# ระบบผลิตน้ำเย็นประสิทธิภาพสูงสำหรับระบบปรับอากาศ (High Efficiency Chiller Plant System)

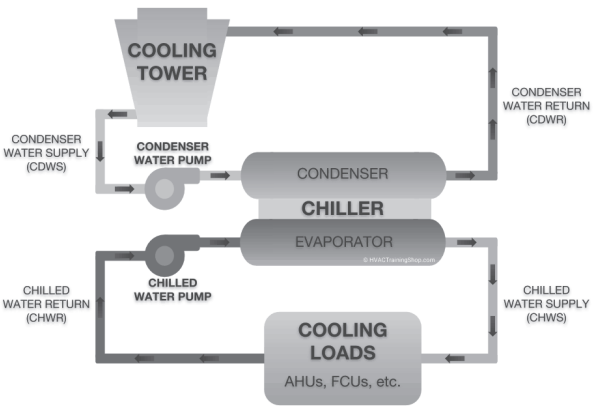
## กรณีศึกษาโครงการอาคารสำนักงาน United Oversea Bank (UOB) เพชรเกษม


**ปรีชา ศรีบุญญารักษ์, ธนาคาร ยูโอบี จำกัด (มหาชน), preecha.sri@uob.co.th**
**ศิรินทิพย์ อดุลสีหวัตต์, บริษัท แคเรียร์ (ประเทศไทย) จำกัด, Sirintip.Adulseehawat@carrier.com**
**เอกวิชช์ ตั้งตระการ, บริษัท แคเรียร์ (ประเทศไทย) จำกัด, Ekawit.Tangtrakarn@carrier.com**
**สุธี วงศ์ไทย, บริษัท แคเรียร์ (ประเทศไทย) จำกัด, E-mail Sutee.Wongthai@carrier.com**


### Chiller Plant System คืออะไร?

ในปัจจุบันหากกล่าวถึง เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) หรือระบบผลิตน้ำเย็น (Chiller Plant System) ที่ใช้ในโรงงานหรืออาคารขนาดใหญ่ หลายๆ ท่านในที่นี้คงรู้จักและมีความคุ้นเคยเป็นอย่างดี เพราะเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (Centralized System) ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมาเป็นเวลานาน และยังคงได้รับความนิยมมากยิ่งขึ้นในปัจจุบัน โดยเฉพาะกรณีโครงการขนาดใหญ่พิเศษ (Mega Project)

ทั้งนี้ ในปัจจุบันระบบผลิตน้ำเย็น ได้มีการนำระบบ Chiller plant Management system หรือ CPMS มาใช้ในการควบคุม Chiller Plant กันมากยิ่งขึ้น ทั้งในแง่การตรวจสอบดูแลระบบ, การควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นภายในบริเวณปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพสูงสุด รวมถึงใช้ในการวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงานของระบบ และประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศของอาคารและโรงงาน ได้เป็นอย่างดีอีกด้วย




จากรูปที่ 1 Chiller plant system ประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลัก คือ เครื่องทำน้ำเย็น (Water cooled chiller), หอระบายความร้อน (Cooling tower), ปั๊มน้ำ (Chilled water and Condenser water pump) ดังรูปที่ 1 โดย 3 อุปกรณ์หลักส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศดังกล่าวโดยตรง หากแต่ละอุปกรณ์ไม่สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างสอดคล้องและเหมาะสม จะส่งผลต่อประสิทธิภาพโดยรวมซึ่งวิเคราะห์ในหน่วยของพลังงานไฟฟ้าต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/Ton) โดยเทคโนโลยีทางด้าน Chiller , Cooling tower หรือแม้กระทั่ง Pump มีการพัฒนาขึ้นจากในอดีตเป็นอย่างมาก ส่งผลให้ค่า kW/Ton ของทั้งระบบ Chiller plant ในปัจจุบันจึงมีแนวโน้มที่ดีขึ้นเรื่อย ๆ

ในบทความนี้เราจะขอกล่าวถึงกรณีศึกษาโครงการ อาคารสำนักงาน United Oversea Bank (UOB) สาขาเพชรเกษม ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งสามารถวัดผลประสิทธิภาพรวมขณะทำงานจริงได้ 0.55 kW/Ton เปรียบเทียบกับข้อกำหนดในการออกแบบเบื้องต้นของโครงการที่กำหนดเพียง 0.65 kW/Ton

**รูปที่ 2** รูปถ่ายอาคาร UOB สำนักงานใหญ่ สาขาเพชรเกษม

ในที่นี้จะขอกล่าวถึงข้อมูลเบื้องต้นของอาคารดังต่อไปนี้

อาคาร UOB สำนักงานใหญ่ สาขาเพชรเกษม ประกอบไปด้วย Tower A (16 ชั้น) และ Tower B (18 ชั้น) ซึ่งมีช่วงเวลาทำงาน 8.00 น. - 18.00 น. เป็นอาคารสำนักงานที่มีขนาดใหญ่ จึงมีความเหมาะสมในการใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ หรือ Chiller Plant System

## การเลือก Chiller สำหรับโครงการ UOB

จากข้อกำหนดการออกแบบพบว่าช่วงการทำงานของสำนักงานจะอยู่ในช่วง 8.00 - 18.00 น. ในวันจันทร์-ศุกร์ และเสาร์-อาทิตย์จะมีการเปิดเพื่อรักษาอุณหภูมิเท่านั้น ในขั้นตอนแรกผู้ออกแบบได้กำหนดเป็นภาระโหลดอาคารขนาด 1,000 ตัน ซึ่งโจทย์ของโครงการต้องการประสิทธิภาพที่ดีที่สุด และประหยัดพลังงานในทุก ๆ ภาระการทำความเย็นทั้ง Full Load และ Part load ทางผู้ผลิตจึงทำการเลือก Chiller ด้วยเงื่อนไขดังต่อไปนี้

โดยระบบการทำงานภายใน Chiller ประกอบไปด้วย Cooler, Compressor, Condenser และ Expansion valve ซึ่งอุปกรณ์ที่กินพลังงานไฟฟ้าคือ Compressor จึงมุ่งความสนใจไปยังตัวแปรจากสูตรดังต่อไปนี้

$$\dot{W} = \dot{m} \times (h_2 - h_1)$$

เมื่อ $\dot{W}$ คือ พลังงานไฟฟ้า (kW)

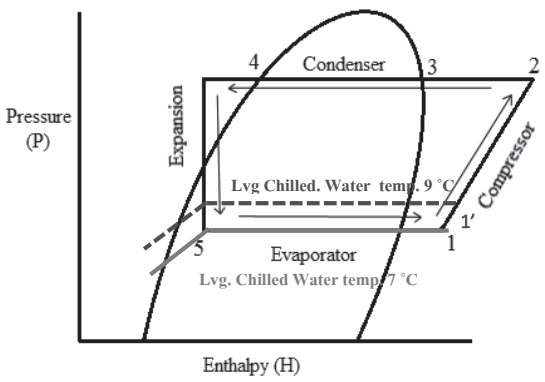
$\dot{m}$ คือ อัตราการไหล (L/s)

$h$ คือ เอนทาลปี (Btu/hr °F)

จากสูตรข้างต้นจึงทำการตั้งเงื่อนไขสำหรับการเลือก Chiller ดังนี้

## การเพิ่มอุณหภูมิน้ำขาออกจาก Chiller (Raise leaving chilled water temperature)

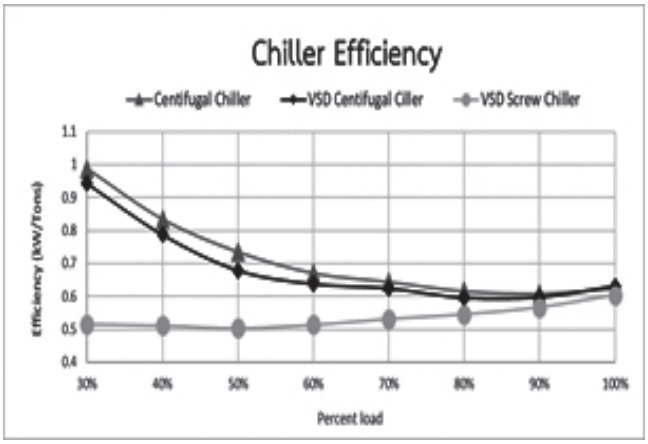
โดยปกติเงื่อนไขตามมาตรฐานของการเลือก Chiller อุณหภูมิน้ำเข้าและออกจะเป็น 12°/ 7°C ตามลำดับ แต่ในโครงการนี้เราทำการเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นขาออกจาก Chiller จาก 7°C ไปเป็น 9°C ดังแสดงในรูปที่ 3




**รูปที่ 3** P-H diagram ของสารทำความเย็นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นขาออกจาก 7°C ไปเป็น 9°C (1➔1')

จากรูปที่ 3 เป็นกราฟ P-H diagram แสดง Cycle ของสารทำความเย็นภายใน Chiller ซึ่งเมื่อเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นขาออกจาก Chiller จาก 7°C เป็น 9°C ส่งผลให้ อุณหภูมิของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และเมื่ออุณหภูมิสารทำความเย็นเพิ่มขึ้น ผลต่าง Enthalpy State 1 ไป Stage 2 ก็จะลดลงตามไปด้วยหรือกล่าวได้ว่าพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Compressor ลดลง

นอกจากการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ต้องให้ความสนใจแล้ว ประสิทธิภาพของเครื่องก็ยังเป็นปัจจัยหลักที่ต้องพิจารณา การเลือกประเภท Chiller จึงส่งผลต่อประสิทธิภาพด้วย ผู้ออกแบบต้องการ Chiller สำหรับภาระโหลดอาคาร 1,000 ตัน แต่ไม่ได้กำหนดประเภทของ Compressor หากแต่โครงการนี้มุ่งเน้นไปที่ประสิทธิภาพในช่วงการทำงาน Part Load และการประหยัดพลังงานเป็นหลัก จึงเลือกเป็น High Efficiency variable speed screw chiller ขนาด 450 ตัน จำนวน 3 เครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยแสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/Ton) ระหว่าง Chiller ประเภท Centrifugal, VSD centrifugal และ VSD screw ดังแผนภูมิในรูปที่ 5



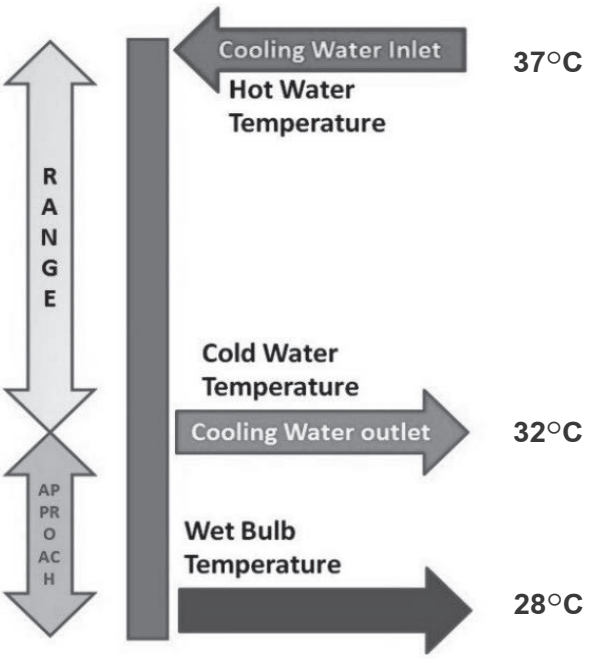

**รูปที่ 5** แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพของ Chiller ประเภท Centrifugal และ Screw ที่ขนาด 450 ตัน

เปรียบเทียบการทำงานของ VSD Screw chiller เมื่อเทียบกับ Centrifugal chiller (ทั้งแบบ Fixed speed และ VSD) แล้วพบว่า นอกจากประสิทธิภาพในช่วงการทำงาน Part Load ที่ดีกว่า Centrifugal chiller แล้ว VSD Screw chiller ยังสามารถทำงานในช่วง part load ได้เสถียรกว่าอีกด้วย โดยสามารถปรับการทำงานให้สัมพันธ์กับอุณหภูมิภายนอกได้อย่างแม่นยำและมีค่าประสิทธิภาพการทำงาน ตามมาตรฐาน AHRI 550/590 ระบุไว้ที่ IPLV 0.299 kW/Ton

**รูปที่ 5** Carrier variable speed Tri-Screw water cooled chiller (23XRV)

## การเลือก Cooling tower สำหรับโครงการ UOB

การประหยัดพลังงานของ Cooling tower นั้น กรณีประเทศไทยจะมีข้อจำกัดในการเลือก Cooling tower จากปัจจัยของอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature) และ Approach temperature ซึ่งเป็นผลต่างระหว่างอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศภายนอก ณ เวลานั้น ๆ และอุณหภูมิน้ำขาออกจาก Cooling tower โดยกรณีนี้อยู่ที่ประมาณ 4-7°F




**รูปที่ 6** ภาพการแสดงตัวแปรในการคำนวณประสิทธิภาพ Cooling tower

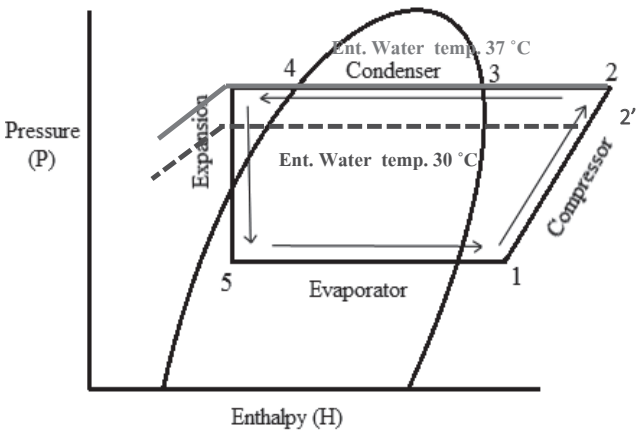
โดยการคำนวณประสิทธิภาพของ Cooling tower จะคำนวณได้จาก

$$\text{Effectiveness} = \frac{Range}{Range+Approach}$$

เมื่อ Range คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้าและออก Cooling tower

Approach คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำขาออกจาก cooling tower และอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature) ของอากาศภายนอก

โดยการเลือก Cooling tower นั้นสามารถกำหนด Approach temperature ได้ ซึ่งในกรณีนี้ ได้ทำการลด Approach temperature จาก △ 7°F (หรือประมาณ 4 °C) เป็น △ 4°F (หรือประมาณ 2°C) ด้วยวิธีการขยายขนาดของ Cooling tower เพื่อเพิ่มพื้นที่การแลกเปลี่ยนความร้อน ส่งผลให้ประสิทธิภาพของ Chiller plant เพิ่มขึ้น




**รูปที่ 7** P-H diagram ของสารทำความเย็นเมื่อลดอุณหภูมิด้าน Condenser (1 ➔ 2')

และเมื่อลด Approach temperature อุณหภูมิของสารทำความเย็นด้าน Condenser จะลดลง ทำให้ผลต่าง Enthalpy ลดลง พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Compressor ลดลง (1 ➔ 2') ทำให้ประหยัดพลังงานมากขึ้น รวมถึงส่งผลต่อประสิทธิภาพรวมของทั้ง plant ดีขึ้น

## การเลือก Chilled water & Condenser water pump สำหรับโครงการ UOB

สำหรับเครื่องสูบน้ำจะประกอบไปด้วย ชุดเครื่องสูบน้ำ และมอเตอร์ต้นกำลังที่ใช้ขับเครื่องสูบน้ำ ปกติประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำจะแปรผันตามอัตราการไหล (Flow Rate) และแรงเสียดทานภายในระบบ (Head)

สำหรับโครงการ UOB ทำการเลือกเครื่องสูบน้ำแบบควบคุมอัตราการไหลหรือ Variable Speed Drives ซึ่งประหยัดพลังงานได้โดยเป็นไปตามกฎของเครื่องสูบน้ำ (Affinity Law) ดังนี้

สมการความสัมพันธ์ Affinity Law

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^1$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3$$

Q คือ อัตราการไหลของเครื่องสูบน้ำ

N คือ ความเร็วรอบเครื่องสูบน้ำ

P คือ กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์

จากสมการความสัมพันธ์ Affinity Law พบว่าเมื่ออัตราการไหลของเครื่องสูบน้ำยิ่งน้อยตามภาระโหลดของอาคารที่ลดลงในแต่ละวัน จะส่งผลให้การใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำยิ่งประหยัดพลังงานมากยิ่งขึ้น

ในโครงการ UOB จะใช้วิธีควบคุมการปรับความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำด้วยการรักษาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำขาไปและขากลับ (Different temperature load building) เพื่อลดภาระการทำงานของเครื่องสูบน้ำ หากอาคารมีการใช้งานบริเวณชั้น Low zone เท่านั้น การอัดน้ำเพื่อไปจ่ายให้แก่เครื่องจ่ายลมเย็น (Fan coil units) ที่อยู่ไกลที่สุดก็นับเป็นการสร้างภาระทางไฟฟ้าเกินความจำเป็นแก่เครื่องสูบน้ำ

ซึ่งการเปลี่ยนตัวแปรควบคุมดังกล่าว ในช่วงการทำงาน Part load ผลต่างของอุณหภูมิน้ำเย็นขาไปและกลับของอาคารจะมีค่าต่ำลง ซึ่ง VSD จะรับสัญญาณและทำการลดรอบของปั๊มน้ำเพื่อรักษาอุณหภูมิน้ำเย็นขากลับของอาคารให้เป็น 14°C ตามเดิม ส่งผลให้ประหยัดพลังงานได้มากยิ่งขึ้นนั่นเอง

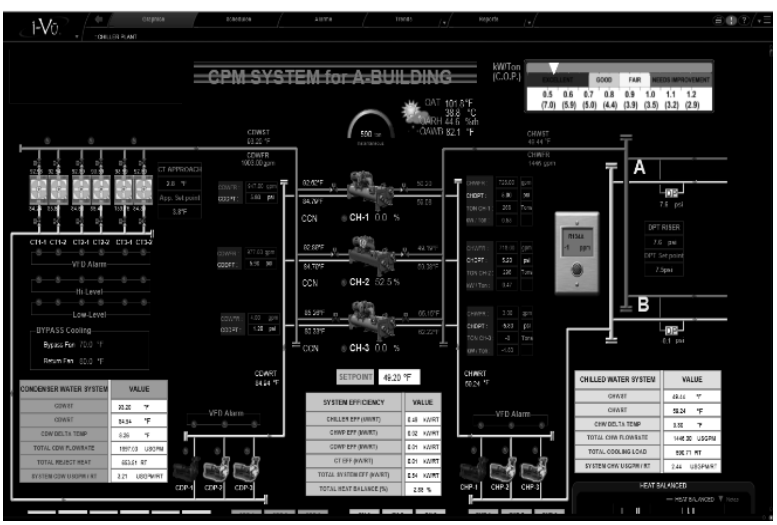
นอกจากการเลือกอุปกรณ์ภายในระบบจะมีความสำคัญแล้ว ระบบที่ใช้ควบคุมอุปกรณ์ก็มีความสำคัญไม่น้อยไปกว่ากัน โดยโครงการนี้ได้เลือกใช้ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller Plant Management System, CPMS) ของทางบริษัท แคเรียร์ (ประเทศไทย) จำกัด เรียกว่า Carrier i-Vu system ซึ่งถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่ช่วยให้ระบบปรับอากาศของโครงการ UOB ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

## The Carrier iVu system

**รูปที่ 8** แผงควบคุม Carrier i-Vu system

Carrier i-Vu system เป็นระบบควบคุมควบคุม CPMS ที่ถูกที่ถูกออกแบบให้มีความแม่นยำในการควบคุมระบบปรับอากาศ อีกทั้งสามารถอ่านค่าตัวแปรต่าง ๆ ในระบบและนำไปสู่การวิเคราะห์เพื่อปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมได้อย่างดีมากยิ่งขึ้น

นอกจากคุณสมบัติข้างต้นยังสามารถควบคุมการเปิด-ปิดอุปกรณ์ผ่านระบบออนไลน์ได้ ซึ่งสามารถตั้งค่าผู้ควบคุมระบบ (Authorized user) เพื่อป้องกันความผิดพลาดในการตั้งค่าระบบได้ด้วย และสามารถแสดงค่าประสิทธิภาพโดยรวมของ Chiller plant ได้แบบ real time โดยค่าเฉลี่ยค่าประสิทธิภาพการทำงานจริงของ plant อยู่ที่ 0.55 kW/Ton **ซึ่งนับเป็นค่าประสิทธิภาพของระบบ Chiller Plant ที่มีประสิทธิภาพขั้นสูงสุดตามมาตรฐาน ASHRAE และสูงสุดเมื่อเทียบกับกรณี UOB สาขาอื่น ๆ ทั่วโลก**




**รูปที่ 9** ระบบควบคุม CPMS ที่ใช้ในโครงการ UOB (i-Vu monitoring system)

จากปัจจัยต่างๆข้างต้นส่งผลให้ระบบ Chiller plant UOB สามารถประหยัดพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นไปตามเงื่อนไขที่ผู้ออกแบบและผู้ใช้งานต้องการ ซึ่งสรุปได้ตามตารางที่ 1 ดังต่อไปนี้

| | Standard condition | Adjust condition |
|---|---|---|
| Entering water temp. | 7°C | 9°C |
| Compressor chiller | Fix speed | VSD Screw |
| Cooling tower approach temp. | Δ 4°C | Δ 2°C |
| Chilled water pump | Fix speed | VSD |

**ตารางที่ 1** เงื่อนไขการออกแบบระบบผลิตน้ำเย็นภายใต้โครงการ UOB

หากพิจารณาเงื่อนไขข้างต้นทั้งหมด พบว่า การปรับเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ ในการประหยัดพลังงานนั้น พิจารณาได้จากค่าพลังงานไฟฟ้าต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/Ton) ที่ตรวจวัดได้จากการทำงานจริงของ plant ซึ่งค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.55 kW/Ton เมื่อพิจารณาเทียบกับค่าที่ผู้ออกแบบคาดการณ์ในเบื้องต้นที่ 0.65 kW/Ton โดยใช้ข้อมูลสำหรับคิดค่าไฟฟ้าต่อปี ดังแสดงในตารางที่ 2

| | ค่าออกแบบเริ่มต้น | หลังการปรับค่าการออกแบบ |
|---|---|---|
| ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/Ton) | 0.65 | 0.55 |
| จำนวนวันใช้งานต่อปี | 263 วัน | 263 วัน |
| จำนวนชั่วโมงใช้งานต่อปี | 2,104 ชม. | 2,104 ชม. |
| ค่าไฟต่อหน่วยไฟฟ้า | 4 บาท/กิโลวัตต์ | 4 บาท/กิโลวัตต์ |
| จำนวนตัน Chiller ขณะใช้งานจริง | 600 ตัน | 600 ตัน |
| **ค่าไฟฟ้าต่อปี** | **3,282,240 บาท/ปี** | **2,777,280 บาท/ปี** |

**เป็นการคำนวณโดยพิจารณาที่ 0.55 kW/Tons

**ตารางที่ 2** เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าภายหลังการปรับปรุงเงื่อนไขการออกแบบ Chiller Plant

จากตารางที่ 2 พบว่าค่าไฟฟ้าภายหลังการปรับเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ อยู่ที่ 2,777,280 บาท/ปี ซึ่งลดไปจากค่าไฟจากค่าออกแบบเริ่มต้น 504,960 บาท/ปี หรือคิดเป็น 15% ต่อปี

## บทสรุป

การเลือกอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการออกแบบระบบ Chiller Plant ดังที่กล่าวข้างต้น ซึ่งได้แก่ การเลือกใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบ VSD screw chiller ที่สามารถรองรับการทำงานที่ทุกสภาวะโหลดของอาคารได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะกรณีการทำงานที่ Part Load อีกทั้งการเลือก Cooling Tower ที่เหมาะสมกับสภาวะอากาศภายนอกและการใช้งาน รวมถึงการใช้ระบบควบคุม CPMS และการนำพารามิเตอร์ที่ถูกต้องมาใช้ในการควบคุมระบบ จะส่งผลดีทั้งในแง่การประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายทางด้านไฟฟ้าให้แก่ผู้ลงทุน ซึ่งจากกรณีที่นำเสนอนี้สามารถประหยัดพลังงานจากที่ออกแบบไว้เดิมได้กว่า 15% ต่อปี และนับเป็นค่าประสิทธิภาพของระบบ Chiller Plant ที่มีประสิทธิภาพขั้นสูงสุดตามมาตรฐาน ASHRAE และสูงสุดเมื่อเทียบกับกรณี UOB สาขาอื่น ๆ ทั่วโลก รวมถึงยังสามารถทำให้การควบคุมและการเฝ้าติดตามระบบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

### เอกสารอ้างอิง


- HVAC Training Shop, How a Chilled Water System Works, https://hvactrainingshop.com/how-a-chilled-water-system-works [Online]
- Chemical Engineering site, Cooling tower efficiency calculation, http://chemicalengineeringsite.in/cooling-tower-efficiency-calculations/ [Online]
- Energy Auditor Thai, คู่มือฝึกอบรมการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลัง http://energyauditorthai.com/wp-content/uploads/ [Online]