

การอนุรักษ์พลังงานใน KMITNB โดยการสะสมน้ำเย็น

A Case Study of Energy Conservation in KMITNB using Chilled Water Storage

สมเกียรติ บุญนาศะ *

ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถ.พิบูลสงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทร 0-2913-2500 ต่อ 6614, โทรสาร 0-2587-4356, E-mail: somkiat@consultant.com

Somkiat Boonnasa *

Department of Mechanical Engineering Technology, College of Industrial Technology
King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok, 1518 Pibulsongkram Rd., Bangsue, Bangkok 10800, Thailand
Tel. 0-2913-2500 ext. 6614, Fax 0-2587-4356, E-mail: somkiat@consultant.com

บทคัดย่อ

การศึกษาเพื่อการอนุรักษ์พลังงานของอาคารในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ โดยการสะสมพลังงานในรูปของน้ำเย็น ซึ่งจะต้องประเมินความเป็นไปได้ทั้งทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ควบคู่กัน ค่าไฟฟ้าของสถาบันเป็นประเภท 4.2.2 ใช้อัตรา TOU โดยแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลาคือ On Peak และ Off Peak การวิจัยจำเป็นต้องหาภาระการใช้ไฟฟ้าและความเย็นตามช่วงเวลาต่างๆ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาผลที่สามารถประหยัดได้ ระยะเวลาคุ้มทุน อัตราผลตอบแทนภายใน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และกระแสเงินสดหมุนเวียน การลดค่าไฟฟ้าโดยอาศัยหลักการคือผลิตน้ำเย็นในช่วงเวลาและปริมาณที่เหมาะสมเพื่อเก็บไว้จนถึงและนำมาใช้ตามปกติ สิ่งที่สำคัญคือช่วงเวลาและอัตราการผลิตน้ำเย็น เพราะจะส่งผลโดยตรงต่อเงินลงทุนและค่าไฟฟ้า จากการศึกษาพบว่า การเดินเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสมคือเดินเครื่องทำน้ำเย็นช่วง Off Peak ของวันจันทร์-ศุกร์ (22.00 น. – 9.00 น.) 1,662 TR และวันเสาร์-อาทิตย์(ตลอดทั้งวัน) 343 TR สามารถลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดและค่าพลังงานไฟฟ้าได้ 48.5%, 89% ตามลำดับ สำหรับทางด้านเศรษฐศาสตร์สามารถประหยัดได้ 24.8 MBaht/y ระยะเวลาคุ้มทุน 3.8 y อัตราผลตอบแทนภายใน 49.76% และมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 390.6 MBaht/y ตามลำดับ

คำสำคัญ; การสะสมพลังงาน/การสะสมน้ำเย็น/พลังงานที่ประหยัดได้

Abstract

An energy conservation of building in King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok using thermal energy storage, which stores a chilled water, will be assessed technically and economically. The electric cost is in 4.2.2. TOU tariff consists of those On Peak and Off Peak. The electrical and cooling load profile will be known before the percentage saving can be calculated. Finally, pay back period, internal rate return, net present value and cash flow can then be evaluated. The electric cost can be reduced if the production of chilled water of the storage tank is well managed in both the capacity and time schedule. It is found that the optimum operation on Off Peak

* Corresponding author

of Monday-Friday (10 P.M.–9 A.M.), Saturday-Sunday (all hours) are 1,662 and 343 TR respectively. In doing this the demand charge and energy consumption can be lowered about 48.5%, 89% respectively. In economic analysis, saving, pay back period, internal rate return, net present value are 24.8 MBaht/y, 3.8 years, 49.76% and 390.6 MBaht respectively.

Keyword; Thermal energy storage/Chilled water storage/Energy saving

1. บทนำ

สถาบันการศึกษาหรืออาคารสูงทั่วไป จะมีค่าไฟฟ้าสำหรับระบบปรับอากาศเฉลี่ยประมาณ 55-65% ของค่าไฟฟ้าทั้งหมดและมีความต้องการไฟฟ้าสูงสุดในช่วงบ่ายเพราะเป็นเวลาที่ความร้อนจากภายนอกถ่ายเทเข้าสู่อาคารสูงสุด แนวโน้มการพลังงานของอาคารเพิ่มขึ้นทุกปีตั้งตัวอย่างของค่าไฟฟ้าของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ สาเหตุมาจากจำนวนของอาคารเพิ่มขึ้นทุกปีและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศลดลงตามอายุการใช้งาน ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้เพื่อศึกษาหาแนวทางการลดค่าใช้จ่ายในส่วนของระบบปรับอากาศ

การกักเก็บความเย็นในรูปของน้ำเย็นจะประกอบด้วย เครื่องทำน้ำเย็นถึงเก็บน้ำเย็น ระบบปั๊ม ระบบท่อและคอยล์เย็นเป็นต้น ถึงเก็บน้ำเย็นที่ติดตั้งสามารถอยู่บนดินหรือใต้ดินก็ได้ ถ้าอยู่ใต้ดินจะมีราคาแพงกว่าและซ่อมบำรุงยากแต่ประหยัดพื้นที่ ระบบมีหลักการพื้นฐานคือผลิตน้ำเย็นในช่วงค่าไฟฟาราคาถูกและเก็บไว้จนถึงเพื่อนำมาใช้ในช่วงที่ต้องการ ข้อดีของระบบนี้คือราคาถูกและความซับซ้อนน้อยกว่าแบบการกักเก็บความเย็นในรูปของน้ำแข็ง ตลอดจนสามารถทำเป็นน้ำสำรองสำหรับระบบดับเพลิงได้ในปัจจุบันอาคารสูงและสถาบันการศึกษาในประเทศไทยมีอัตราการใช้ไฟฟ้า 2 แบบ คือ

1. แบบเดิม เรียกว่า TOD (Time of day) แบ่งเป็น 3 ช่วงเวลา คือ On peak, Partial peak และ Off peak
2. แบบใหม่ เรียกว่า TOU (Time of use) แบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา คือ On peak และ Off peak

สำหรับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือปัจจุบันเปลี่ยนมาใช้เป็นแบบ TOU ประเภท 4.2.2 ขนาดแรงดันช่วง 12-24 kV

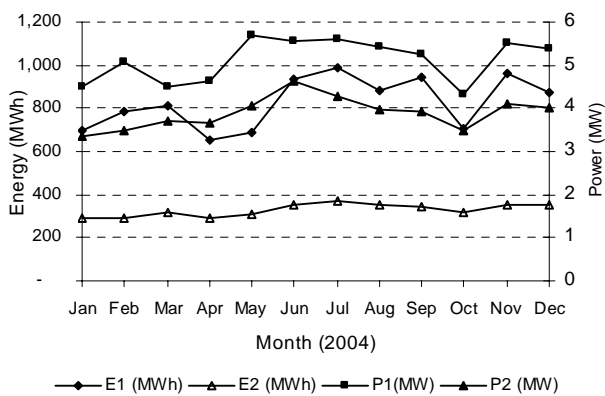
2. การใช้ไฟฟ้าและการระดมเงิน

เนื่องจากสถาบันฯ ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเกือบทั้งหมด ดังนั้นการหาภาระทางความเย็นจึงต้องอ้างถึงรายงานการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานโดยละเอียด กล่าวคือค่าไฟฟ้าของสถาบันฯ ประมาณ 55% เป็นของระบบปรับอากาศ

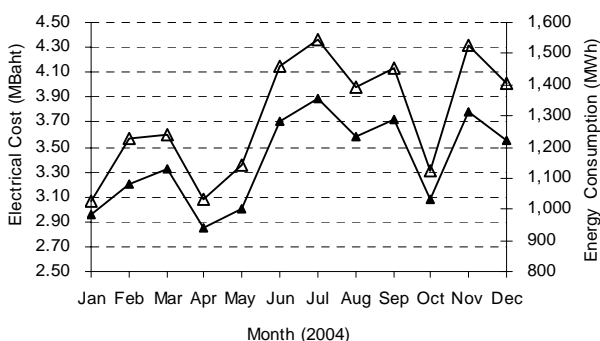
2.1 การใช้ไฟฟ้า

การใช้พลังงานไฟฟ้าของสถาบันฯ เป็นแบบ TOU แบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา [1] คือ

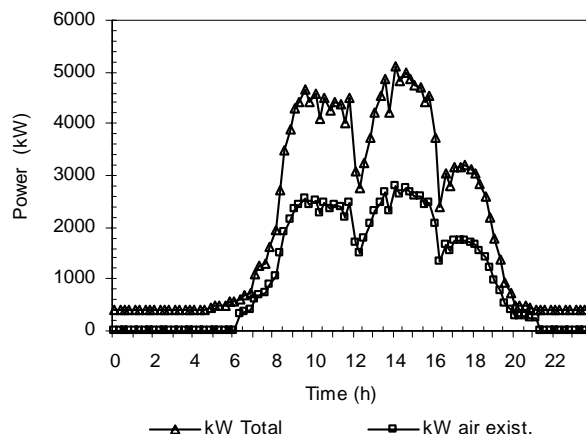
1. On peak เวลา 9.00 - 22.00 น. วันจันทร์ - วันศุกร์
2. Off peak เวลา 22.00 - 9.00 น. วันจันทร์ - วันศุกร์
เวลา 0.00 - 24.00 น. วันเสาร์ - วันอาทิตย์และวันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย)



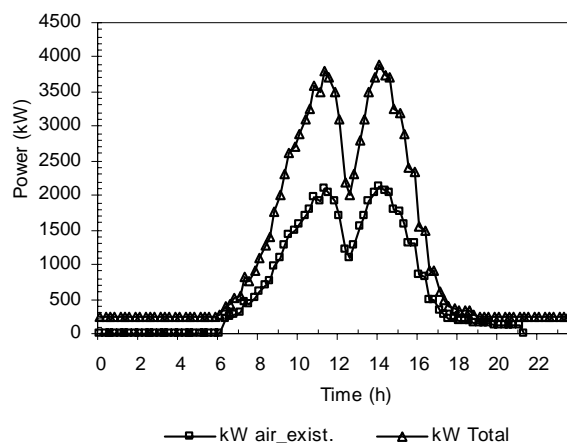
รูปที่ 1 กำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าปี พ.ศ. 2547



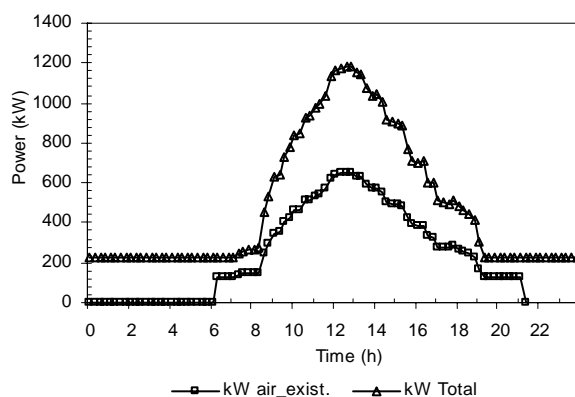
รูปที่ 2 พลังงานไฟฟ้ารวมและค่าไฟฟ้าปี พ.ศ. 2547



รูปที่ 3 การใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันธรรมดา(จันทร์-ศุกร์)



รูปที่ 4 การใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันเสาร์



รูปที่ 5 การใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันอาทิตย์

การหา Power Profile ของสถาบันฯ โดยการใช้เครื่องมือ Power recorder วัดระหว่างหม้อแปลงและตู้ MDB รวมทั้งสถาบันฯ และเฉลี่ยจากบิลค่าไฟฟ้าของปี พ.ศ. 2547 ทั้ง 12 เดือน ดังรูปที่ 1-5

จากรูปที่ 1 แสดงกำลังไฟฟ้าในช่วง On Peak และกำลังไฟฟ้าในช่วง Off Peak ของเดือนต่างๆ จะพบว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วง On Peak คือประมาณ 5.7 MW ในเดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อนและเปิดเทอมพอดี ส่วนค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วง On Peak สูงสุดประมาณ 985 MWh ในเดือนกรกฎาคม ค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าในช่วง On peak (P1) เฉลี่ยคือ 5.12 MW

ค่าเฉลี่ยของพลังงานไฟฟ้าในช่วง On peak (E1) เฉลี่ยคือ 825.75 MWh

ค่าเฉลี่ยของพลังงานไฟฟ้าในช่วง Off peak (E2) เฉลี่ยคือ 329.0 MWh

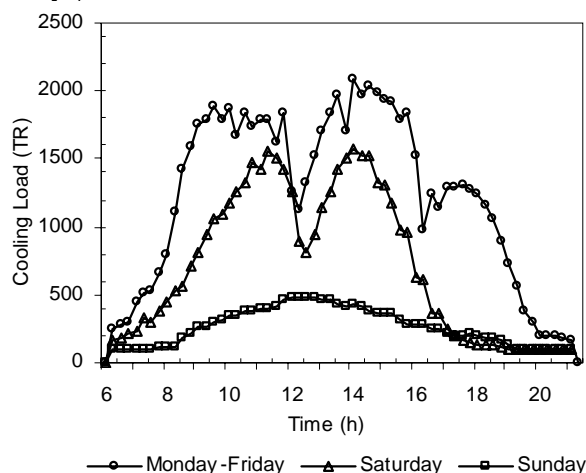
สมการที่ใช้คำนวณค่าไฟฟ้าแบบ TOU (ประเภท 4.2.2/12-24kV) คือ $[(2.695 \times E1) + (1.1914 \times E2) + (132.93 \times P1) + (F \times E) + 228.17] \times 1.07$ (1)

จากรูปที่ 2 แสดงการใช้พลังงานไฟฟารวมและค่าไฟฟ้าของเดือนต่างๆ จะพบว่า การใช้พลังงานไฟฟารวมสูงสุดประมาณ 1,360 MWh ในเดือนกรกฎาคมและมีค่าไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 4.4 MBaht ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดปีคือ 3.75 MBaht/m หรือประมาณ 3.243 Baht/kWh โดยมีค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) เฉลี่ยประมาณ 0.385

จากรูปที่ 6 แสดงภาระความเย็นที่ใช้ตามช่วงเวลาต่างๆ เฉลี่ยของวันจันทร์ถึงวันศุกร์ ซึ่งเป็นช่วงที่มีการใช้ห้องเรียนมากที่สุด จะพบว่าจะเพิ่มสูงขึ้นและลดลงในช่วงเวลา 9.00 – 11.30 น. และจะเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในช่วง 13.30 – 14.30 น. ซึ่งมีค่าสูงสุดคือประมาณ 2,400 TR และค่อยๆ ลดลงมาจนถึงเวลาประมาณ 21.30 น.

สำหรับวันเสาร์ เนื่องจากในวันนี้มีการเรียนแต่จะน้อยกว่าวันธรรมดา จะพบว่าภาระความเย็นจะเพิ่มสูงขึ้นและสูงสุดในช่วงเวลา 11.30 น. แล้วจะเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในช่วงเวลา 13.30 – 14.30 น. ซึ่งมีค่าสูงสุดคือประมาณ 1,800 TR และจะค่อยๆ ลดลงมาจนถึงเวลาประมาณ 21.00 น.

สำหรับวันอาทิตย์ ซึ่งเป็นวันที่มีนักศึกษาเข้ามาเรียนแต่น้อยกว่าวันเสาร์ จะพบว่าสูงสุดในช่วงเวลา 12.00 – 13.00 น. คือประมาณ 550 TR



รูปที่ 6 ภาระความเย็นและน้ำเย็นที่ผลิตตามช่วงเวลาต่างๆ ของวัน

3.1 หลักการทำงานของระบบ

การเก็บน้ำเย็นสะสมไว้ในถังเพื่อสะสมความเย็นและสามารถนำมาใช้ในช่วงเวลาที่ต้องการได้ สำหรับเวลาที่ทำน้ำเย็นนั้นจะต้องเดินเครื่องทำน้ำเย็นและสงบไว้จนถึง มักนิยมทำในช่วงเวลาค่าไฟฟ้ามีราคาแพง ข้อดีของระบบนี้คือช่วยลดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าและขนาดของเครื่องทำน้ำเย็น

หลักการการทำงานของระบบกักเก็บน้ำเย็นในถัง

1. กรณีที่ช่วงผลิตน้ำเย็นมากกว่าความต้องการของภาระความเย็นเครื่องทำน้ำเย็นส่งน้ำเย็นอุณหภูมิประมาณ 5-6 °C จากท่อหมายเลข 1,2 และ 4 โดยที่ท่อหมายเลข 4 ส่งไปที่คอยล์เย็น ส่วนที่เหลือจะไหลมาที่ท่อเบอร์ 3 และไหลเข้าทางด้านล่างของถังเก็บ เมื่อน้ำเย็นผ่านคอยล์เย็นออกทางท่อหมายเลข 6 มีอุณหภูมิประมาณ 10-12 °C และมารวมกับน้ำเย็นที่ออกจากถังหมายเลข 7 ทำให้อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเย็นในท่อหมายเลข 8 เท่ากับท่อหมายเลข 2 น้ำเย็นไหลกลับท่อหมายเลข 8,9 และ 10 ในกรณีที่อุณหภูมิหมายเลข 8 ยังต่ำอยู่ วาล์ว 3 ทางจะเปิดให้น้ำเย็นจากท่อหมายเลข 8 ไหลมายังท่อหมายเลข 11 และ 2 ตามลำดับ

2. กรณีที่ช่วงการผลิตน้ำเย็นน้อยกว่าความต้องการของภาระความเย็นช่วงนี้เป็นช่วงที่เครื่องทำน้ำเย็นเดินเครื่องน้อยหรืออาจไม่เดินเครื่องเลย ซึ่งจะต้องคำนวณปริมาณน้ำเย็นในถังให้เหมาะสมกับภาระความเย็นไว้แล้วสามารถแบ่งเป็น

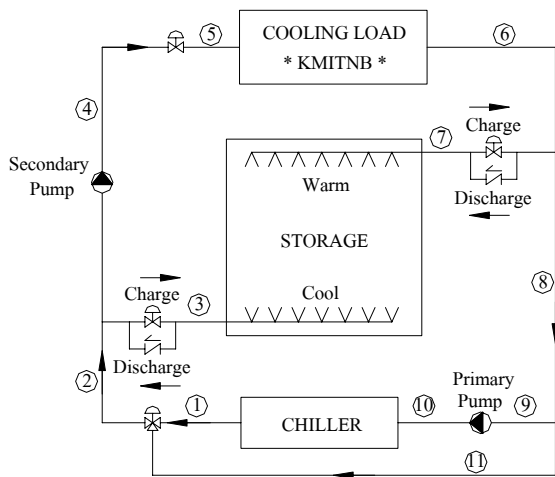
2.1 กรณีที่เครื่องทำน้ำเย็นไม่เดินเครื่อง

น้ำเย็นจะถูกปั๊มทุติยภูมิดูดน้ำออกจากถังผ่านท่อหมายเลข 3,4 และ 5 แล้วไหลเข้าคอยล์เย็นและออกมาทางท่อหมายเลข 6 แล้วไหลเข้าทางด้านบนของถังผ่านท่อหมายเลข 7 โดยที่อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเย็นในท่อหมายเลข 3 จะเท่ากับหมายเลข 7

2.2 กรณีที่เครื่องทำน้ำเย็นเดินเครื่องผลิตน้ำเย็นน้อยกว่าความต้องการของภาระความเย็น

น้ำเย็นที่ผลิตได้ ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นผ่านท่อหมายเลข 1 และ 2 น้ำเย็นจะไหลไปที่ท่อหมายเลข 4 โดยที่น้ำเย็นจะไหลออกมาจากถังน้ำเย็นจะไหลออกมาจากถังโดยผ่านท่อหมายเลข 3 จะไหลออกมารวมกับท่อหมายเลข 2 เนื่องจากอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเย็นในท่อหมายเลข 2 ไม่พอกับความต้องการน้ำเย็น จึงต้องดูดน้ำเย็นออกมาจากถังผ่านท่อหมายเลข 3 หรือกล่าวได้ว่า อัตราการเชิงมวลของน้ำเย็นในท่อหมายเลข 2 และ 3 รวมกันเท่ากับหมายเลข 4

3 การสะสมน้ำเย็นในถัง



รูปที่ 7 หลักการทำงานของระบบสะสมน้ำเย็นในถัง

เมื่อน้ำเย็นไหลผ่านคอยล์เย็นออกมาโดยผ่านท่อหมายเลข 6 และมีน้ำส่วนหนึ่งไหลผ่านท่อหมายเลข 7 เพื่อเข้าทางด้านบนของถัง ซึ่งน้ำเย็นจำนวนนี้จะมีปริมาณเท่ากับน้ำเย็นที่ไหลออกมาจากถังผ่านท่อหมายเลข 3 น้ำเย็นที่เหลือก็จะไหลผ่านท่อหมายเลข 8,9 และ 10 ตามลำดับ

จำนวน TR-h ของภาระความเย็นของสถาบันฯ ในหนึ่งสัปดาห์คือ

วันจันทร์ – วันศุกร์	= 93,278	TR-h
วันเสาร์	= 10,707	TR-h
วันอาทิตย์	= 3,918	TR-h
รวม	= 107,903	TR-h

3.2 การคำนวณหาขนาดของถัง

สมการสำหรับการหาขนาดของถังเก็บน้ำเย็น [2,3]

$$V(m^3) = \frac{TES \text{ Capacity in ton-hours}}{T_{CHWR} - T_{CHWS}} \times 3.785 \quad (2)$$

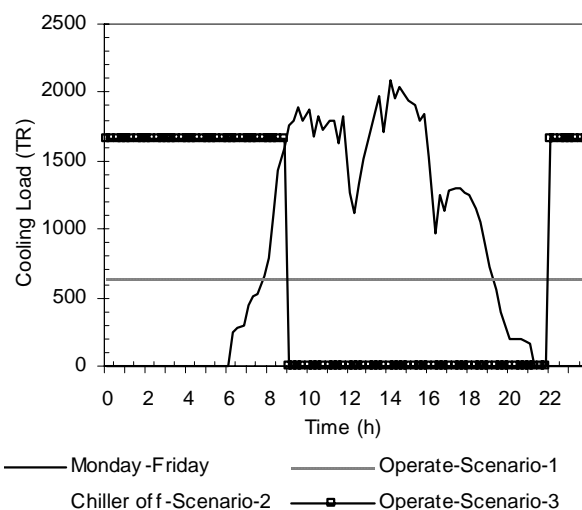
$$\text{โดย } TES(TR-h) = H \times \sum (PCL - RCL) \quad (3)$$

TES (TR-h) สามารถคำนวณได้จากภาระความเย็น (Cooling load) รวมของแต่ละวันในหนึ่งสัปดาห์โดยแบ่งเป็นวันธรรมดา วันเสาร์และวันอาทิตย์ ดังรูปที่ 6 สำหรับวิธีการเดินเครื่องทำน้ำเย็นในการวิจัยนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 แบบ ดังรูปที่ 8-10

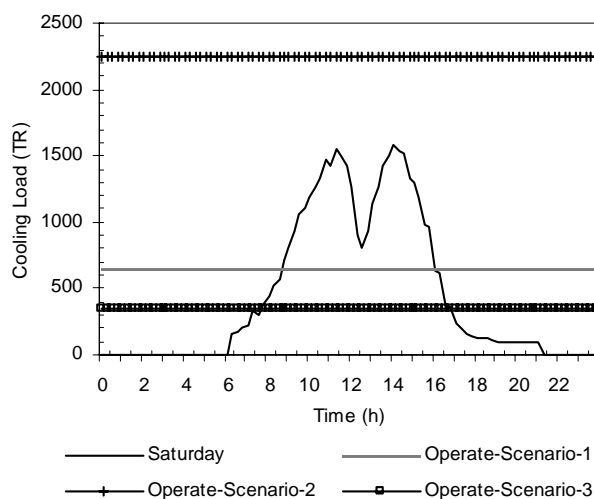
4. การวิเคราะห์ทางเทคนิค

ลักษณะภาระความเย็นของสถาบันฯ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ ดังรูปที่ 6 คือ วันธรรมดา(จันทร์-ศุกร์) วันเสาร์และวันอาทิตย์ ดังนั้นปริมาณน้ำเย็นที่ใช้สำหรับระบบปรับอากาศจะขึ้นอยู่กับภาระความเย็นสามารถศึกษาเพื่อหาแนวทางการเดินเครื่องที่เหมาะสมได้ 3 แบบ ดังรูปที่ 8-10 คือ

1. เดินเครื่องทำน้ำเย็นเท่ากันทุกวันตั้งแต่วันจันทร์ถึงวันอาทิตย์
2. เดินเครื่องทำน้ำเย็นเฉพาะวันเสาร์และอาทิตย์ (Off Peak)
3. เดินเครื่องทำน้ำเย็นวันจันทร์ถึงวันศุกร์เฉพาะช่วง Off Peak แต่วันเสาร์และวันอาทิตย์เดินเครื่องทำน้ำเย็นตลอดเวลา

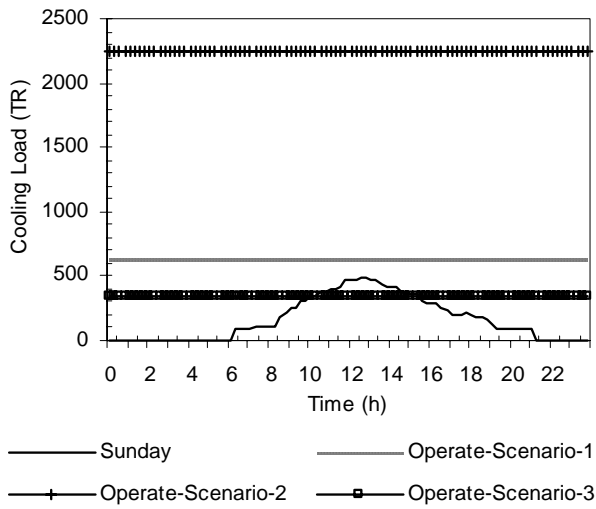


รูปที่ 8 เดินเครื่องทำน้ำเย็นตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันธรรมดา (แบบที่ 1,2 และ 3)

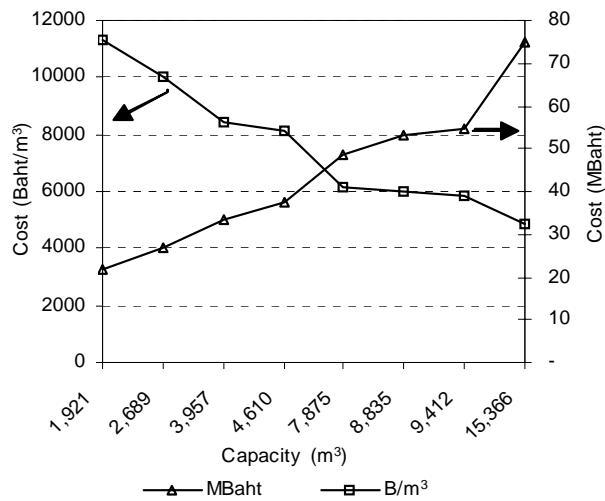


รูปที่ 9 เดินเครื่องทำน้ำเย็นตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันเสาร์ (แบบที่ 1,2 และ 3)

โดยเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนของสถาบันฯ ปัจจุบันใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 1.2 kW/TR สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบหล่อเย็นด้วยน้ำ มีการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 0.96 kW/TR อุปกรณ์อื่นๆที่ใช้ในระบบก็เก็บความเย็นด้วยน้ำเช่น บัมม่าน้ำเย็น บัมม่าน้ำหล่อเย็น คอยล์เย็นและคอยล์ทาวเวอร์ ใช้ไฟฟ้าในขณะที่เดินเครื่องรวมเท่ากับ 25% ของกำลังไฟฟ้ารวมของเครื่องทำน้ำเย็นที่เดินเครื่องตามช่วงเวลาต่างๆ



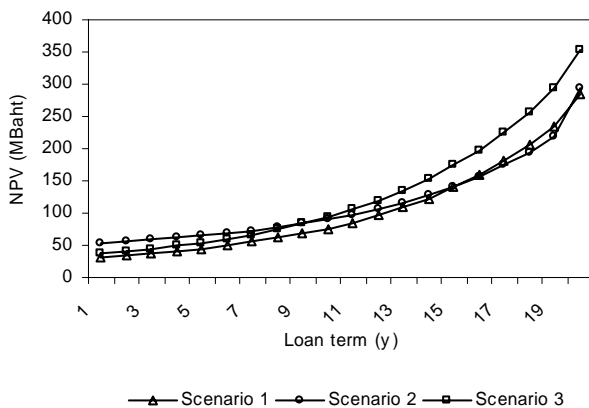
รูปที่ 10 เติ้นเครื่องทำน้ำเย็นตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันอาทิตย์ (แบบที่ 1,2 และ 3)



รูปที่ 11 ราคาถึงเก็บน้ำเย็นรวมค่าติดตั้ง (40 Baht/US) [4]

4.2 ทางด้านเศรษฐศาสตร์

จากหัวข้อที่ผ่านมาสามารถศึกษาหาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ทั้ง 3 แบบ โดยนำมาเปรียบทางด้านการลงทุนและผลตอบแทนของโครงการ



รูปที่ 12 กระแสเงินสดของโครงการทั้ง 3 แบบ

ตารางที่ 1 รายละเอียดของอุปกรณ์ ชั่วโมงการทำงานของระบบแต่ละแบบ

Descriptions	Units	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
1. Operating time	h/y	8,640	2,304	4,944
2. Chiller operate	TR	650	2,248	1,663
3. Chiller rated	TR/ea	400/(2+1)*	800/(3+1)*	500/(4+1)*
4. Cooling tower rate	TR/ea	450/(4+1)*	1,000/(3+1)*	650/(4+1)*
5. Chilled water pump	kW/ea	45/(2+1)*	90/(3+1)*	60/(4+1)*
6. Cooling water pump	kW/ea	30/(2+1)*	60/(3+1)*	45/(4+1)*
7. TES Capacity	TR-h	15,414.7	53,951.3	1,662.7
8. Storage tank	m ³	9,869.24	34,542.34	1,064.58

หมายเหตุ * คือ (เดินเครื่อง + สักรอง)

ตารางที่ 2 ราคาประเมินของระบบทั้ง 3 แบบ

Descriptions	Units	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
1. Storage tank	MBaht	56.42	153.79	15.99
2. Cost of chillers	MBaht	1.018	3.10	2.42
3. Cooling towers	MBaht	1.026	3.13	2.44
4. Chilled water pumps	MBaht	0.5	1.33	1.11
5. Cooling water pumps	MBaht	0.33	0.88	0.83
6. AHU system	MBaht	23.0	70.16	54.81
7. Labor cost	MBaht	7.0	21.33	16.67
Total (1-7)	MBaht	89.32	253.74	94.28
8. O&M	MBaht/y	0.89	2.54	0.94

ตารางที่ 3 สรุปค่าที่สามารถประหยัดได้ของการเดินเครื่องแต่ละแบบ

Descriptions	Units	Present	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
1. Power(Peak-P1)	MW	5.121	2.88	2.72	2.64
2. Power(Off Peak-P2)	MW	3.89	2.33	3.77	3.25
3. Energy(Peak-E1)	MWh/m	825.75	523.7	441.54	123.75
4. Energy(Off Peak-E2)	MWh/m	329.04	226.61	466.75	215.78
5. Energy(Total-E)	MWh/m	1,154.79	753.28	908.29	127.0
6. Electrical cost	MBaht/m	4.01	2.37	2.63	1.94
7. Annual saving	MBaht/y	-	19.62	16.56	24.82

ตารางที่ 4 สรุปผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

Descriptions	Units	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
1. Installation cost	MBaht	89.32	253.74	94.28
2. O&M (increase 10%/y)	MBaht/y	0.89	2.54	0.94
3. Loan terms	y	20	20	20
4. Salvage value (15% of installation cost)	MWh/m	17.86	50.75	18.86
5. Taxes	%	8	8	8
6. Interest rate	%	3	3	3
7. Discount rate	%	15	15	15
8. Energy saving	MBaht/y	19.62	16.56	24.82
9. Payback period	y	4.55	15.32	3.8
10. Internal rate return (IRR)	%	45.2	26.7	49.76
11. Net Present Value (NPV)	MBaht	307.78	247.69	390.62

ตารางที่ 5 สรุปการเดินเครื่องทำน้ำเย็นของแต่ละแบบในหนึ่งสัปดาห์

Day	Units	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Monday-Friday	TR	642.3	-	1,662.3
	H	120	-	55
Saturday	TR	642.3	2,448	342.8
	H	120	24	24
Sunday	TR	642.3	2,448	342.8
	H	120	24	24

ตารางที่ 6 สรุป TR-h ของแต่ละแบบในหนึ่งสัปดาห์

Day	Units	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Monday-Friday	TR-h	77,073	-	91,449
Saturday	TR-h	15,415	53,591	8,226
Sunday	TR-h	15,415	53,591	8,226
Total	TR-h	107,903	107,903	107,903

5. สรุปผลการวิจัย

ปัจจุบันสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดปี พ.ศ.2547 ประมาณ 3.73 MBaht/m แนวทางที่จะสามารถลดค่าไฟฟ้าได้คือ การลดค่าไฟฟ้าทางด้านระบบปรับอากาศเพราะค่าไฟฟ้าประมาณ 55% เป็นของระบบปรับอากาศ เนื่องจากสถาบันฯ มีการใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเกือบทั้งหมดและมีช่วงเวลางานหลักในช่วงเวลาเดียวกันทุกห้องเรียน ดังนั้นการใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ที่มีการผลิตความเย็นอยู่ที่เดียวเป็นวิธีที่ดีและเหมาะสมที่สุด ดังนั้นการนำระบบกักเก็บความเย็นในรูปของน้ำเย็น จึงเป็นแนวทางที่สามารถนำมาใช้ได้

จากการศึกษาการเดินเครื่องทำน้ำเย็นเพื่อผลิตน้ำเย็นเก็บไว้ในถังมีทั้งหมด 3 แบบ เมื่อพิจารณาทางด้านการลงทุนแล้ว (จากตารางที่ 4) พบว่าแบบที่นำสนใจมี คือ แบบที่ 3 จะเดินเครื่องทำน้ำเย็นเพื่อผลิตน้ำเย็น โดยแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลาคือ

1. วันจันทร์ถึงวันศุกร์เดินเครื่องทำน้ำเย็นเฉพาะช่วงเวลา Off peak คือ เวลา 22.00 น. – 9.00 น. ภาระความเย็นที่ต้องผลิตประมาณ 1,662 TR
 2. วันเสาร์และวันอาทิตย์เดินเครื่องทำน้ำเย็นตลอดเวลา เพราะเป็นช่วง Off peak ความเย็นที่ต้องผลิตประมาณ 343 TR
- แบบที่ 3 นี้จะมีจุดคุ้มทุนประมาณ 3.8 ปี ค่าผลตอบแทนภายในโครงการ 49.76% และมูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิ 390.62 MBaht

6. เอกสารอ้างอิง

1. การไฟฟ้านครหลวง, "อัตราค่าไฟฟ้า.", 2543.
2. Dordan, C.E., Reindl, D., Bahnfleth, and Palo Alto. W., "Incool storage technology guide," Electric research institute., 2000.
3. Khan, K.H., Rasul, M.G., Khan, M.M.K., "Energy Conservation iBuildings: Cogeneration Coupled with Thermal-Energy Storage," Applied Energy., Vol.77, pp. 15-34, 2004.

4. "Chilled Water Storage-Project Reference." CBI STRATA-THERM, CBI Walker, Inc., 1996.

7. สัญลักษณ์

E	Total energy (kWh, MWh)
E1	Energy during on peak (kWh, MWh)
E2	Energy during off peak (kWh, MWh)
H	Operating time (h)
IRR	Internal rate return (%)
m	Month
NPV	Net present value (Baht , MBaht)
P1	Power - on peak (kW, MW)
P2	Power - off peak (kW, MW)
TES	Thermal energy storage
TR	Ton refrigerant (=12,000 Btu/h)
RCL	Require amount of cooling load (TR)
PCL	Produce the chilled water (TR)
y	year