังไฟฟ้าสุทธิของอาคาร สามารถหาได้จากความต้องการพลังไฟฟ้าเดิมของอาคาร บวกด้วยความต้องการพลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ absorption chiller แล้วลบด้วยความต้องการพลังไฟฟ้าของ compressor chiller เดิมของอาคาร

ความต้องการพลังไฟฟ้าสุทธิของอาคารเมื่อใช้ absorption chiller แทน compressor chiller สามารถหาได้จากสมการที่ 2

$$W_{new} = W_{old} + W_{ac} + W_{cwp,ac} + W_{cf,ac} - W_{cc} - W_{cwp,cc} - W_{cf,cc} \quad (2)$$

#### 4.2 การหาค่า Heat to Power Ratio (H/P) ของอาคาร

ค่า H/P ของอาคารกรณีนำ absorption chiller ต่างชนิดกันมาใช้ จะแตกต่างกัน โดยจะขึ้นอยู่กับชนิดของ absorption chiller สมรรถนะของ absorption chiller และลักษณะความร้อนที่ absorption chiller ต้องการ กรณีนำ single effect absorption chiller ที่มีค่า COP เท่ากับ 0.7 [7] มาใช้ในอาคารมีผลทำให้อาคารมีความต้องการความร้อนในรูปไอน้ำที่ความดัน 1.5 kg/cm<sup>2</sup>g และไฟฟ้า โดยมีสัดส่วน H/P อยู่ในช่วง 1.9-4 กรณีนำ double effect absorption chiller ที่มีค่า COP เท่ากับ 1.38 [7] มาใช้ในอาคารมีผลทำให้อาคารมีความต้องการความร้อนในรูปไอน้ำที่ความดัน 8 kg/cm<sup>2</sup>g และไฟฟ้า โดยมีสัดส่วน H/P อยู่ในช่วง 0.9-2.0 และกรณีนำ direct-fired absorption chiller ที่มีค่า COP เท่ากับ 0.877 [7] มาใช้ในอาคารมีผลทำให้อาคารมีความต้องการความร้อนในรูปก๊าซร้อนและไฟฟ้า โดยมีสัดส่วน H/P อยู่ในช่วง 1.5-3.1



รูปที่ 6 ค่า H/P ของอาคารกรณีใช้ absorption chiller แบบต่าง ๆ

#### 4.3 การเลือกชนิดของ cogeneration

การเลือกชนิดของ cogeneration ที่จะนำมาใช้จะพิจารณาจากค่า H/P ของอาคารและจากตารางลักษณะเฉพาะของระบบ cogeneration ที่แสดงในตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 ลักษณะเฉพาะของระบบ cogeneration [7]

รายละเอียด	Gas Turbine	Internal Combustion Engine
ขนาดของระบบ	400 kW -100 MW	100 kW -10 MW
ประสิทธิภาพรวมของระบบ	55 -75 %	50-80 %
Heat to Power Ratio (H/P)	2-5	1-3
ความร้อนที่ออกจากระบบ	ก๊าซร้อน 450-550 °C	50 % น้ำร้อน 50% ก๊าซร้อนที่ 450 °C

- กรณีที่เลือกใช้ single effect absorption chiller ค่า H/P ของอาคารอยู่ในช่วง 1.9-4 เพราะฉะนั้น ระบบ cogeneration ที่เหมาะสมในกรณีนี้ คือระบบ gas turbine cogeneration
- กรณีเลือกใช้ double effect absorption chiller ค่า H/P ของอาคารอยู่ในช่วง 0.9-2.0 เพราะฉะนั้น ระบบ cogeneration ที่เหมาะสม

สำหรับกรณีนี้ คือระบบ gas turbine cogeneration และ ระบบ internal combustion engine cogeneration

- กรณีเลือกใช้ direct fired absorption chiller ค่า H/P ของอาคารอยู่ในช่วง 1.5-3.1 เพราะฉะนั้น ระบบ cogeneration ที่ในกรณีนี้ คือระบบ gas turbine cogeneration และ ระบบ internal combustion engine cogeneration

#### 5. การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเทคนิค

ในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคเพื่อ กำหนดขนาดของระบบ cogeneration ให้รับ electrical base load หรือ electrical intermediate load โดยใช้ gas turbine cogeneration และ gas engine cogeneration ทำงานกับ absorption chiller แต่ละแบบ คือ single effect absorption chiller, double effect absorption chiller และ direct-fired absorption chiller ได้ผลการวิเคราะห์ที่แสดงในตารางที่ 2

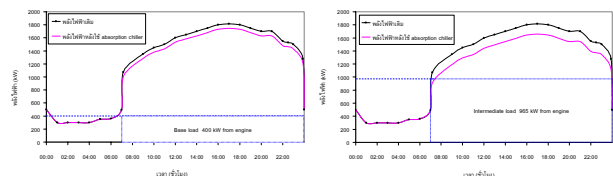
ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค

engine	seac (tons)	deac (tons)	dfac (tons)
gas turbine 395 kW	185	324	230
848 kW	363	601	427
gas engine 400 kW	-	87	61
965 kW	-	200	144

การนำระบบ cogeneration มาใช้ในอาคารสามารถลดการซื้อไฟฟ้าจำนวนหนึ่ง และความร้อนที่ได้จาก cogeneration เมื่อนำไปใช้กับระบบทำความเย็นแบบ absorption chiller ก็สามารถลดการใช้ระบบทำความเย็นแบบอัดไอได้จำนวนหนึ่ง ซึ่งส่งผลให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารได้

ตัวอย่างการออกแบบระบบ gas engine cogeneration รองรับ electrical intermediate load ของอาคาร ขนาด 965 kW จากการวิเคราะห์เพื่อให้ทำงานร่วมกับ direct fired absorption chiller ขนาด 144 tons จะสามารถลดการทำงานของ compressor chiller เดิมได้บางส่วน เป็นผลให้ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบปรับอากาศลดลง

ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าที่ต้องซื้อจากการไฟฟ้าจึงลดลงต่อเนื่องจากการผลิตไฟฟ้าโดย gas engine cogeneration ขนาด 965 kWe และพลังงานไฟฟาลดลงจากการนำ direct-fired absorption chiller ขนาด 144 tons (เทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าขนาด 86 kWe) ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าที่ต้องซื้อจากการไฟฟ้าจะแสดงดังรูป



รูปที่ 7 การออกแบบระบบ cogeneration ร่วมกับ absorption chiller

## 6. การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

ในการประเมินศักยภาพทางด้านเศรษฐศาสตร์ใช้อัตราแลกเปลี่ยนเงินตรา 40 บาท ต่อ 1 US\$ อัตราส่วนลด(i) 8.25 เปอร์เซ็นต์ต่อปี ราคาก๊าซธรรมชาติ 115.7 บาทต่อล้านบีทียู อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD โดยมีค่า Ft เท่ากับ 0.6152 บาทต่อหน่วย ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 % อายุโครงการ 20 ปี

วิธีการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์

1. คำนวณเงินลงทุนระบบ Cogeneration และ absorption chiller [7]

- ราคา gas turbine รวมชุด generator สามารถหาได้จาก

$$C_{gt} = (1082.3 - 0.257 S_{gt}) \times S_{gt} \times (1+VAT) \times B\$ \quad (3)$$

- ราคา gas engine generator set สามารถหาได้จาก

$$C_{ge} = (60727 + 224.03 S_{ge}) \times (1+VAT) \times B\$ \quad (4)$$

- ราคา waste heat boiler ผลิตไอน้ำที่ความดัน 1.5 kg/cm<sup>2</sup>g

$$C_{hrb@1.5\text{ kg/cm}^2} = (100 S_{gt}) \times (1+VAT) \times B\$ \quad (5)$$

- ราคา waste heat boiler ผลิตไอน้ำที่ความดัน 8 kg/cm<sup>2</sup>g

$$C_{hrb@8\text{ kg/cm}^2} = (150 S_{gt,ge}) \times (1+VAT) \times B\$ \quad (6)$$

- ราคา single effect absorption chiller สามารถหาได้จาก

$$C_{seac} = (61857 + 134.29 S_{seac}) \times (1+VAT) \times B\$ \quad (7)$$

- ราคา double effect absorption chiller สามารถหาได้จาก

$$C_{deac} = (600 S_{deac}) \times (1+VAT) \times B\$ \quad (8)$$

- ราคา direct-fired effect absorption chiller สามารถหาได้จาก

$$C_{dfac} = (103422 + 284.74 S_{seac}) \times (1+VAT) \times B\$ \quad (9)$$

- ราคาติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมด สมมติให้มีค่าเท่ากับ 10 % ของราคาอุปกรณ์ (C<sub>install</sub>)

- ค่าก่อสร้างสถานี่ควบคุมและวัดปริมาณก๊าซเชื้อเพลิง [8]

ในกรณีที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงสำหรับระบบ cogeneration จำเป็นจะต้องซื้อก๊าซธรรมชาติจาก ปตท. โดยที่ผู้ซื้อก๊าซจะต้องรับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการสร้างสถานี่ควบคุมและวัดปริมาณก๊าซ รวมถึงระบบท่อต่อเข้าโรงงาน ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$C_{NGCM} = 5,002,400 \times (1+VAT) \quad (10)$$

2. คำนวณรายได้จากการขายอุปกรณ์ที่เลิกใช้งาน

- รายได้จากการขาย compression chiller ซึ่งใช้งานมาแล้ว 7 ปี

$$C_{cc} = (150 S_{cc} - (7 \times 7.5 S_{cc})) \times (1+VAT) \times B\$ \quad (11)$$

หมายเหตุ compression chiller เดิมมี 2 ขนาด 350 tons และ 500 tons ในขณะที่อาคารมีความต้องการขนาดการทำควมเย็น 715 tons ดังนั้น กรณีที่ absorption chiller ที่นำมาใช้ใหม่ในอาคารมีขนาด 215 –364 tons สามารถขาย compression chiller ขนาด 350 tons ได้ และถ้าขนาด absorption chiller เกิน 364 tons สามารถขาย compression chiller ขนาด 500 tons ได้

3. คำนวณรายจ่ายรายปีที่สามารถลดลงได้

- ค่าไฟฟ้าในระบบเดิม ใช้อัตรา TOD สามารถหาได้จาก

$$C_{ele(old)} = (285.05(OP) + 58.88(PP-OP) + (1.0582+Ft)E) \times 12(1+VAT) \quad (12)$$

- ค่าบำรุงรักษา compression chiller ใช้อัตราข้อมูลรายงานการศึกษาของ US department of Energy หัวข้อ central cooling compressive chillers [5]

$$C_{cc,O\&M} = 4,800 \left( \frac{S_{cc}}{500} \right)^{0.42} \times (1+VAT) \times B\$ \quad (13)$$

4. รายจ่ายรายปีที่ในระบบใหม่

- ค่าเชื้อเพลิง ก๊าซธรรมชาติ (NG) เมื่อออกแบบให้ระบบ cogeneration ทำงานวันละ 17 ชั่วโมง

$$C_{fuel} = 22,338,000 F_{kw} \times \frac{P_{NG}}{1,055,000} \times (1+VAT) \quad (14)$$

- ค่าบำรุงรักษา gas turbine cogeneration กำหนดให้เท่ากับ 0.003 \$/kWh และ gas engine cogeneration กำหนดให้เท่ากับ 0.007 \$/kWh

- ค่าบำรุงรักษา absorption chiller สมมติให้เท่ากับ 1 % ของราคา absorption chiller

- ค่าไฟฟ้าที่ต้องซื้อเพิ่มจากการไฟฟ้า ใช้อัตรา TOD สามารถหาได้จากสมการ

$$C_{ele(new)} = (285.05(OP) + 58.88(PP-OP) + (1.0582+Ft)E) \times 12(1+VAT) \quad (15)$$

5. หาเงินลงทุนสุทธิ (TIC) และค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้ต่อปี (CFn)

กรณีตัวอย่างเมื่อใช้ internal combustion engine generator set ทำงานร่วมกับ direct-fired absorption chiller (gas engine generator set)

$$TIC = C_{ge} + C_{deac} + C_{install} + C_{NGCM} - C_{cc} \quad (16)$$

$$CFn = C_{ele(old)} + C_{CCO\&M} - C_{NG,fuel} - C_{ge\ O\&M} - C_{dfac\ O\&M} - C_{ele(new)} \quad (17)$$

6. ระยะเวลาคืนทุน [6]

ค่าเงินเปลี่ยนตามเวลา สามารถหาระยะเวลาคืนทุน (n) ได้จาก

$$TIC = CFn \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (18)$$

7. อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) สามารถหาค่า i ได้จาก

$$TIC = CFn \frac{(1+i)^{20} - 1}{i(1+i)^{20}} \quad (19)$$

## 7. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำระบบ cogeneration และ absorption chiller มาใช้ในอาคารศูนย์การค้าแห่งหนึ่ง ข้อมูลที่นำมาศึกษาในครั้งนี้ได้จากการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของศูนย์การค้า super center แห่งหนึ่ง

ศูนย์การค้าดังกล่าวเปิดให้บริการวันละ 16 ชั่วโมง โดยเปิดบริการช่วงเวลา 08.00 น. - 24.00 น. ของทุกวัน มีความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 1,814 kW และมีความต้องการความเย็นเพื่อปรับอากาศ 715 tons เมื่อทำการศึกษาเพื่อนำระบบ cogeneration 2 ชนิด คือ gas turbine cogeneration และ internal combustion engine cogeneration และระบบ absorption chiller 3 ชนิด คือ single effect absorption chiller, double effect absorption chiller และ direct-fired absorption chiller โดยออกแบบให้ระบบ cogeneration รองรับ electrical base load และ electrical intermediate load ของอาคารและให้ทำงานวันละ 17 ชั่วโมง เริ่มเวลา 07.00 น. - 24.00 น.

ข้อมูลทางเทคนิค และทางด้านเศรษฐศาสตร์ของ gas turbine cogeneration จากบริษัท Pratt & Whitney Canada Corp. Internal combustion engine cogeneration จากบริษัท Caterpillar Co.ltd., และ absorption chiller จากบริษัท Thermax และ บริษัท Trane เชื้อเพลิงที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ ก๊าซธรรมชาติ โดยราคาก๊าซธรรมชาติ คิดที่ 115.7 บาทต่อล้านบีทียู การคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOD โดย Ft เท่ากับ 0.6152 บาทต่อหน่วย อัตราส่วนลด เท่ากับ 8.25 % และอัตราแลกเปลี่ยนเงินตรา 40 บาทต่อ 1 US\$

ระบบ internal combustion engine cogeneration ไม่เหมาะที่จะทำงานร่วมกับ single effect absorption chiller เนื่องจาก ค่า H/P ของอาคารมีค่าสูงกว่า H/P ของ internal combustion engine cogeneration กรณีนี้จึงไม่นำมาวิเคราะห์ในที่นี้ diesel engine cogeneration ไม่มีความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ทุกกรณี เนื่องจากราคาน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าสูง

จากการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์กรณีที่เหลือสรุปผลได้ดังนี้

1. gas engine cogeneration รองรับ electrical intermediate load 965 kW ทำงานร่วมกับ direct-fired absorption chiller ขนาด 144 tons ให้อัตราผลตอบแทนภายในที่ดีที่สุด 21.2 เปอร์เซ็นต์ และระยะเวลาคืนทุน 6.04 ปี

2. gas engine cogeneration รองรับ electrical intermediate load 965 kW ทำงานร่วมกับ double effect absorption chiller ขนาด 200 tons ให้อัตราผลตอบแทนภายในที่ 20.5 เปอร์เซ็นต์ และระยะเวลาคืนทุน 6.25 ปี

3. gas engine cogeneration รองรับ electrical base load 400 kW ทำงานร่วมกับ double effect absorption chiller ขนาด 87 tons ให้อัตราผลตอบแทนภายในที่ 18.4 % และระยะเวลาคืนทุน 7.15 ปี

สำหรับ gas turbine cogeneration เมื่อทำงานร่วมกับ absorption chiller ทั้ง 3 แบบ ให้อัตราผลตอบแทนภายในอยู่ในช่วง 6.08-15.37 และ ระยะเวลาคืนทุนอยู่ในช่วง 8.9 – 35.5 ปี ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจาก ราคา gas turbine engine cogeneration เมื่อคิดต่อ kW มีค่าสูงมาก

ที่สุด หากราคา gas turbine engine cogeneration ลดลงมากก็จะให้ผลตอบแทนที่ดีขึ้น

## รายการสัญลักษณ์

B\$	อัตราแลกเปลี่ยนเงินตรา	ac	absorption chiller
C	เงินลงทุน	cc	compressor chiller
C°	ค่าใช้จ่ายรายปี	ge	gas engine generator set
COP	สัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำความเย็น	gt	gas turbine generator set
E	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	hrb	heat recovery boiler
FC	fuel consumption	cwp	cooling water pump
Ft	อัตราค่าไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงจากค่าฐาน	cft	cooling tower fan
OP	on peak (kW)	seac	single effect absorption chiller
PP	partial peak (kW)	deac	double effect absorption chiller
P	ราคา	dfac	direct-fired absorption chiller
Q	ภาวะความร้อน, ภาวะความเย็น	NG	ก๊าซธรรมชาติ
S	ขนาด	CM	อุปกรณ์วัดและควบคุม
TOD	อัตราค่าไฟฟ้าที่แตกต่างกันตามช่วงเวลาของวัน	O&M	operating and maintenance
W	พลังไฟฟ้า	Old	ระบบเดิม
		New	ระบบใหม่

## เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2535, พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม.
- [2] จุลละพจน์ จุลละโพธิ, 2540, เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม, การสัมมนาเรื่อง Cogeneration ระบบผลิตพลังงานคุณภาพสูง, ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย, หน้า 29-57.
- [3] วารุณี เตีย, 2538, ระบบ Cogeneration, เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่อง การรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตรายเล็กและโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าที่แตกต่างกันตามช่วงเวลาของวัน, สำนักคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, หน้า 1-11.
- [4] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, ระบบการทำความเย็นแบบดูดซึม, เอกสารเผยแพร่ชุดความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการใช้พลังงาน, ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย, หน้า 1-5.
- [5] <http://www.capi.ufl.edu>
- [6] สมชาย วงศ์วิเศษ, 2541, การออกแบบและการหาสภาพที่เหมาะสมที่สุดทางความร้อน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [7] สมมาศ แก้วล้วน, 2544, ศักยภาพการนำระบบ Cogeneration และ Absorption Chiller มาใช้ในอาคารธุรกิจบางประเภท, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุณหภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [8] <http://www.ptt.or.th/csc>