

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อการจัดการพลังงาน

ชิต เหล่าวัฒนา¹

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

ธิดา ัญญาประเสริฐกุล²

บริษัท มหิศร จำกัด ไทยพาณิชย์ปาร์คพลาซ่า เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

บทคัดย่อ

การจัดการพลังงานของอาคารต้องสอดคล้องกับความต้องการดำเนินงานทางธุรกิจ ดังนั้นการวิเคราะห์หาทางเลือกอื่น ๆ ที่เป็นไปได้ในการจัดการพลังงานเพื่อรองรับความยืดหยุ่นของความต้องการดังกล่าวจึงเป็นเรื่องที่มีความจำเป็นอย่างยิ่ง ผลการวิเคราะห์ได้ถูกประยุกต์ใช้กับอาคารสำนักงานใหญ่ธนาคารไทยพาณิชย์ ในช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด ระบบทางกลและไฟฟ้าของอาคารนี้มีขนาดใหญ่และซับซ้อนที่สุดแห่งหนึ่งในภูมิภาคอาเซียนแบบจำลองเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรมภาษาวิซวลเบสิกสามารถคำนวณหาจุดทำงานต่างๆ ที่สนองทั้งจุดประสงค์ด้านประหยัดพลังงานและสนับสนุนความต้องการของผู้ใช้อาคาร ข้อมูลนี้ช่วยให้ผู้บริหารอาคารตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้เงื่อนไขบังคับและตัวแปรที่ยากต่อการตีความเชิงรูปธรรม

¹ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

² วิศวกร

Managing Energy Consumption through a Computerized Decision Supporting System

Djitt Laowattana¹

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Toongkru, Bangkok 10140

Thida Thanyaprasertkul²

Mahisorn Co., Ltd. SCB Park Plaza, Jatujak, Bangkok 10900

Abstract

Energy management of any building must satisfy flexible needs in its carrying on business. Analysis of possible alternatives to support such operating flexibility is critically necessary. Some analytical results are now being applied in order to establish an efficient building management at the head quarter of Siam Commercial Bank (SCB). Its mechanical, electrical and sanitary systems are considered as one of the largest and most sophisticated units in Asean countries. A computerized supporting model has been developed with a Visual Basic program. This model provides alternatives satisfying both energy saving and business demanding. Based on these alternatives, management teams are able to operate the building under simultaneous constraints and subtle variables.

¹ Associate Professor, Department of Mechanical Engineering.

² Engineer.

1. บทนำ

ในปี พ.ศ. 2535 รัฐบาลได้กำหนดกฎกระทรวงและพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน [1] เพื่อควบคุมและสร้างแรงจูงใจให้อาคารและโรงงานต่างๆ ร่วมมือกันในการอนุรักษ์พลังงาน มีการตรวจสอบการใช้งานและการสูญเสียพลังงานของเครื่องจักร รวมทั้งวางเป้าหมายในการอนุรักษ์พลังงาน มีอาคารและโรงงานที่อยู่ในข่ายอาคารและโรงงานควบคุมมากกว่า 3,000 แห่ง ธนาคารไทยพาณิชย์ สำนักงานใหญ่ เป็นอาคารขนาดใหญ่แห่งหนึ่งที่อยู่ในข่ายอาคารควบคุมเช่นกัน อาคารมีขนาดการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม เมื่อคำนวณจากขนาดของหม้อแปลงทั้งหมด 8 ชุด เป็นปริมาณถึง 18.6 MVA ค่าไฟฟ้าที่ต้องชำระมีมูลค่าประมาณปีละ 50,000,000 บาท ซึ่งเป็นสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 40 ของค่าใช้จ่ายของอาคารทางด้านงานเดินเครื่องและบำรุงรักษา ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วง partial-peak ประมาณ 6,600-7,000 กิโลวัตต์ และในช่วง on-peak ประมาณ 1,800-2,000 กิโลวัตต์ ค่าความต้องการพลังไฟฟ้านี้เป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของทั้งประเทศ ดังนั้น การจัดการพลังงานโดยควบคุมค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด นอกจากทำให้ค่าใช้จ่ายของอาคารลดลงแล้ว ยังส่งผลดีถึงการใช้พลังงานรวมของประเทศ ช่วยชะลอการสร้างโรงไฟฟ้าใหม่ และเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตาม อาคารธนาคารเป็นอาคารที่มีวัตถุประสงค์ทางธุรกิจ ดังนั้น การควบคุมการใช้พลังงานไม่ควรขัดแย้งกับความต้องการดำเนินงานทางธุรกิจ การวิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อให้ผู้ใช้งานทราบถึงการใช้พลังงานและทางเลือกอื่นๆ ที่เป็นไปได้ในการจัดการพลังงาน จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสม ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อการจัดการพลังงานได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อรองรับวัตถุประสงค์ดังกล่าว โดยวิเคราะห์องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในช่วงเวลา on-peak ความต้องการใช้พลังงานจากการดำเนินงานทางธุรกิจ และนำเสนอทางเลือกที่เหมาะสมแก่ผู้บริหารเพื่อประกอบการตัดสินใจ

2. โครงสร้างค่าไฟฟ้า

ในการวิเคราะห์และจัดการพลังงานให้เหมาะสมนั้น จำเป็นต้องทราบโครงสร้างค่าไฟฟ้าและข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารเสียก่อน ตามคู่มืออัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง [2] อาคารธนาคารไทยพาณิชย์ สำนักงานใหญ่ จัดเป็นอาคารอยู่ในประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่มีการคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของวัน (Time Of Day : TOD Rate) ขนาดแรงดันไฟฟ้าปฐมภูมิ 24 กิโลโวลต์ รายละเอียดการคิดค่าไฟฟ้าเป็นดังนี้

ค่าพลังงานไฟฟ้า

เป็นการคิดค่าไฟฟ้าต่อหน่วย (1 หน่วย = 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง) ในอัตราหน่วยละ 1.0582 บาท

ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า

คือความต้องการพลังไฟฟ้าคิดเป็นกิโลวัตต์ เฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดของแต่ละช่วงเวลาในรอบเดือน แบ่งการคิดออกเป็น 3 ช่วงเวลาของวัน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราค่าความต้องการพลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา

ช่วง	เวลา	กิโลวัตต์ ละ (บาท)
Partial-Peak	08:00 - 18:30 น.	58.88
On-Peak	18:30 - 21:30 น.	285.05
Off-Peak	21:30 - 08:00 น.	0.00

เพื่อให้เข้าใจวิธีการคิดค่าไฟฟ้า จึงยกตัวอย่างของการคำนวณค่าไฟฟ้า ดังนี้

ในเดือนสิงหาคม 2542 อาคารมีการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้น 2,083,000 หน่วย (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) มีค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลา Partial-Peak เท่ากับ 7,020 กิโลวัตต์ และค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลา On-Peak เท่ากับ 2,780 กิโลวัตต์ การคำนวณให้ละเว้นค่า Power Factor Charge (PF), ค่า F.T. และ VAT ไม่ต้องนำมาคำนวณจะได้ค่าไฟฟ้าเป็นดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างการคำนวณค่าไฟฟ้าของอาคาร โดยละค่า PF, F.T. และ VAT

	จำนวน	อัตราต่อหน่วย	ค่าไฟฟ้า (บาท)
ค่าพลังงานไฟฟ้า	2,083,000 หน่วย	1.0582	2,204,230.60
Partial-Peak Demand Charge	7,020 kW	58.88	413,337.60
On-Peak Demand Charge	2,780 kW	285.05	792,439.00
รวม			3,410,007.20

ข้อสังเกต การคิดค่าความต้องการพลังไฟฟ้านั้น คิดที่ค่าเฉลี่ยของ 15 นาทีสูงสุดในแต่ละช่วงเวลา ดังนั้น ถึงแม้การใช้ไฟฟ้าจะไม่คงที่ มีการใช้มากบ้างน้อยบ้าง เช่นในช่วง On-Peak Demand มีการใช้ไฟโดยประมาณเพียง 1,500 กิโลวัตต์ แต่เกิดมีการใช้ไฟสูงถึง 2,780 กิโลวัตต์ ติดต่อกันเพียง 15 นาที ก็ต้องเสียค่าความต้องการพลังไฟฟ้าที่ 2,780 กิโลวัตต์ ตลอดทั้งเดือนสิงหาคมนั้น

3. โครงสร้างอาคารและพื้นฐานการเดินเครื่อง

การควบคุมอาคารแบ่งออกเป็น 6 ชั้นที่หลัก ได้แก่

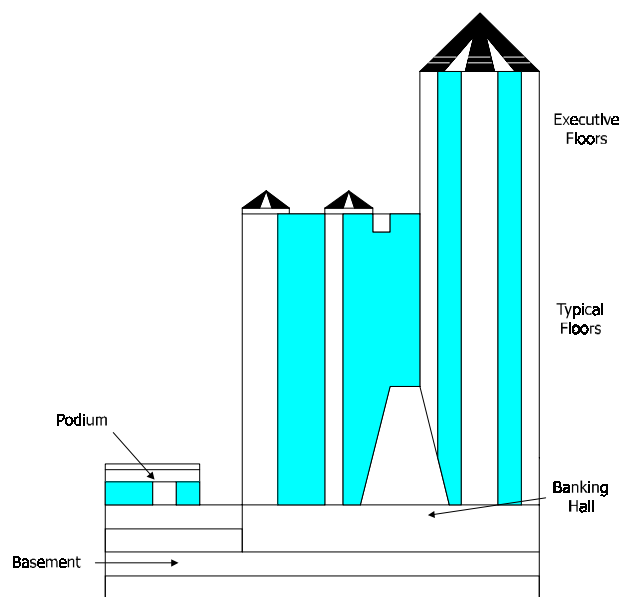
1. Executive Floors ได้แก่ ชั้นทำงานผู้บริหาร ตั้งแต่ชั้น 24-34 ยกเว้นชั้น 33
2. Typical Floors ได้แก่ ชั้นทำงานปกติของพนักงาน ตั้งแต่ชั้น 4-22
3. Banking Hall ได้แก่ พื้นที่รับลูกค้า ประกอบด้วยชั้น Mezzanine (Mezz) ชั้น Upper banking hall (UB) และชั้น Lower banking hall (LB)

4. Podium ได้แก่ พื้นที่ส่วนรียบของอาคารทางด้านหน้า ประกอบด้วย หอประชุมมหิศร พิพิธภัณฑน์ ธนาคาร ห้องสมุดธนาคาร สหกรณ์ออมทรัพย์และสโมสรพนักงาน Fitness Center และร้านค้าสวัสดิการต่างๆ

5. Basement Area ได้แก่ พื้นที่จอดรถซึ่งอยู่ชั้นใต้ดินของอาคาร ตั้งแต่ชั้น B1-B4

6. ห้องเครื่อง ได้แก่ ชั้น 23 ชั้น 33 และบางส่วนของชั้นใต้ดิน

การจัดแบ่งพื้นที่ควบคุมอาคารออกเป็น 6 ส่วนเช่นนี้ เพื่อให้สะดวกในการเตรียมงานระบบอาคารให้สอดคล้องกับความต้องการใช้งานของแต่ละพื้นที่ แผนภาพแสดงตำแหน่งพื้นที่ควบคุมอาคารอย่างคร่าวๆ เป็นไปดังรูปที่ 1

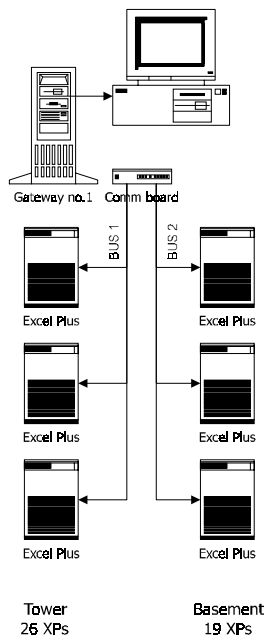


รูปที่ 1 โครงสร้างคร่าวๆ แสดงส่วนต่างๆ ของอาคาร

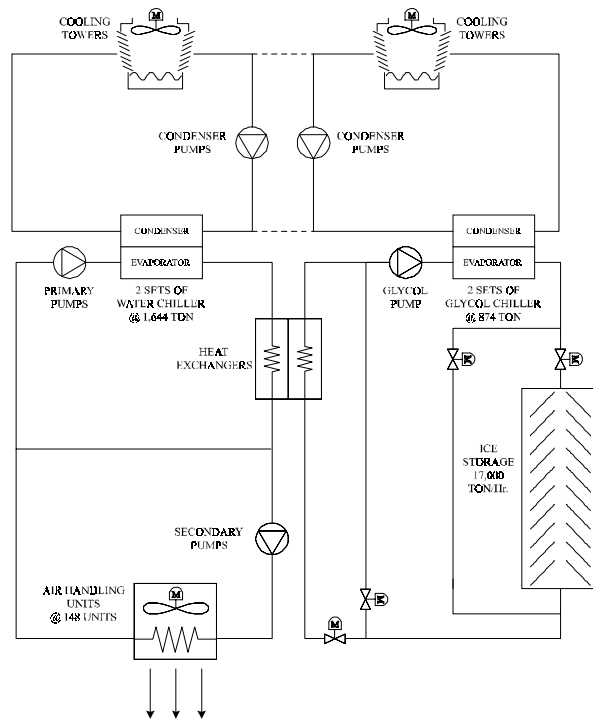
อาคารธนาคารไทยพาณิชย์สำนักงานใหญ่ มีระบบสนับสนุนการจัดการพลังงานที่สำคัญ ดังนี้ [3]

3.1 ระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ (Building Automation System : BAS)

ทำหน้าที่เปิดเปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ตามเวลาที่กำหนดหรือตามที่คุณควบคุมต้องการ โดยผู้ควบคุมสามารถสั่งการได้โดยตรงจากห้องควบคุม ระบบมีการตรวจสอบการใช้พลังงานของอาคารตลอดเวลา และแจ้งเตือนหากมีการใช้พลังงานมากเกินไปที่กำหนดระบบ BAS ของอาคาร มีจุดวัดคุมประมาณ 10,000 จุด มีผู้ควบคุมหลัก (excel plus controllers) รวม 45 ตู้ และผู้ควบคุมย่อยอีกจำนวนมาก จึงต้องแยก communication bus เป็น 2 ชุด ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงสร้างลำดับชั้นของชุดควบคุมในระบบ BAS



รูปที่ 3 Single-line diagram ของ Chiller Plant อาคารธนาคารไทยพาณิชย์ สำนักงานใหญ่

3.2 ระบบกักเก็บความเย็นด้วยน้ำแข็ง (Ice storage)

ทำหน้าที่เก็บกักน้ำแข็งไว้ใช้ทำความเย็นให้อาคารในช่วงที่มีการคิดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูง (ช่วง On-peak) หลักการควบคุมของระบบทำความเย็นหลักสามารถอธิบายด้วยโครงสร้างอย่างง่าย ดังแสดงในรูปที่ 3

ระบบทำความเย็นโดยปกติทั่วไปมีเพียงสองวงจร คือวงจรรน้ำเย็น (chilled water loop) และวงจรรน้ำระบายความร้อน (condenser loop) มีเครื่องทำน้ำเย็น (chillers) เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างสองวงจรนี้ เพื่อระบายความร้อนที่ได้รับจากอาคารผ่านทางวงจรรน้ำเย็น ออกไประบายสู่บรรยากาศทางหอผึ่งน้ำ (cooling towers) ด้วยวงจรรน้ำระบายความร้อน

การเพิ่มเติมระบบกักเก็บความเย็นด้วยน้ำแข็ง ต้องเพิ่มวงจรรทำน้ำแข็ง (ในที่นี้เรียกว่า glycol loop ตามชื่อสารตัวนำในท่อ) เข้าในระบบทำความเย็นเป็นวงจรรที่สาม มีเครื่องทำน้ำเย็น (glycol chillers) สำหรับทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของสาร glycol เพื่อสร้างน้ำแข็งเก็บไว้ในบ่อเก็บน้ำแข็ง (ice storage) วงจรรทำน้ำแข็งนี้ทำงานในช่วงเวลา Off-peak ซึ่งไม่มีการคิดค่าความต้องการพลังไฟฟ้า

เมื่อถึงเวลา On-peak ระบบ BAS สั่งปิดการเดินเครื่องทำน้ำเย็นและหอผึ่งน้ำ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูง จากนั้นเปิดเครื่องสูบน้ำในวงจรรน้ำเย็น (chilled water pumps) และเครื่องสูบน้ำในวงจรรทำน้ำแข็ง (glycol pumps) ซึ่งขณะนี้ได้เปลี่ยนหน้าที่เป็นวงจรรละลายน้ำแข็งเพื่อ

นำความเย็นที่เก็บไว้ในบ่อพักเก็บน้ำแข็งมาใช้จ่ายความเย็นให้แก่อาคาร สำหรับช่วงเวลา Partial-peak โดยปกติใช้เครื่องทำน้ำเย็นในการผลิตน้ำเย็นให้อาคาร แต่ก็สามารถละลายน้ำแข็งมาช่วยจ่ายความเย็นได้

ปริมาณความเย็นจากบ่อน้ำแข็งที่นำไปจ่ายให้กับเครื่องส่งลมเย็น (air handling units) สามารถปรับเปลี่ยนได้โดยใช้วาล์วควบคุมปริมาณการไหลของสาร glycol ที่ผ่านบ่อน้ำแข็ง ในขณะที่ glycol pumps ทำงานด้วยความเร็วรอบคงที่

4. ขอบเขตการศึกษาและการดำเนินการ

ขอบเขตการศึกษากิจการพลังงานครั้งนี้ มีดังนี้

1. ศึกษาการจัดการพลังงานของธนาคารไทยพาณิชย์ สำนักงานใหญ่ ในช่วงเวลา On-peak period (18:30–21:30 น.)
2. ข้อมูลนำเข้าของระบบ นำมาจากการขอทำงานล่วงเวลาของพนักงานในชั้นทำงานปกติ (ชั้น 4-22)

สำหรับการดำเนินการควบคุมความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด อาคารมีระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ ซึ่งมีโปรแกรมการจัดการพลังงาน EMS program (Energy Management System Program) คือ Power Demand Control (pdmd) หลักการทำงานโดยย่อเป็นดังนี้ [3]

จากโครงสร้างลำดับชั้นของชุดควบคุมตามรูปที่ 2 โปรแกรม pdmd จะถูกสร้างและบรรจุไว้บนสายสื่อสารแบบเพียร์บัส (peer bus) ที่ได้ต่ออุปกรณ์รับสัญญาณแบบโททอลไลเซอร์ อินพุต (totalizer inputs) สำหรับตรวจวัดการใช้พลังงานไว้ โดยที่ totalizer inputs ทุกตัวของอาคารต้องอยู่บน bus เดียวกัน เมื่อค่าการใช้พลังงานรวมที่อ่านจาก totalizer inputs มีค่าสูงเกินกว่าค่า set point ที่ตั้งไว้ โปรแกรมจะปิดการใช้งานอุปกรณ์ (shed) ลงทีละชุด ตามระดับความสำคัญที่ตั้งไว้ล่วงหน้า สามารถกำหนดระดับความสำคัญได้ 99 ระดับ การสั่งปิดอุปกรณ์ต้องกำหนดระยะเวลาปิดน้อยที่สุด (minimum OFF) เช่น อย่างน้อย 15 นาที เพื่อให้พ้นช่วงคิดค่าความต้องการสูงสุดต่อเนื่อง และกำหนดระยะเวลาปิดมากที่สุด (maximum OFF) ที่ยอมให้ปิดอุปกรณ์นั้นๆ ได้ เมื่อครบเวลาที่กำหนดปิดอุปกรณ์แล้ว โปรแกรมจะสั่งเปิดอุปกรณ์ขึ้นอีกครั้ง ถ้าตรวจพบว่าค่าการใช้พลังงานยังคงสูงกว่าค่า set point โปรแกรมจะสั่งปิดอุปกรณ์ลงใหม่

ข้อกำหนดอื่นๆ ในการใช้งาน pdmd ได้แก่

๓ ติดตั้งได้ 1 โปรแกรมต่อ 1 ตู้ควบคุม ติดตั้งได้มากที่สุด 29 โปรแกรมต่อ bus และ 99 โปรแกรมต่อระบบ

๓ 1 โปรแกรมควบคุมได้ 99 loads แต่ละ load ต้องถูกควบคุมจากโปรแกรมเดียว

๓ การใช้โปรแกรมควบคุม loads ที่มีได้อยู่บนตู้ควบคุมเดียวกับตู้ที่บรรจุโปรแกรม หาก loads นั้นถูกยกเว้นการใช้งานชั่วคราว (disable) โปรแกรมจะสั่งการ loads อื่นๆ ต่อไปไม่ได้

๓ สามารถกำหนดระดับการควบคุมได้สองแบบคือ แบบ 2 steps (on-off) และแบบ 3 steps (fast-slow-off)

การใช้โปรแกรม pdmd สามารถช่วยควบคุมค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ แต่อุปกรณ์จะมีการเปิด-ปิด เป็นระยะๆ ดังรายละเอียดที่กล่าวถึงข้างต้น นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดในการกำหนดโปรแกรมและ loads ควบคุม อาคารธนาคารไทยพาณิชย์ สำนักงานใหญ่ มีห้องเครื่องไฟฟ้าแยกกันอยู่สองห้อง totalizer inputs ของห้องเครื่องที่ 1 ต่อเข้ากับบัสกลุ่มล่าง (low-zone bus : bus 1) ส่วน totalizer inputs ของห้องเครื่องที่ 2 ซึ่งอยู่บนชั้น 23 ต่อเข้ากับบัสกลุ่มบน (high-zone bus : bus 2) ดังนั้นการกำหนดโปรแกรม pdmd จึงต้องกำหนดแยกกันคนละ bus เมื่อกำหนดการควบคุมแยกกัน ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดจึงต้องแยกเป็นสองส่วน แต่ในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถแยกได้

แม้โปรแกรม pdmd จะมีจุดเด่นที่สามารถควบคุมการเปิด-ปิดอุปกรณ์ได้แบบ real-time แต่ความสามารถในการพิจารณาจัดการพลังงานยังมีข้อจำกัด ซึ่งการจัดการพลังงานโดยการควบคุมค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดนั้นสามารถทำได้หลายวิธี ดังจะแสดงต่อไปในหัวข้อที่ 7 ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อการจัดการพลังงานที่จะพัฒนาขึ้นนี้เป็นการพัฒนาใหม่ทั้งหมด โดยไม่ใช่หลักการของโปรแกรม pdmd เลย เพื่อให้สามารถนำเสนอทางเลือกแก่ผู้บริหารระบบได้หลากหลายกว่า และไม่ให้เกิดการเปิด-ปิดอุปกรณ์บ่อยๆ

5. การวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคาร

5.1 องค์ประกอบภายใน

ได้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคารที่สามารถควบคุมการเปิด-ปิดอุปกรณ์ได้ สำหรับการใช้จ่ายพลังงานของอาคารในช่วง On-peak สามารถแบ่งประเภทได้ดังนี้

1. ส่วนที่มีการใช้พลังงานแน่นอน
 - 1.1 ระบบปรับอากาศพื้นที่ส่วนกลางและห้องเครื่อง
 - 1.2 ระบบแสงสว่างและไฟฟ้ากำลัง ชั้นทำงานระดับบริหาร (Executive floor)
 - 1.3 ระบบลิฟต์
 - 1.4 ระบบบำบัดน้ำเสียและการระบายน้ำ

- 1.5 ระบบแสงสว่างและไฟฟ้ากำลังของศูนย์คอมพิวเตอร์
- 1.6 ระบบแสงสว่างและไฟฟ้ากำลังของศูนย์สุขภาพ (living fit)
2. ส่วนที่การใช้พลังงานแปรตามผู้ใช้งานแต่ละวัน
 - 2.1 ระบบแสงสว่างและไฟฟ้ากำลัง ชั้นทำงานปกติ (typical 4th-21st floor)
 - 2.2 ระบบแสงสว่างและปรับอากาศ หอประชุมมหิธรและพื้นที่โดยรอบ
 - 2.3 ระบบแสงสว่างและปรับอากาศ ห้องอาหารผู้บริหาร (executive dining room)

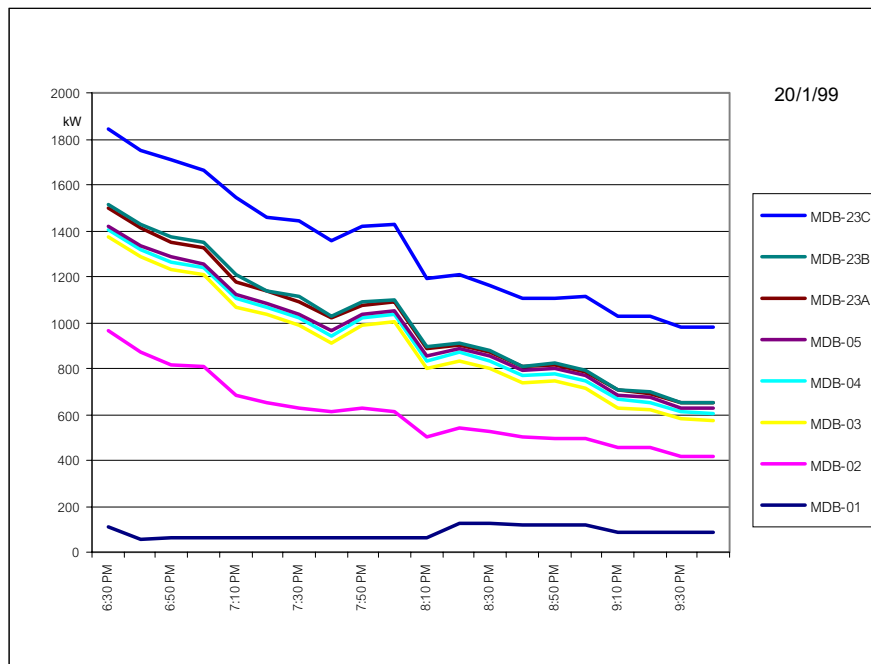
เมื่อพิจารณาการกระจายภาระโหลดบนหม้อแปลงแต่ละชุด ได้ประเภทของภาระโหลดบนหม้อแปลงดังนี้ [3]

ตารางที่ 3 การกระจายภาระโหลดของอาคารบนหม้อแปลงแต่ละชุด

หมายเลข / Max kVA	ประเภทของโหลด
TR1 /2500	Pumps ใน Chiller plant กลุ่มที่ 1 (MCC-1) AHU สำหรับชั้น Typical 4 th – 21 st
TR2 /2500	ไฟฟ้าแสงสว่างสำหรับชั้น Typical 4 th – 21 st ไฟฟ้ากำลังสำหรับชั้น Typical 4 th – 21 st ไฟฟ้าสำหรับพื้นที่ Podium ทั้งหมด ไฟฟ้าสำหรับระบบระบายน้ำในที่จอดรถ
TR3 /2500	Pumps ใน Chiller plant กลุ่มที่ 2 (MCC-2) ไฟฟ้ากำลังสำหรับชั้น Typical 4 th – 21 st ไฟฟ้าสำหรับพื้นที่จอดรถใต้ดินทั้งหมด ไฟฟ้าสำหรับ Control Room ไฟฟ้าสำหรับบ่อระบายน้ำหลักของโครงการ (Flood Control)
TR4 /3150	Water chiller no.1 และ Glycol chiller no.1
TR5 /3150	Water chiller no.2 และ Glycol chiller no.2
TR23A /1600	ไฟฟ้าสำหรับชั้นทำงานระดับบริหารทั้งหมด
TR23B /1600	ระบบลิฟต์ทั้งอาคาร
TR23C /1600	ไฟฟ้าสำหรับศูนย์คอมพิวเตอร์ทั้งหมด

การจัดลำดับความสำคัญ

การจัดลำดับความสำคัญมีผลต่อการตัดสินใจเดินเครื่องอุปกรณ์ โดยปกติแล้วลักษณะการใช้พลังงานของอาคารในช่วง On-peak เป็นดังรูปที่ 4 [4]



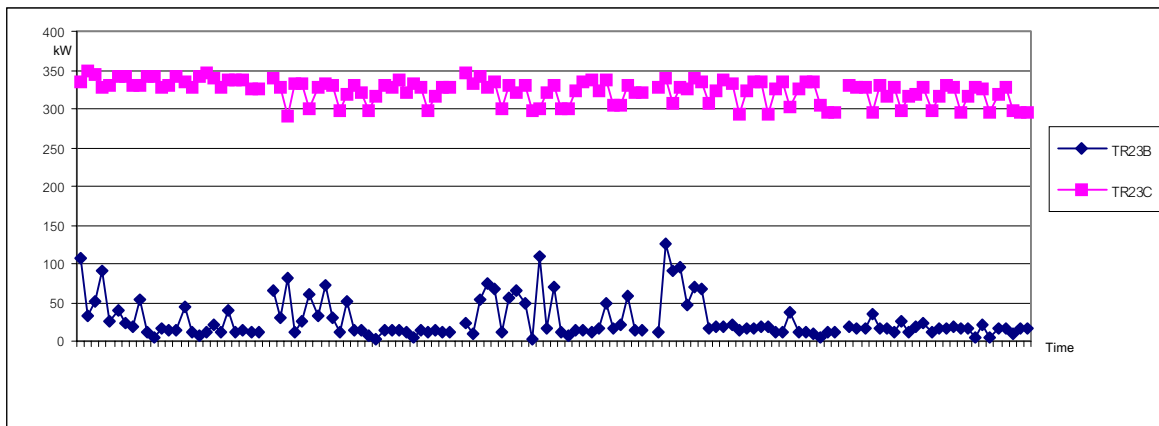
รูปที่ 4 กราฟการใช้พลังงานของอาคารในช่วง On-peak

ค่า Peak demand ที่ถูกเรียกเก็บมักเกิดขึ้นที่เวลา 18:30 น. หลังจากนั้นความต้องการพลังงานจะค่อยๆ ลดลงเป็นลำดับจนเข้าสู่สภาวะคงที่ที่เวลาประมาณ 22:00 น. ดังนั้น จุดตัดสินใจที่สำคัญในการควบคุมการใช้พลังงานจึงต้องดำเนินการที่เวลา 18:30 น.

การตัดสินใจว่าจะเดินเครื่องอุปกรณ์ใดที่เวลา 18:30 น. จึงต้องมีการกำหนดลำดับความสำคัญใช้งาน เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานตามข้อ 5.1 (องค์ประกอบภายใน) การใช้พลังงานในส่วนที่ 1 ซึ่งมีการใช้พลังงานแน่นอน ถือว่ามีความสำคัญมากกว่าส่วนที่ 2 ขณะที่ในรายละเอียดของส่วนที่ 1 นั้น รายการที่ 1.5, 1.3, 1.4, 1.2, 1.6 และ 1.1 มีลำดับความสำคัญลดหลั่นกันลงมาตามลำดับ

การประเมินค่าพลังงาน

จากข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารที่บันทึกไว้ในระหว่างเดือนมกราคม-ธันวาคม 2542 โดยเครื่องบันทึกการใช้พลังงานของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย [4] พบว่าการใช้พลังงานจากหม้อแปลงบางชุดสามารถประเมินเป็นค่าคงที่ได้ เนื่องจากกราฟการใช้พลังงานในช่วง On-peak ของวันทำงานปกติมีค่าใกล้เคียงกันทุกวัน ดังนั้น ค่าการใช้พลังงานจากหม้อแปลงหมายเลข TR4, TR5, TR23B และ TR23C จึงประเมินเป็นค่าคงที่ไว้ในโปรแกรม โดยที่ TR4 และ TR5 มีการใช้พลังงานในช่วง On-peak เป็น 0 กิโลวัตต์ (ไม่มีการใช้งาน) TR23B มีการใช้พลังงานประมาณ 15 กิโลวัตต์ และ TR23C มีการใช้พลังงานประมาณ 330 กิโลวัตต์



รูปที่ 5 ตัวอย่างกราฟการใช้พลังงานของหม้อแปลง TR23B และ TR23C ในช่วง 1 สัปดาห์ คิดเฉพาะวันทำงานปกติ

สำหรับหม้อแปลง TR1, TR2 และ TR3 มีการใช้พลังงานในช่วง On-peak ที่แปรเปลี่ยนไปตามการใช้งานในแต่ละวัน จึงเป็นส่วนที่คำนวณการใช้พลังงานจากการนำเข้าข้อมูลของผู้บริหารระบบหนึ่ง สำหรับหม้อแปลงหมายเลข TR23A ซึ่งมีการใช้พลังงานไม่คงที่ตลอดช่วงเวลาที่ศึกษา แต่เป็นหม้อแปลงที่จ่ายโหลดที่มีลำดับความสำคัญสูง คือเป็นโหลดชั้นทำงานระดับบริหาร จึงแยกพิจารณาต่างหากโดยประเมินการใช้พลังงาน ณ เวลา 18:30 น. เป็นสำคัญ

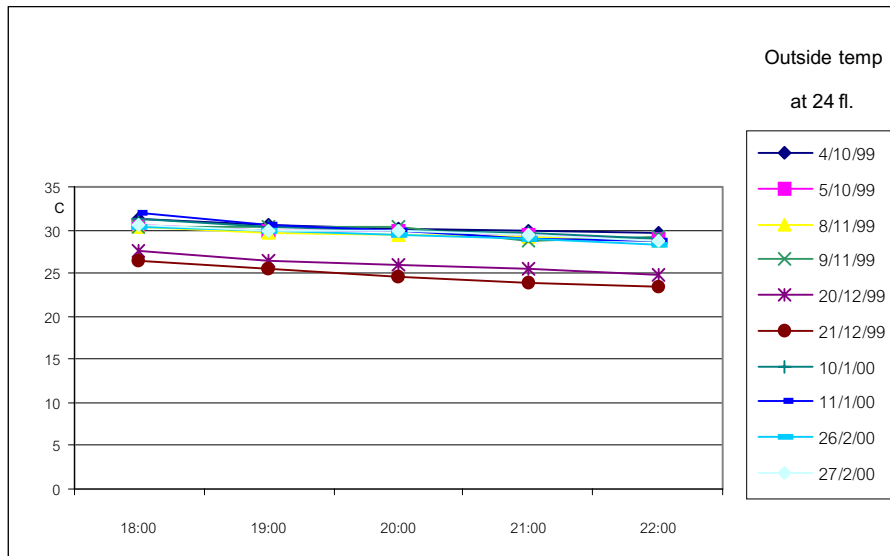
5.2 องค์ประกอบภายนอก

ได้แก่องค์ประกอบอื่นๆ นอกเหนือการควบคุมของฝ่ายเดินเครื่องและบำรุงรักษาที่มีผลต่อการใช้พลังงานของอาคาร ได้แก่

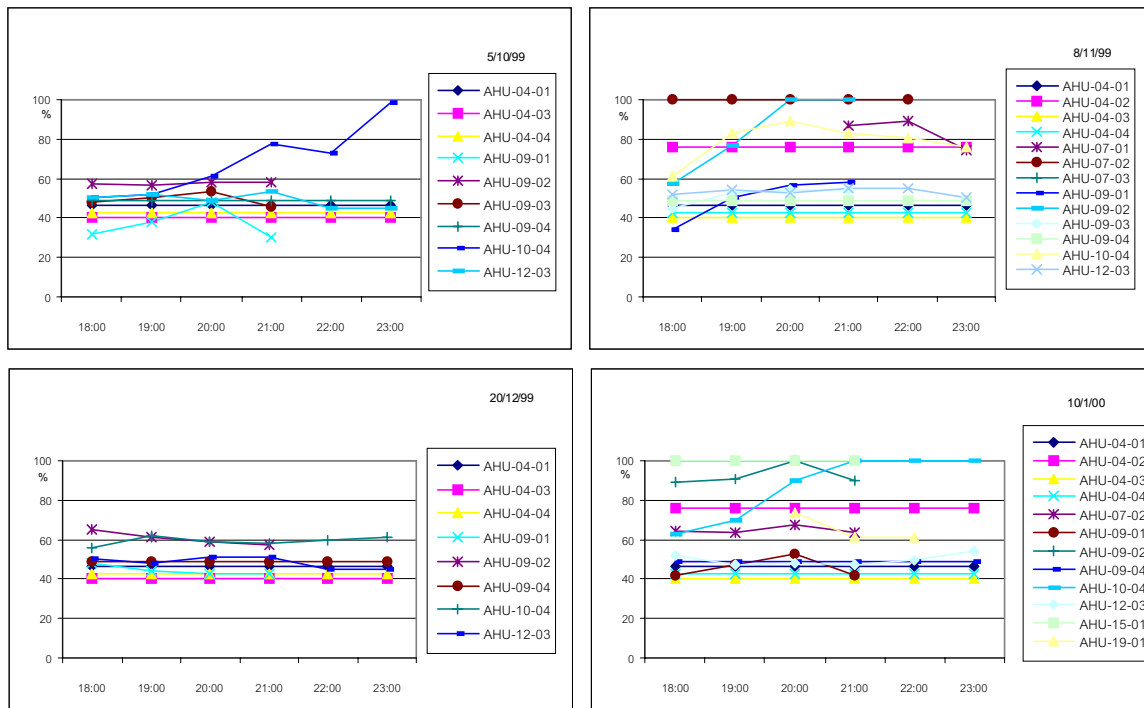
1. อุณหภูมิภายนอกอาคาร

ผลกระทบจากอุณหภูมิภายนอกอาคาร [6] จะเกิดแก่ระบบปรับอากาศ กล่าวคือการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายนอก ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังเข้าสู่พื้นที่ทำงานเปลี่ยนแปลงไป การทำงานของเครื่องส่งลมเย็น (air handling units) จึงต้องปรับเปลี่ยนปริมาณลมและปริมาณน้ำเย็นให้สอดคล้องกับสภาวะอากาศ การปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำเย็นเป็นผลให้การใช้ความเย็นจากบ่อน้ำแข็งเปลี่ยนแปลง แต่การใช้พลังงานจาก glycol pumps คงเดิม

ทางด้านการปรับเปลี่ยนปริมาณลมจ่ายในพื้นที่ เนื่องจาก AHU ใช้อุปกรณ์ปรับเปลี่ยนปริมาณลมด้วย inlet guide vane (IGV) จากประวัติการทำงานของ IGV พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 40–80 [7]



รูปที่ 6 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิภายนอกอาคาร
เดือนตุลาคม 2542 – กุมภาพันธ์ 2543 ในช่วงเวลา On-peak



รูปที่ 7 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การทำงานของ Inlet guide vane
ในวันและเวลาที่บันทึกค่าอุณหภูมิภายนอกอาคารตามรูปที่ 6

จากกราฟบันทึกอุณหภูมิภายนอกอาคารตามรูปที่ 6 พบว่า อุณหภูมิภายนอกอาคารมีค่าประมาณ 30 °ซ ยกเว้นในเดือนธันวาคม 2542 ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าอยู่ที่ประมาณ 25 °ซ เปรียบเทียบกับกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การทำงานของ inlet guide vane ในรูปที่ 7 จะเห็นว่า ในเดือน

ตุลาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน เปอร์เซ็นต์การเปิด inlet guide vane อยู่ระหว่างร้อยละ 40-60 เดือนพฤศจิกายน มีค่าสูงขึ้นในช่วงร้อยละ 40-100 ครั้งเดือนธันวาคม ซึ่งมีอุณหภูมิภายนอกอาคารค่อนข้างต่ำ เปอร์เซ็นต์การเปิด inlet guide vane อยู่ระหว่างร้อยละ 40-60 จากนั้นสูงขึ้นเป็นร้อยละ 40-100 อีก ในเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ซึ่งเริ่มเข้าสู่ฤดูร้อน จึงสรุปได้ว่า อุณหภูมิภายนอกอาคารมีผลกระทบกับการใช้พลังงานที่ AHU ที่ติดตั้ง inlet guide vane แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาอุณหภูมิ set point ของน้ำเย็นที่ส่งมายัง AHU นั้นๆ ประกอบด้วย

2. การทำงานของธนาคาร

ในช่วงเวลาต่างๆ ของปี ธนาคารมีการทำงานในช่วงเวลา On-peak แตกต่างกัน ซึ่งมีผลกระทบต่อค่าพลังงานให้กับหม้อแปลง TR2 และ TR3 เนื่องจากเป็นหม้อแปลงที่จ่ายโหลดระบบไฟฟ้ากำลังให้พื้นที่ชั้นทำงานปกติ ค่าการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นในฤดูตรวจสอบบัญชีสามารถประเมินได้จากประวัติการทำงานล่วงเวลาของพนักงาน [8] เทียบกับข้อมูลการใช้พลังงานของอาคาร [4] ของการทำงานล่วงเวลาในช่วงเวลาปกติ

6. สมมติฐาน

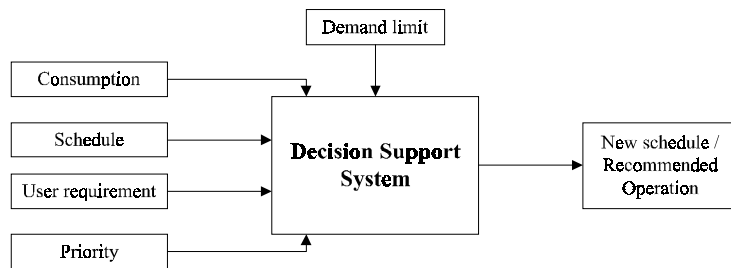
สมมติฐานในการจัดทำระบบสนับสนุนการตัดสินใจมีดังนี้

1. การใช้พลังงานของศูนย์คอมพิวเตอร์ค่อนข้างคงที่ (TR23C) ประมาณ 330 กิโลวัตต์
2. การใช้พลังงานของระบบลิฟต์ค่อนข้างคงที่ (TR23B) ประมาณ 15 กิโลวัตต์
3. การใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในสำนักงานชั้น 4-21 ประเมินจากกำลังไฟฟ้าของคอมพิวเตอร์ 4 ชุดต่อพื้นที่ทำงานประมาณ 100 ตารางเมตร ในสภาวะการทำงานล่วงเวลาปกติที่ไม่ใช่ฤดูตรวจสอบบัญชี (ไม่ใช่เดือนมิถุนายนหรือเดือนธันวาคม) ค่ากำลังไฟฟ้านี้สามารถเปลี่ยนแปลงภายหลังได้
4. การทำงานของ chiller plant ในช่วง On-peak เป็นดังต่อไปนี้
 - ๓ หยุดการเดินเครื่อง chillers ทั้งหมด
 - ๓ หยุดการเดินเครื่อง cooling towers และ condenser pumps ทั้งหมด
 - ๓ เดินเครื่อง primary chilled water pumps, secondary chilled water pumps ให้เพียงพอกับความต้องการใช้งานของอาคาร (ตามปริมาณการเปิด AHU)
 - ๓ เดินเครื่อง glycol pumps 1 ชุดเพื่อนำความเย็นจากบ่อน้ำแข็งไปจ่ายโหลดอาคาร
5. ค่า maximum demand limit ที่ยอมให้เกิดขึ้นในช่วง On-peak เท่ากับ 1,800 กิโลวัตต์ ค่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงภายหลังได้

7. การออกแบบระบบ

7.1 Input Factor ข้อมูลนำเข้าสำหรับระบบได้แก่

1. การใช้พลังงานของอุปกรณ์ (power consumption)
2. ตารางเวลาทำงานของอุปกรณ์ (schedule)
3. ความต้องการใช้พลังงานของผู้อยู่อาศัยในช่วง On-peak (user requirement)
4. ลำดับความสำคัญใช้งาน (priority)
5. ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าที่กำหนด (demand limit)



รูปที่ 8 แผนภาพข้อมูล

7.2 Possible Strategies

7.2.1 *De-load* คือ การลดการใช้พลังงานลงบางส่วน แต่ให้คงพื้นที่ใช้งานตามที่ผู้ใช้งานต้องการ ได้แก่

1. การเปิดไฟแสงสว่างสามารถเปิดเป็นระดับได้ 3 ระดับ คือ เปิด 1/3 ของโคม (1 หลอดใน 3 หลอด) เปิด 2/3 ของโคม (2 หลอดใน 3 หลอด) หรือเปิดทั้งหมด (เปิดทั้ง 3 หลอด)
2. การปรับ set point ของความดันในท่อลม AHU ให้ต่ำลง เพื่อลดปริมาณลมจ่ายในพื้นที่ลงเล็กน้อย inlet guide vane จะปรับปริมาณลมด้านเข้า AHU ให้น้อยลง ทำให้ AHU ใช้พลังงานน้อยลง ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงปริมาณลมต่ำสุดที่จำเป็นต้องมีในพื้นที่นั้นๆ

พึงสังเกตว่า การเพิ่ม set point ของอุณหภูมิของ AHU ในที่นี้ไม่เป็นการลดการใช้พลังงานในเชิงลด Peak-demand แต่อย่างใด เนื่องจากในช่วงเวลาที่ศึกษา นี้ อาคารใช้ความเย็นจากบ่อกักเก็บน้ำแข็ง การเพิ่ม set point ของอุณหภูมิ เป็นผลให้มีการละลายน้ำแข็งน้อยลง แต่การใช้พลังงานของ AHU และเครื่องสูบน้ำในวงจรละลายน้ำแข็งยังคงเท่าเดิม

7.2.2 *Load shift* คือ การเลื่อนเวลาการใช้งานบางอุปกรณ์ออกไปให้พ้นจากช่วงที่คาดว่าจะเกิดความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งในที่นี้คือเวลา 18:30 น. ได้แก่

1. ปิด AHU บางพื้นที่ที่ขอทำงานล่วงหน้าไปก่อนถึงเวลา 18:30 น. และเปิด AHU อีกครั้งเมื่อเวลา 19:00 น. เนื่องจากระบบทำความเย็นมีลักษณะการตอบสนองเป็นลำดับหนึ่ง (first order) มีค่าคงที่ของเวลา (time constant) ประมาณ 30 นาที สามารถคงความเย็นในพื้นที่ไว้ได้ระยะเวลาหนึ่งแม้จะปิด AHU ไปแล้ว

2. ปิดเครื่องสูบน้ำในวงจรละลายน้ำแข็ง (glycol pump) คงไว้แต่เพียงเครื่องสูบน้ำในวงจรน้ำเย็น ให้มีน้ำเย็นหมุนเวียนจ่ายความเย็นให้ AHU ได้ชั่วระยะเวลาหนึ่ง และเปิดเครื่องสูบน้ำในวงจรละลายน้ำแข็งขึ้นอีกครั้งเมื่อเวลา 19:00 น.

3. ปิด AHU ที่จ่ายความเย็นให้ห้องเครื่องต่างๆ เป็นระยะเวลาสั้นๆ และเปิด AHU ขึ้นอีกครั้งเมื่อเวลา 19:00 น.

7.2.3 *Load rolling* คือ การสลับกันใช้งานอุปกรณ์ แทนที่จะให้มีการใช้งานพร้อมกัน ได้แก่ สลับการทำงานของ AHU ในแต่ละกลุ่มเป็นช่วง ๆ ตัวอย่างเช่น AHU ในกลุ่มชั้นทำงานปกติ (Typical 4th-21st floor) มีการใช้งานในช่วง On-peak รวม 12 ตัว ให้เปิดใช้งานคราวละ 4 ตัว เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นปิดชุดแรก เปิดใช้งานชุดที่สองอีก 4 ตัวเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นปิดชุดที่สอง และเปิดชุดที่สาม 4 ตัวเป็นเวลา 20 นาที เป็นต้น

7.2.4 *Low priority shut down* คือ การปิดการใช้งานอุปกรณ์ที่มีลำดับความสำคัญต่ำ ได้แก่

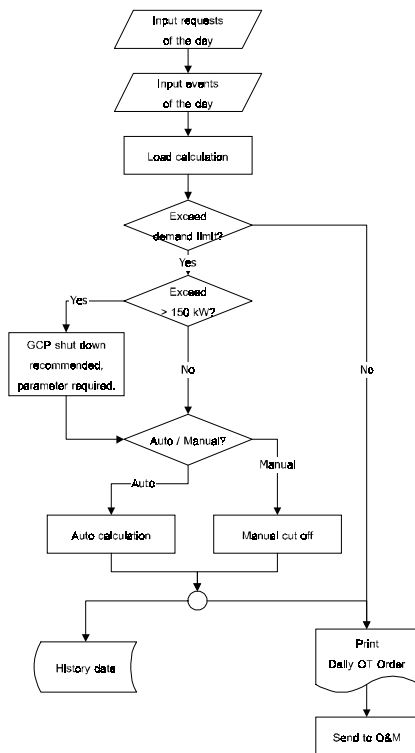
1. เครื่องสูบน้ำของระบบระบายน้ำ โดยการสูบน้ำออกจากบ่อระบายน้ำให้หมดก่อนถึงช่วงเวลา On-peak และปิดระบบนี้เสีย เว้นเสียแต่เกิดเหตุฉุกเฉิน เช่น ฝนตกหนัก จึงจะเปิดให้ระบบนี้ทำงาน

2. เครื่องสูบน้ำของระบบน้ำดี (cold water system) โดยการสูบน้ำขึ้นเก็บในบ่อเก็บน้ำของอาคารให้เต็มก่อนถึงช่วงเวลา On-peak และปิดระบบนี้เสีย

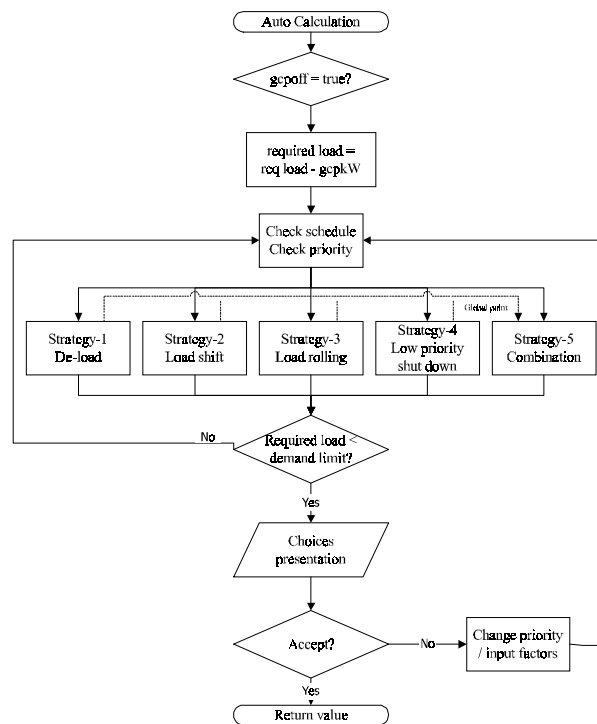
7.2.5 *Combined strategy* ได้แก่ การผสมผสานกลยุทธ์การจัดการพลังงานรูปแบบต่างๆ ข้างต้นเข้าด้วยกัน โดยอาจใช้ได้มากกว่า 1 วิธีในการปรับปรุงการเดินเครื่อง ไม่ให้ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงเกินระดับที่กำหนด

7.3 Flowchart

แผนผังอย่างง่ายของระบบเป็นดังรูปที่ 9 และ 10



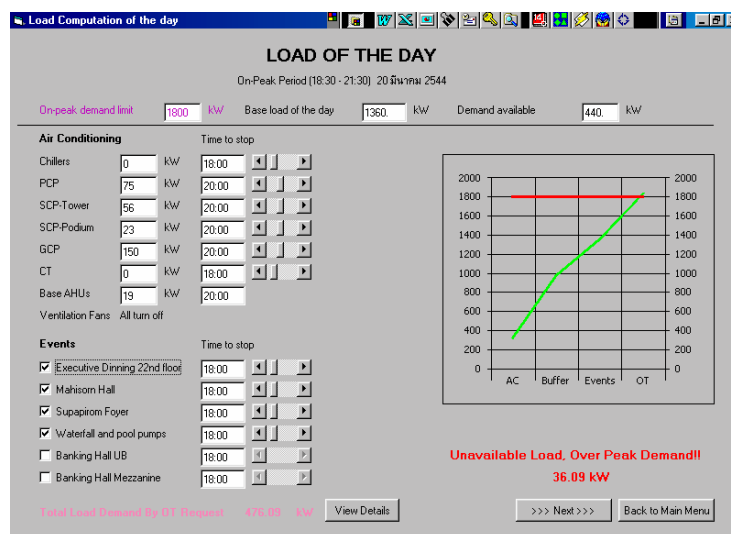
รูปที่ 9 Flow chart ของโปรแกรมหลัก



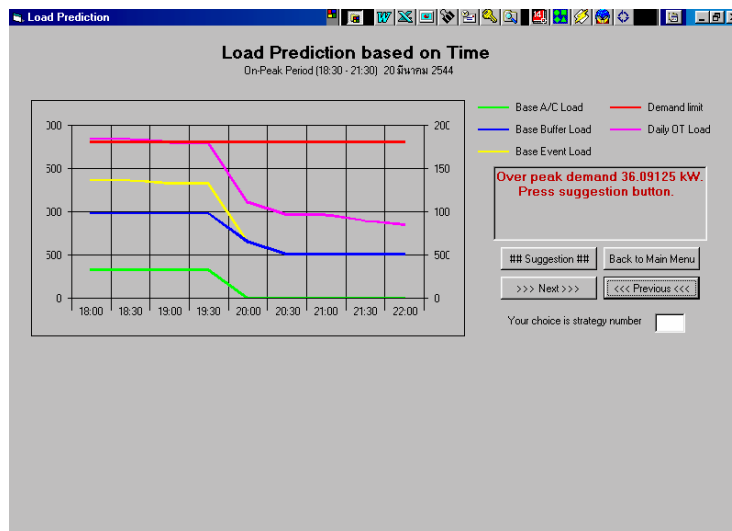
รูปที่ 10 Flow chart ของส่วนการคำนวณอัตโนมัติ

7.4 ตัวอย่าง User Interface

หัวข้อนี้นำเสนอตัวอย่างบางภาพของหน้าจอของโปรแกรม เช่น รูปที่ 11 เป็นภาพหน้าจอแสดงการคำนวณภาระโหลดประจำวันเทียบกับค่า demand limit ที่กำหนด โดยมีการแยกประเภทของโหลดตามลักษณะการใช้งาน กล่าวคือ โหลดที่มีการใช้งานแน่นอน โหลดที่มีการใช้งานแปรเปลี่ยนไปตามผู้ใช้งานในแต่ละวัน อันอาจเกิดจากการขอทำงานล่วงเวลา หรือการจัดงานพิเศษในบางพื้นที่



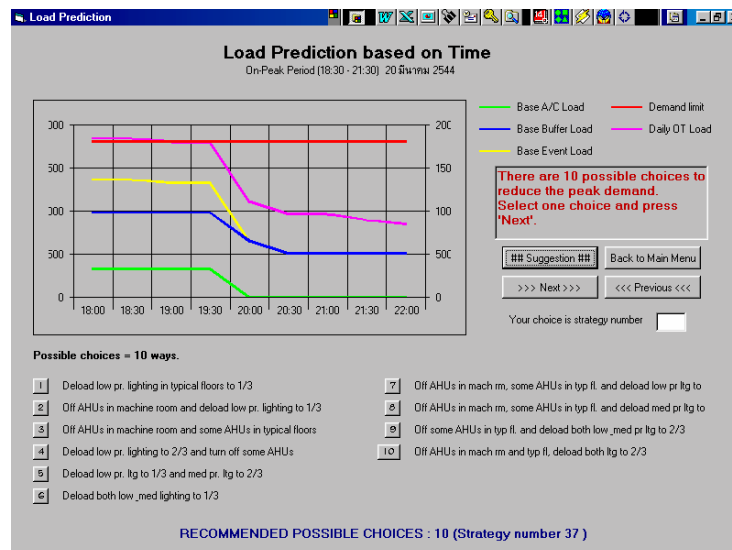
รูปที่ 11 การคำนวณภาระโหลดประจำวัน



รูปที่ 12 การประเมินภาระโหลดแยกตามช่วงเวลา

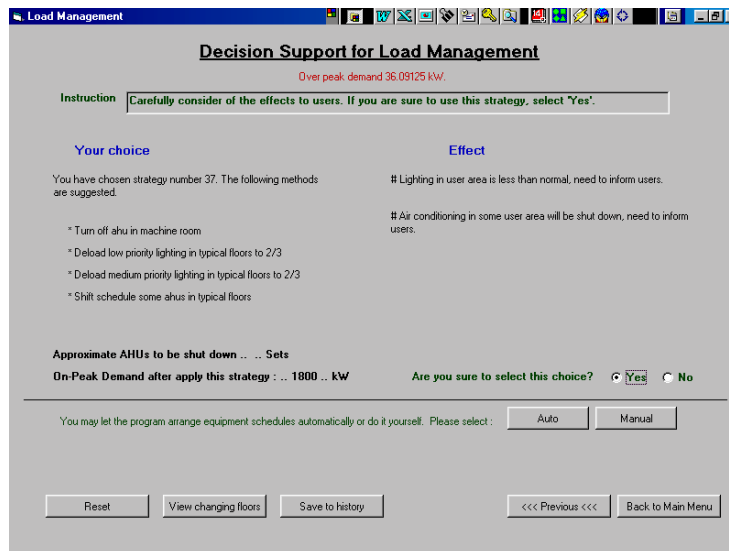
รูปที่ 12 เป็นการประเมินสถานการณ์การใช้พลังงานของอาคารแยกตามช่วงเวลา เพื่อให้สามารถแยกแยะลำดับความสำคัญได้แม่นยำยิ่งขึ้น โดยส่วนใหญ่การใช้พลังงานจะเกิดขึ้นมากในช่วงเวลา 18:30–19:30 น. เท่านั้น และจะค่อยๆ น้อยลงตามลำดับ

เมื่อกดปุ่ม “Suggestion” โปรแกรมจะคำนวณหาแนวทางเดินเครื่องที่เป็นไปได้ทั้งหมด ค่าลำดับความสำคัญและปริมาณโหลดในแต่ละส่วน เพื่อประเมินหาแนวทางที่ได้ค่าลำดับความสำคัญต่ำที่สุด และมีการตัดโหลดน้อยที่สุด



รูปที่ 13 การคำนวณทางเลือกในการเดินเครื่องและทางเลือกที่ระบบแนะนำ

รูปที่ 13 แสดงแนวทางเดินเครื่องที่เป็นไปได้ทั้งหมด ภายใต้เงื่อนไขความต้องการใช้งานของผู้อยู่อาศัยและค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่กำหนด โดยมีทางเลือกที่แนะนำ (recommended possible choice) แสดงไว้ในส่วนล่างสุดของหน้าจอ นั่นคือทางเลือกที่มีค่าลำดับความสำคัญต่ำที่สุด และมีการตัดโหลดน้อยที่สุด ผู้บริหารระบบต้องตัดสินใจว่าจะเลือกใช้วิธีใด



รูปที่ 14 หน้าจอแสดงรายละเอียดการเดินเครื่องและผลกระทบที่เป็นไปได้

หลังจากที่ผู้บริหารระบบตัดสินใจเลือกแล้ว หน้าถัดไปเป็นการแสดงรายละเอียดของวิธีการเดินเครื่องที่เลือก ผลกระทบ และสิ่งที่ผู้บริหารระบบควรปฏิบัติ โปรแกรมจะขอคำยืนยันอีกครั้งเมื่อได้ทราบผลกระทบทั้งหมดแล้วว่า ยังคงต้องการเลือกใช้วิธีนี้หรือไม่ ดังแสดงในรูปที่ 14

ผู้บริหารระบบสามารถย้อนกลับไปเลือกทางเลือกอื่น และดูวิธีการเดินเครื่องพร้อมผลกระทบใหม่ได้ แต่ถ้าผู้บริหารระบบยืนยันการเดินเครื่องวิธีนี้ โปรแกรมจะสอบถามวิธีการปรับปรุงตารางเดินเครื่อง ผู้บริหารระบบสามารถปรับปรุงตารางเดินเครื่องเอง หรือให้โปรแกรมปรับปรุงให้โดยอัตโนมัติก็ได้ ผลการปรับปรุงการเดินเครื่องสามารถพิมพ์เป็นเอกสารเพื่อส่งให้ห้องควบคุมอาคารดำเนินการตามที่ต้องการต่อไป

8. ผลการทดสอบและการพัฒนาขั้นต่อไป

โปรแกรมสามารถคำนวณการใช้พลังงานในภาวะปกติและเมื่อมีการใช้กลยุทธ์การจัดการพลังงานแบบต่างๆ ตลอดจนการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ได้โดยอัตโนมัติเพื่อหาทางเลือกที่เป็นไปได้ ภายใต้เงื่อนไขการควบคุมค่าความต้องการพลังไฟฟ้าที่กำหนดได้ นอกจากนี้ ผู้บริหารระบบสามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบการเดินเครื่องได้เอง โดยให้โปรแกรมคำนวณค่าพลังงานในกรณีต่างๆ ตามที่ต้องการได้ด้วย

ผลที่ได้รับจากการทดสอบนำโปรแกรมไปใช้งานจริง ปรากฏว่าผู้บริหารระบบสามารถมองเห็นภาพรวมการใช้พลังงานของอาคารในช่วงเวลา On-Peak ได้ชัดเจนขึ้น และมีแนวทางการตัดสินใจเพื่อช่วยควบคุมการใช้พลังงานไม่ให้เกินค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่กำหนด ซึ่งแต่เดิมไม่สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าและเตรียมแผนการเดินเครื่องรองรับได้ ในความเห็นของผู้บริหารระบบ ส่วนที่ควรพัฒนาต่อไปคือการส่งผลการปรับปรุงการเดินเครื่องให้เข้าสู่ระบบควบคุมอาคารโดยอัตโนมัติ

ระดับชั้นของโปรแกรมกล่าวได้เป็นสองระดับ คือ

1. Supervised model : โปรแกรมทำหน้าที่นำเสนอรูปแบบการเดินเครื่องด้วยกลยุทธ์ต่างๆ ที่สามารถบรรลุเป้าหมาย ผู้ควบคุมตัดสินใจว่าจะเลือกใช้วิธีใดและนำไปปฏิบัติ
2. Autonomous system : โปรแกรมคำนวณรูปแบบการเดินเครื่องด้วยกลยุทธ์ต่างๆ และเลือกแนวทางที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นส่งข้อมูลเชื่อมต่อกับระบบ BAS เพื่อสั่งการแบบอัตโนมัติ

รูปแบบการทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาในขั้นนี้ถือว่าเป็นเพียง Supervised model เท่านั้น การพัฒนาโปรแกรมให้ส่งข้อมูลเชื่อมต่อกับระบบ BAS จำต้องศึกษารูปแบบการสร้างแฟ้มข้อมูลสั่งการของระบบ BAS รูปแบบการส่งถ่ายแฟ้มข้อมูลระหว่างระบบ BAS กับสิ่งแวดล้อมของระบบ ซึ่งอาจมีลักษณะเฉพาะตัวของผู้ผลิตระบบ BAS แต่ละรายก็ได้

9. บทสรุป

บทความนี้แนะนำเครื่องมือสำหรับช่วยผู้บริหารอาคารในการจัดการพลังงาน พร้อมทั้งสามารถตอบสนองความต้องการใช้พลังงานของผู้อยู่อาศัยได้อย่างเหมาะสม จากความซับซ้อนและหลากหลายของข้อมูลที่รับเข้า โปรแกรมจะคำนวณภาวะการใช้พลังงานและนำเสนอทางเลือกรูปแบบต่างๆ ที่เป็นไปได้เพื่อรักษาระดับการใช้พลังงานไม่ให้เกินค่าที่กำหนด

10. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณธนาคารไทยพาณิชย์ จำกัด (มหาชน) สำหรับนโยบายสนับสนุนการจัดการพลังงาน อันเป็นที่มาของระบบทางวิศวกรรมอาคารและการศึกษาทั้งหมดนี้ ขอคุณฝ่ายเดินเครื่องและบำรุงรักษา บริษัท นันทวัน-มารูเช่ จำกัด ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลสำหรับการศึกษาแบบจำลองระบบ ขอคุณแผนกบริหารและพัฒนาางระบบ บริษัท มหิศร จำกัด ที่สนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ตลอดจนพนักงานที่ช่วยเก็บข้อมูล ทำให้การพัฒนาโปรแกรมต้นแบบนี้สามารถดำเนินการลุล่วงไปได้

11. เอกสารอ้างอิง

1. สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, คู่มือการอนุรักษ์พลังงาน สำหรับเจ้าของอาคารควบคุมและโรงงานควบคุม ตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535, รหัส A5, โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
2. การไฟฟ้านครหลวง, มกราคม 2540, คู่มืออัตราค่าไฟฟ้า.
3. SCB Contractors, 1996, *Building Systems Operation Manual of the Siam Commercial Bank Head Office*, Hand-over documents.
4. ฝ่ายเดินเครื่องและบำรุงรักษา บริษัท นันทวัน-มารูเซ่ จำกัด, เดือนมกราคม-เดือนธันวาคม 2542, รายงานประจำเดือน : "การวิเคราะห์การใช้พลังงาน", อาคารธนาคารไทยพาณิชย์ สำนักงานใหญ่.
5. ธนาคารไทยพาณิชย์ สำนักงานใหญ่, ใบเสร็จรับเงินค่าไฟฟ้า, เดือนมกราคม-เดือนธันวาคม พ.ศ. 2539 - 2542.
6. แผนกบริหารและพัฒนางานระบบ บริษัท มหิธร จำกัด, เดือนตุลาคม 2542-เดือนกุมภาพันธ์ 2543, *Outside Temperature and Relative Humidity Historical Trend Log*, อาคารธนาคารไทยพาณิชย์ สำนักงานใหญ่.
7. แผนกบริหารและพัฒนางานระบบ บริษัท มหิธร จำกัด, เดือนตุลาคม 2542-เดือนกุมภาพันธ์ 2543, *AHU Historical Trend Log*, อาคารธนาคารไทยพาณิชย์ สำนักงานใหญ่.
8. แผนกบริหารอาคาร บริษัท นันทวัน-มารูเซ่ จำกัด, เดือนมกราคม-เดือนธันวาคม 2542, รายงานการเปิดระบบไฟฟ้าและเครื่องปรับอากาศล่วงหน้า, อาคารธนาคารไทยพาณิชย์ สำนักงานใหญ่.
9. Davis, William S., 1994, *Business Systems Analysis and Design*, International Thomson Publishing, Wadsworth, Inc., Belmont, California.