DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

การจัดการพลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ของอาคารสำนักงาน

จักรกฤษ สีหะราช

การศึกษารายบุคคลนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ปีการศึกษา 2564

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

POWER MANAGEMENT IN OFFICE BUILDING OF CENTRIFUGAL CHILLERS

JAKKRIT SEEHARACH

An Individual Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

College of Innovative Technology and Engineering

Dhurakij Pundit University

Academic Year 2021

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ใบรับรองการศึกษารายบุคคล

วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

หัวข้อการศึกษารายบุคคล การจัดการพลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ของอาคารสำนักงาน

เสนอโดย จักรกฤษ สีหะราช

สาขาวิชา การจัดการทางวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษารายบุคคล รองศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดยคณะกรรมการสอบการศึกษารายบุคคลแล้ว

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑามาศ ชุมลักษณ์)

.....กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษารายบุคคล

(รองศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์)

วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

.....

(ดร.ชัยพร เขมะภาตะพันธ์)

คณบดีวิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 21 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2562

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

หัวข้อการศึกษารายบุคคล	การจัดการพลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ของอาคารสำนักงาน
ชื่อผู้เขียน	จักรกฤษ สีหะราช
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์
สาขาวิชา	การจัดการทางวิศวกรรม
ปีการศึกษา	2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการทำงานและการจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ ในช่วงการทำงานสถานการณ์โควิด 19 ที่มีความต้องการความเย็นที่ลดลงในขณะที่อาคารสำนักงานทำการเดินเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ ขนาด 300 ตันทำให้เครื่องทำน้ำเย็นมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงแต่ทำน้ำเย็นออกมาได้น้อย ส่งผลให้ประสิทธิภาพต่อตันความเย็นของข้างสูงกว่าค่ากำหนดของ ASHRAE/IES Standard 90.1-2010 โดยได้ทำการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตน้ำเย็นแบบรวมศูนย์โดยคิดเฉพาะห้องเครื่องไม่รวมในส่วนของ AHU โดยทำการวัดค่าพารามิเตอร์ในส่วนของ เครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์, เครื่องส่งน้ำเย็น,น้ำหล่อเย็น เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ตามที่ต้องการแล้วจึงทำการจำลองการทำงานเครื่องทำน้ำเย็น ในช่วงเวลานั้น ๆ เพื่อทำการคำนวณอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ และทำการทดสอบการทำงานเพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการทำงานของเครื่องผลิตน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เหมาะสมกับความต้องการความเย็นที่มีอยู่ในสถานการณ์โควิด 19 หรือช่วงเวลาที่ความต้องการความเย็นน้อยกว่าปกติ

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

Individual Study Title	POWER MANAGEMENT IN OFFICE BUILDING OF CENTRIFUGAL CHILLERS
Author	Jakkrit Seeharach
Thematic Paper Advisor	Associate Professor Aumnad Phdungsilp, Ph.D., Tekn. Dr.
Department	Engineering Management
Academic Year	2021

ABSTRACT

This research study was conducted to compare the operation and power management of centrifugal chiller. During the Covid-19 situation, with reduced cooling demands as office buildings run a 300-ton centrifugal chiller, the chiller has a high electricity consumption but cools the water. Come less as a result, the efficiency per ton of cold water is higher than the ASHRAE/IES Standard 90.1-2010. Various parameters related to the centralized chilled water production system were measured by considering only the plant room chiller, not including the AHU by measuring the parameters in the section Centrifugal water chiller, chilled water dispenser, Coolant Once the required parameters are obtained, the chiller operation is simulated. during that time to calculate the electrical power consumption of the equipment and perform a functional test to determine the optimum working value of the centrifugal chiller to reduce the use of electricity to suit the cooling demand that exists in the Covid-19 situation or during the period when the cooling demand is less than usual.

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษารายบุคคลฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ผู้จัดทำใคร่ขอกราบขอบพระคุณท่านที่มีส่วนช่วยเหลือดังนี้ ท่านอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์ ที่ให้คำปรึกษา เสนอแนะในการเขียนงานวิจัย ส่งเสริมให้ผู้จัดทำมีความกล้า เชื่อมั่นในการนำเสนอทั้งในด้านงานวิจัยและในการปฏิบัติงานตลอดจนให้ความอนุเคราะห์เป็นกรรมการในการนาเสนอการศึกษารายบุคคล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์ ผู้อำนวยการหลักสูตรการจัดการทางวิศวกรรม ที่คอยกระตุ้นและบ่มเพาะผู้จัดทำให้ประสบความสำเร็จด้านการศึกษาข้อคิดและมุมมองอย่างกว้างในการจัดทำงานวิจัยให้มีความครอบคลุมรอบด้านและตอบสนองความต้องการของสังคม

จักรกฤษ สีหะราช

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ฆ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ซ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
3. ระเบียบวิธีวิจัย.....	24
3.1 ระเบียบวิธีวิจัย.....	24
3.2 สมมุติฐานและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ.....	35
4. ผลการศึกษา.....	52
4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	52
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	60
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	61
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	62
บรรณานุกรม.....	63
ประวัติผู้เขียน.....	65

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สัดส่วนการใช้พลังงานในระบบแต่ละระบบของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ดังนี้……	6
2.2	ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นและค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศ……	8
2.3	ตารางกำหนดค่ามาตรฐานสำหรับเครื่องทำน้ำเย็นตาม ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2010……	9
3.1	แสดงค่าDesign ของหอผึ่งน้ำ……	31
3.2	แสดงค่าพารามิเตอร์ของเครื่องผลิตน้ำเย็นตามค่า Design	37
3.3	แสดงค่า Design การทำงานของเครื่องผลิตน้ำเย็นในแต่ละช่วงภาระการทำความเย็น……	38
3.4	แสดงค่าพารามิเตอร์ของเครื่องผลิตน้ำเย็นจากการใช้งาน……	39
3.5	แสดงค่าตรวจวัดของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนดำเนินการ……	41
3.6	แสดงการจำลองค่าพารามิเตอร์ของเครื่องผลิตน้ำเย็น Simulation……	42
3.7	แสดงสรุปคุณสมบัติทางเทคนิคเครื่องส่งน้ำเย็นจากค่า Design……..	44
3.8	แสดงสรุปคุณสมบัติทางเทคนิคเครื่องส่งน้ำหล่อเย็นจากค่า Design……..	45
3.9	แสดงค่าตรวจวัดของเครื่องส่งน้ำก่อนดำเนินการ……	47
3.10	แสดงผลประหยัดของเครื่องทำน้ำเย็น 300 ตันจากการ Simulation……	48
3.11	แสดงผลประหยัดของเครื่องส่งน้ำเย็น 45 กิโลวัตต์ จากการ Simulation……..	49
3.12	แสดงผลประหยัดของเครื่องส่งน้ำหล่อเย็น 30 กิโลวัตต์ จากการ Simulation..	50
3.13	ตารางแสดงผลการทำการวิจัยจากการ Simulation……	51
4.1	ตารางแสดงผลการทำการวิจัยของเครื่องผลิตน้ำเย็น ขนาด 300 ตัน……...	55
4.2	ตารางแสดงผลการทำการวิจัยของเครื่องส่งน้ำเย็น ขนาด 45 กิโลวัตติ……...	56
4.3	ตารางแสดงผลการทำการวิจัยของเครื่องส่งน้ำหล่อเย็น ขนาด 30 กิโลวัตติ…...	57
4.4	ตารางแสดงผลการทำการวิจัยจากการตรวจวัด……	58

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	ระบบประกอบอาคารที่สำคัญ	2
1.2	สัดส่วนการใช้พลังงานในอาคาร	3
2.1	แผนผังแสดงองค์ประกอบของระบบปรับอากาศ	5
2.2	แผนผังแสดงองค์ประกอบของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์	7
2.3	เครื่องผลิตน้ำเย็นชนิดต่าง ๆ	8
2.4	เครื่องสูบน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น	11
2.5	แสดงทิศทางการไหลของน้ำขณะผ่านออกจากใบพัดของ Centrifugal pump	12
2.6	แสดงเครื่องส่งแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	12
2.7	ปั๊มโรตารี่แบบเกียร์ (Gear type)	13
2.8	ปั๊มโรตารีแบบลอน	14
2.9	คุณลักษณะของปั๊ม	15
2.10	จุดการเดินเครื่องของปั๊ม	15
2.11	หอผึ่งน้ำเย็นจำแนกตามการไหลของน้ำและอากาศ	17
2.12	เครื่องส่งลมเย็นแบบต่างๆ ในระบบปรับอากาศ	19
3.1	ระเบียบวิธีวิจัยการลดการใช้พลังงานระบบผลิตน้ำเย็นแบบรวมศูนย์	24
3.2	แผนผังการตรวจสอบและสำรวจหน้างาน	25
3.3	ตรวจสอบสภาพเครื่องจักรและข้อมูลจำเพาะของเครื่องจักร	26
3.4	การใช้เครื่องมือวัด ทางไฟฟ้า	27
3.5	การใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิน้ำ	28
3.6	การใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำแบบอัลตร้าโซนิคมีทั้งระบบ Data Logger และ สปอตเช็ค	29
3.7	การใช้เครื่องมือวัดค่าความดันน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น เข้าออกจากเครื่องผลิตน้ำเย็น (Chiller) ด้วย Pressure Gauge	29
3.8	การวัดการใช้พลังงานของเครื่องจักรในระบบผลิตน้ำเย็น	30
3.9	การวัดค่าความดันน้ำ(Pressure) ของเครื่องส่งน้ำเย็น(Chilled Water Pump) และเครื่องส่งน้ำหล่อเย็น (Condenser Water Pump)	30

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

3.10 การวัดค่าอัตราการไหล(Flow) ของเครื่องส่งน้ำเย็น(Chilled Water Pump) และเครื่องส่งน้ำหล่อเย็น (Condenser Water Pump) ……..…… 30

3.11 การวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อเทียบกับค่าดีไซน์ ของ(Cooling Tower)…… 31

3.12 แสดงค่าการจำลองการทำงานของเครื่องผลิตน้ำเย็น(Chiller)(1)……. 32

3.13 แสดงค่าการจำลองการทำงานของเครื่องผลิตน้ำเย็น(Chiller)(2)……. 33

3.14 แสดงค่าการจำลองการทำงานของเครื่องผลิตน้ำเย็น(Chiller)(3)……. 34

3.15 แสดงค่าการจำลองการทำงานของเครื่องผลิตน้ำเย็น(Chiller)(4)……. 35

3.16 ตารางแสดงการเปิดใช้งานอุกรณ์ในระบบผลิตน้ำเย็น……. 36

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล……..…….. 53

4.2 แสดงผลหลังการทำการวิจัยของ CHWP…….. 53

4.3 แสดงผลก่อนการทำการวิจัยของ CDWP…….. 54

4.4 แสดงผลหลังการทำการวิจัยของ CDWP…….. 54

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ จะมีระบบประกอบอาคารหลายส่วนและมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเข้ามาเกี่ยวข้อง บางส่วนมีอัตราการใช้พลังไฟฟ้าน้อยบางส่วนมีอัตราใช้พลังงานไฟฟ้ามาก เมื่อนำอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละส่วนมารวมกันจะทำให้เกิดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคารสำนักงานมีปริมาณที่สูงมาก ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการพิจารณาไปที่ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ซึ่งเป็นระบบประกอบอาคารที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดในอาคารสำนักงาน เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น มีสภาวะอากาศโดยทั่วไปจึงร้อนอบอ้าวเกือบตลอดปี อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปีของประเทศไทยมีค่าประมาณอยู่ที่ 27 °C. อย่างไรก็ตามอุณหภูมิจะมีความแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่และฤดูกาล พื้นที่ที่อยู่ลึกเข้าไปในแผ่นดินบริเวณตั้งแต่ภาคกลาง และภาคตะวันออกตอนบนขึ้นไปจนถึงภาคเหนือจะมีอุณหภูมิแตกต่างกันมาก ระหว่างฤดูร้อนกับฤดูหนาว และระหว่างกลางวันกับกลางคืน โดยในช่วงฤดูร้อนอุณหภูมิสูงสุดในตอนบ่ายปกติจะสูงถึงเกือบ 40 °C. หรือมากกว่านั้นในช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม โดยเฉพาะเดือนเมษายนจะเป็นเดือนที่มีอากาศร้อนจัดที่สุดในรอบปี ส่วนฤดูหนาวอุณหภูมิต่ำสุดในตอนเช้ามืดจะลดลงอยู่ในเกณฑ์หนาวถึงหนาวจัด โดยเฉพาะเดือนธันวาคมถึงมกราคมเป็นช่วงที่มีอากาศหนาวมากที่สุดในรอบปี ซึ่งในช่วงดังกล่าวอุณหภูมิอาจลดลงต่ำกว่าจุดเยือกแข็งได้ในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือบริเวณพื้นที่ซึ่งเป็นเทือกเขาหรือบนยอดเขาสูง สำหรับพื้นที่ซึ่งอยู่ติดทะเลได้แก่ภาคตะวันออกตอนล่าง และภาคใต้ความผันแปรของอุณหภูมิในช่วงวันและฤดูกาลจะน้อยกว่า โดยฤดูร้อนอากาศไม่ร้อนจัดและฤดูหนาวอากาศไม่หนาวจัดเท่าพื้นที่ซึ่งอยู่ลึกเข้าไปในแผ่นดิน(กรมอุตุนิยมวิทยา)

จากข้อมูลที่กล่าวทำให้ทราบได้ว่าในการอยู่อาศัยหรือการปฏิบัติงานภายในอาคารสำนักงาน จำเป็นต้องมีเครื่องปรับอากาศหรือระบบปรับอากาศเข้ามาเกี่ยวข้องกับชีวิติประจำวัน ซึ่งส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในการลดอุณหภูมิเพื่อความสุขสบายของผู้อยู่อาศัยหรือผู้ปฏิบัติงานภายในอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ ยิ่งไปกว่านั้น เมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูร้อนจะส่งผลให้เกิดความต้องการต่อระบบปรับอากาศที่สูงขึ้นและมีผลกระทบไปยังการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นกว่าปกติ เนื่องจาก

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

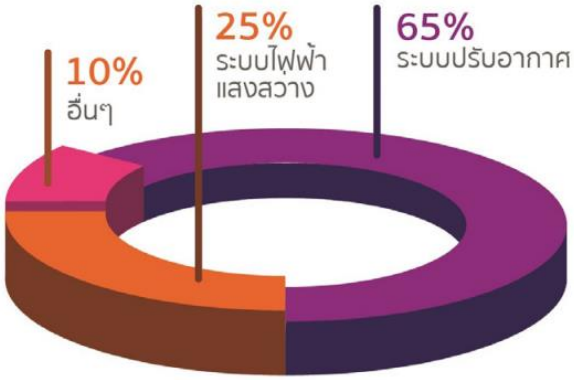
ผู้อยู่อาศัยหรือผู้ปฏิบัติงานมักมีความต้องการความสุขสะบายในการทำงานโดยใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ และมีเครื่องทำน้ำเย็นเป็นศูนย์กลางส่งจ่ายน้ำเย็นไปยังส่วนต่างๆของอาคารเพื่อให้ผู้อยู่อาศัยหรือพนักงานได้รับความเย็นเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ หรือเครื่องผลิตน้ำเย็น (Chiller) ใช้พลังงานไฟฟฟ้าในการผลิตน้ำเย็นเพื่อใช้ในการปรับอากาศ ซึ่งเป็นกระบวนการควบคุมสภาวะของอากาศเพื่อให้เป็นไปตามความต้องการ โดยทั่วไปปัจจัยหรือพารามิเตอร์ของอากาศที่ต้องควบคุมประกอบด้วย อุณหภูมิ ความชื้น ความสะอาด การกระจายลม และปริมาณลมการปรับอากาศ มุ่งให้เกิดความรู้สึกสบายต่อผู้อยู่อาศัยหรือผู้ปฏิบัติงาน อย่างไรก็ตามการผลิตน้ำเย็นอาจจะใช้ในการระบายความร้อนให้เครื่องจักรหรือการปรับอากาศใช้เพื่อควบคุมสภาวะอากาศในกระบวนการผลิต

ภาพที่ 1.1 ระบบประกอบอาคารที่สำคัญ

ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์เป็นระบบที่อาศัยการทำงานของอุปกรณ์หลายชนิดทำงานรวมกัน เพื่อประกอบขึ้นมาเป็นระบบ อาศัยการผลิตน้ำเย็นจากเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) และส่งต่อไปยังบริเวณที่ต้องการปรับอากาศ ภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์นั้นดูได้จากความต้องการความเย็นของพื้นที่ในบริเวณนั้นๆ โดยอาศัยการประมาณภาระการทำความเย็นในการออกแบบหาขนาดเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงมากและยังมีอุปกรณ์อื่นๆที่มีการใช้

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

พลังงานไฟฟ้าที่สูงอีกหลายอุปกรณ์ เช่นหอทำน้ำเย็น(Cooling Tower) เครื่องส่งน้ำ(Pump)และเครื่องส่งลมเย็น(AHU) เป็นต้น



ภาพที่ 1.2 สัดส่วนการใช้พลังงานในอาคาร

ที่มา: https://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/guidelinrBEC2017.pdf

เนื่องด้วยปัญหาในปัจจุบันที่เกิดเหตุการณ์ระบาดของโรคโควิด 19 มีผู้ติดเชื้อจำนวนมากกระจายไปทั่วทุกพื้นที่ จนมีผลให้รัฐบาลต้องมีการประกาศใช้ พรก.ฉุกเฉิน พ.ศ. 2548 . (ฉบับที่ 1) มีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 26 มีนาคม พ.ศ. 2563 เป็นต้นมา ให้มีการปิดกั้นพื้นที่แออัดหรือปิดกิจการสถานที่ ที่มีความเสี่ยงต่อการติดต่อของโรค ส่งผลให้บริษัทหรืออาคารต่างๆ ที่ให้บริการในด้านเปิดเช่าสถาณที่เพื่อทำธุรกิจสำนักงาน หรือห้างสรรพสินค้าและโรงแรมต่างๆ ต้องมีการออกมาตรการให้พนักงานทำงานที่บ้านหรือมีการแบ่งกลุ่มเพื่อสลับวันในการทำงานเพื่อลดความเสี่ยงในการแพร่ระบาดของโรค ทำให้อาคารสำนักงาน ห้างสรรพสินค้าและโรงแรมต่างๆที่มีการใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ต้องมีการปรับลดการใช้พลังงานลงเพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการความเย็นและความต้องการอื่นๆที่ยังคงมีอยู่ในสถานที่นั้น ๆ แต่เมื่อนำข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารในภาพรวมทั้งหมดมาเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองจะไปตกอยู่ในส่วนระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์เพราะเมื่อความต้องการความเย็นของอาคารลดลงแล้ว ยังพบว่ามีอัตราส่วนการใช้พลังงานที่ค่อนข้างสูง ทั้งนี้ผู้วิจัยจึงได้ทำการวิจัยในส่วนของระบบปรับอาศและมุ่งเป้าไปที่ระบบผลิตน้ำเย็นแบบรวมศูนย์เป็นหลักเนื่องจากระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์เป็นฯ ระบบที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวนมากมีอัตราส่วนร้อยละ 65 เปอร์เซ็นต์ ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์หาแนวทางการลดการใช้พลังงานของเครื่องผลิตน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ในอาคารสำนักงาน

2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องผลิตน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์

2. ศึกษาทำงานของอุปกรณ์สำคัญของระบบผลิตน้ำเย็น

3. ศึกษาความต้องการภาระทำความเย็น ในพื้นที่ปรับอากาศ เพื่อสอดคล้องกับการผลิตน้ำเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์

4. ศึกษาอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของชิ้นส่วนสำคัญของระบบผลิตน้ำเย็น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (Chiller Plant) ที่เหมาะสมกับสถานการณ์โควิด 19 หรือสถานการณ์ที่อาคารสำนักงานมีค่าความต้องการความเย็นที่น้อยลง

2. ข้อเสนอและแนวทางปฏิบัติเกี่ยวกับการใช้งานเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ ในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ในช่วงสถานการณ์โควิด 19 หรือสถานการณ์ที่อาคารสำนักงานมีค่าความต้องการความเย็นที่น้อยลง เพื่อสนับสนุนแผนลดใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนักงาน ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปขยายผลใช้กับอาคารสำนักงานอื่น ๆ หรือศูนย์การค้าอื่น ๆ ที่มีการใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ได้

3. เสริมสร้างความร่วมมือทางวิชาการกับสถานประกอบการ อาคารสำนักงานกับผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในด้านการใช้งานเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาโครงการวิจัยร่วมและจัดทำต้นแบบของการปรับลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ที่เหมาะสมกับช่วงสถานการโควิด 19 หรือสถานการณ์ที่อาคารสำนักงานมีค่าความต้องการความเย็นที่น้อยลง

4. ผลลัพธ์จากการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอาคารสำนักงานหรือศูนย์การค้าอื่น ๆ ที่มีการใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ได้

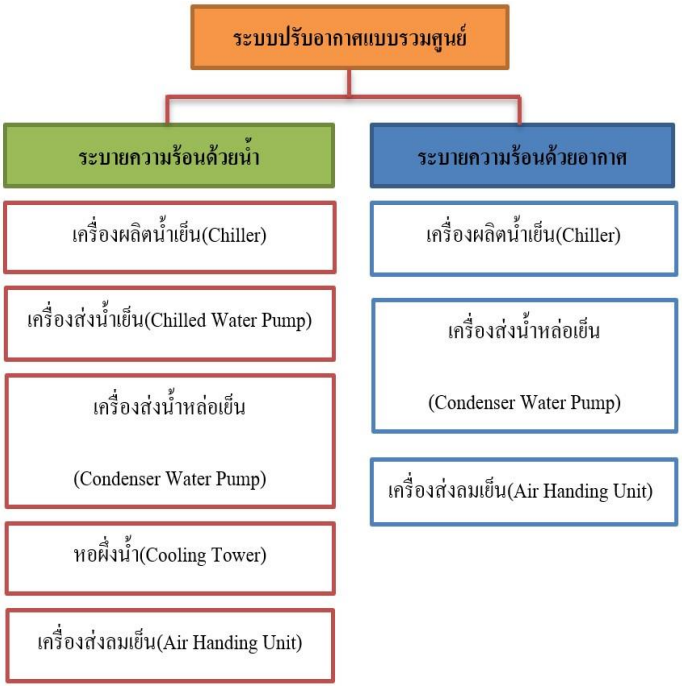
DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 องค์ประกอบของระบบ

เครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ หรือเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ใช้ในการทำน้ำเย็นเพื่อใช้ใน การปรับอากาศ ซึ่งเป็นกระบวนการควบคุมสภาวะของอากาศเพื่อให้เป็นไปตามความต้องการ โดยทั่วไปปัจจัยหรือพารามิเตอร์ของ อากาศที่ต้องควบคุมประกอบด้วย อุณหภูมิ ความชื้น ความสะอาด การกระจายลม และปริมาณลม การปรับอากาศ มุ่งให้เกิดความรู้สึกสบายต่อผู้อยู่อาศัย อย่างไรก็ตามในอุสาหกรรม การทำน้ำเย็นอาจจะใช้ในการระบายความร้อนให้ เครื่องจักรหรือการปรับอากาศใช้เพื่อควบคุมสภาวะอากาศในกระบวนการผลิต เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) เป็นองค์ประกอบหนึ่งในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ซึ่งมีองค์ประกอบทั้งหมด ดังนี้



ภาพที่ 2.1 แผนผังแสดงองค์ประกอบของระบบปรับอากาศ

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนการใช้พลังงานในระบบแต่ละระบบของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ดังนี้

ระบายความร้อนด้วยน้ำ	% พลังงาน	ระบายความร้อนด้วยอากาศ	% พลังงาน
เครื่องทำน้ำเย็น	50 – 60 %	เครื่องทำน้ำเย็น	75 – 85 %
เครื่องสูบน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น	15 – 25 %	เครื่องสูบน้ำเย็น	5 – 10 %
หอผึ่งน้ำ	4 – 8 %	เครื่องส่งลมเย็น	10 – 20 %
เครื่องส่งลมเย็น	15 – 25 %		

ที่มา: http://dede-peecb.bright-ce.com/document

2.1.2 หลักการทำงานของระบบปรับอากาศ

สำหรับอาคารสำนักงานและธุรกิจขนาดใหญ่ระบบปรับอากาศที่นิยมติดตั้งและใช้มักเป็นระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (Central Air-Conditioning System) โดยเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) เป็นแบบระบายความ ร้อนด้วยน้ำ ซึ่งมีประสิทธิภาพการทำงานสูงกว่าแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

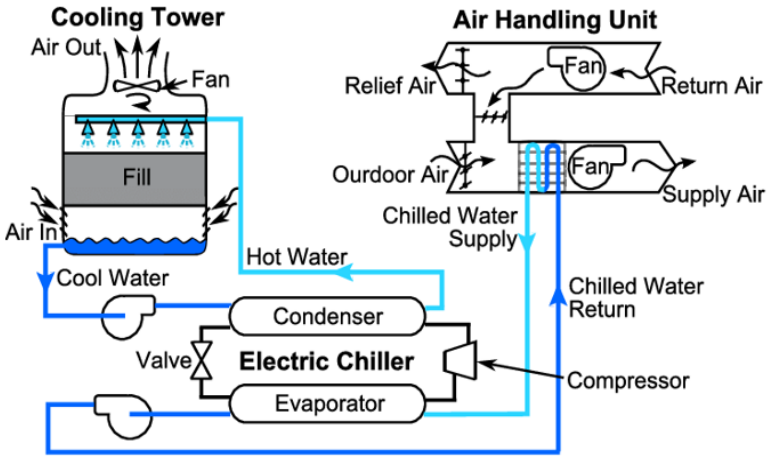
เครื่องทำน้ำเย็นแบบอัดไอประกอบด้วย คอมเพรสเซอร์ (Compressor) คอนเดนเซอร์ (Condenser) อีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) และเอ็กแพนชั่นวาล์ว (Expansion Valve)โดยมีสารทำความเย็น เช่น R22 หรือ R134a บรรจุอยู่ภายในวงจรสารทำความเย็น เมื่อป้อนไฟฟ้าให้คอมเพรสเซอร์คอมเพรสเซอร์จะดูดไอสารทำความเย็นจากอีวาพอเรเตอร์แล้วอัด ส่งไปที่คอนเดนเซอร์ที่อีวาพอเรเตอร์สารทำความเย็นจะมีความดันและอุณหภูมิต่ำ สารทำความเย็นจะดูดความร้อนจากน้ำเย็นที่ไหลผ่านอีวาพอเรเตอร์และระเหยกลายเป็นไอ ในขณะเดียวกันที่คอนเดนเซอร์สารทำความเย็นจะมีความดันและอุณหภูมิสูงความร้อนจากสารทำความเย็นจะถ่ายเทให้กับน้ำหล่อเย็นทำให้สารทำความ เย็นกลั่นตัวกลายเป็นของเหลวที่ความดันสูง เมื่อสารทำความเย็นไหลผ่านเอ็กแพนชั่นวาล์วความดันก็จะลดลง เท่ากับความดันต่ำที่อีวาพอเรเตอร์สารทำความเย็นกจะไหลครบวัฏจักรสารทำความเย็น

น้ำหล่อเย็นเมื่อได้รับความร้อนจากคอนเดนเซอร์จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อถูกเครื่องสูบน้ำหล่อเย็นส่งไป ที่หอทำความเย็น (Cooling Tower) ก็จะถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศโดยการระเหยน้ำ ทำให้น้ำที่เหลือเย็นลง แล้วไหลกลับไปรับความร้อนที่คอนเดนเซอร์อีกทำให้ครบวัฏจักรน้ำหล่อเย็น

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

น้ำเย็นเมื่อถ่ายเทความร้อนให้กับอีวาพอเรเตอร์ก็มีอุณหภูมิต่ำลง เมื่อถูกเครื่องสูบน้ำเย็นส่งไปที่ เครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit) ก็จะถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศทำให้น้ำร้อนขึ้นแล้วไหลกลับไปถ่ายเทความร้อนให้กับอีวาพอเรเตอร์อีกทำให้ครบวัฏจักรน้ำเย็น

เครื่องส่งลมเย็นจะดูดอากาศร้อนจากห้องปรับอากาศผ่านระบบท่อลมไปถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำเย็น ทำให้อากาศมีอุณหภูมิต่ำลงแล้วส่งกลับไปที่ห้องปรับอากาศทำให้ครบวัฏจักรลมเย็น ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แผนผังแสดงองค์ประกอบของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

ที่มา: https://www.entech.co.th/flexim-chilled-water-system/?lang=th

2.1.3 อุปกรณ์หลักในระบบปรับอากาศ

2.1.3.1 เครื่องทำน้ำเย็น (Water Chiller)

เครื่องทำน้ำเย็นแบบอัดไอ ประกอบด้วยคอมเพรสเซอร์ (Compressor) คอนเดนเซอร์ (Condenser) อีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) และเอ็กแพนชั่นวาล์ว (Expansion Valve) มีสารทำความเย็น เช่น R22 หรือ R134a บรรจุอยู่ภายใน โดยทำหน้าที่ผลิตน้ำเย็นส่งไปให้กับเครื่องส่งลมเย็น เครื่องทำน้ำเย็นใช้คอมเพรสเซอร์ได้หลายแบบ

ก) เครื่องทำน้ำเย็นขนาดใหญ่ประมาณ 500 ตันความเย็น (Ton) นิยมใช้คอมเพรสเซอร์แบบเซ็นทริฟิวเกิล (Centrifugal) ซึ่งจะมีประสิทธิภาพสูง เช่น 0.6 kW/Ton

ข) เครื่องทำน้ำเย็นขนาดกลางประมาณ 300 ตันความเย็น จะใช้คอมเพรสเซอร์แบบสกรู (Screw) ซึ่ง จะมีประสิทธิภาพปานกลาง เช่น 0.8 kW/Ton

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ค) เครื่องทำน้ำเย็นขนาดเล็กประมาณ 100 ตันความเย็นจะใช้คอมเพรสเซอร์ลูกสูบ (Piston) ซึ่งจะมี ประสิทธิภาพต่ำ เช่น 1.0 kW/Ton

เครื่องทำน้ำเย็นแบบเซ็นทริฟิวเกิล (Centrifugal)

เครื่องทำน้ำเย็นแบบสกรู (Screw)

เครื่องทำน้ำเย็นแบบคอมเพรสเซอร์ลูกสูบ (Piston)

ภาพที่ 2.3 เครื่องผลิตน้ำเย็นชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 2.2 ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นและค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศ

ประเภทเครื่องทำน้ำเย็นสำหรับระบบปรับอากาศ		ความสามารถในการทำความเย็นที่ภาระพิกัด ของเครื่องทำน้ำเย็น(ตันความเย็น)	ค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น)
ชนิดการระบายความร้อน	แบบของเครื่องอัด		
ระบายความร้อนด้วยอากาศ	ทุกชนิด	น้อยกว่า 300	1.33
		มากกว่า 300	1.31
ระบายความร้อนด้วยน้ำ	แบบลูกสูบ	ทุกชนิด	1.24
	แบบโรตารี่ แบบสกรู หรือ แบบสครอลล์	น้อยกว่า 150	0.89
		มากกว่า 150	0.78

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

ประเภทเครื่องทำน้ำเย็นสำหรับระบบปรับอากาศ		ความสามารถในการทำความเย็นที่ภาระพิกัด ของเครื่องทำน้ำเย็น(ตันความเย็น)	ค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น)
ชนิดการระบายความร้อน	แบบของเครื่องอัด		
	แบบแรงเหวี่ยง	น้อยกว่า 500	0.76
		มากกว่า 500	0.62

ที่มา: http://energyauditorthai.com/wp-content/uploads/2017/01/07

นอกจากข้อบังคับตามกฎหมาย มาตรฐานประสิทธิภาพหรือสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นสามารถอ้างอิง ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2010 ได้ดังตาราง

ตารางที่ 2.3 ตารางกำหนดค่ามาตรฐานสำหรับเครื่องทำน้ำเย็นตาม ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2010

Equipment Type	Size Category	Units	Path A		Path B		Test Procedure
			Full Load	IPLV	Full Load	IPLV	
Air-Cooled Chillers	<150 tons	EER	≥9.562	≥12.75	NA	NA	AHRI 550/590
	≥150 tons	EER	≥9.562	≥12.75	NA	NA	
Air-Cooled without Condenser , Electrically Operated	All Capacities	EER	Air-cooled chillers without condensers must be rated with matching condensers and comply with the air-requirements.				
Water-Cooled, Electrically Operated, Reciprocating	All Capacities	kW/ton	Reciprocating units must comply with water-cooled positive displacement efficiency requirements				
Water-Cooled, Electrically Operated, Positive Displacement	<75 tons	kW/ton	≤0.780	≤0.630	≤0.800	≤0.600	
	≥75 tons and <150 tons	kW/ton	≤0.775	≤0.615	≤0.790	≤0.586	
	≥150 tons and <300 tons	kW/ton	≤0.680	≤0.580	≤0.718	≤0.540	

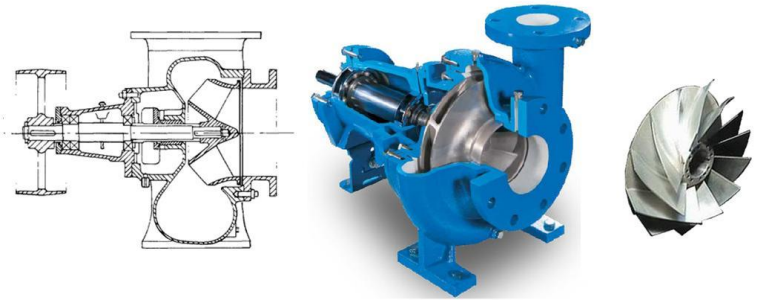
DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

Equipment Type	Size Category	Units	Path A		Path B		Test Procedure
			Full Load	IPLV	Full Load	IPLV	
	≥300 tons	kW/ton	≤0.620	≤0.540	≤0.639	≤0.490	
Water-Cooled, Electrically Operated, Centrifugal	≥150 tons	kW/ton	≤0.634	≤0.596	≤0.639	≤0.450	
	≥150 tons and <300 tons	kW/ton	≤0.634	≤0.596	≤0.639	≤0.450	
	≥300 tons and <600 tons	kW/ton	≤0.576	≤0.549	≤0.600	≤0.400	
	≥600 tons	kW/ton	≤0.570	≤0.539	≤0.590	≤0.400	
Air-Cooled Absorption, Single Effect	All Capacities	COP	≥0.600	NR	NA	NA	AHRI 560
Water-Cooled Absorption , Single Effect	All Capacities	COP	≥0.700	NR	NA	NA	
Absorption Double d Effect Indirect Fired	All Capacities	COP	≥1.000	≥1.050	NA	NA	
Absorption Double d Effect Direct Fired	All Capacities	COP	≥1.000	≥1.000	NA	NA	

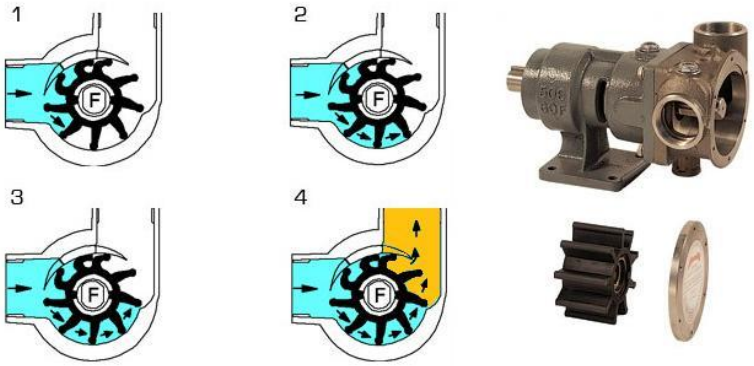
2.1.3.2 เครื่องส่งน้ำ (Water Pump)

เป็นอุปกรณ์หลักในการขับเคลื่อนของเหลวซึ่งในที่นี้คือน้ำโดยการป้อนพลังงานเชิงกลเข้าไป ทำให้น้ำที่ ถูกขับมีความดันสูงขึ้น ความดันดังกล่าวจะทำหน้าที่เอาชนะแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจากท่อข้อต่อวาล์ว และ อุปกรณ์ต่างๆ เพื่อให้ได้อัตราการไหลตามที่ต้องการการขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำนั้นอาจจะใช้แรงจากคนหรือจะ อาศัยมอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งจะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ในระบบปรับอากาศนั้นเครื่องสูบน้ำจะ สามารถพบได้ในทั้งระบบน้ำเย็นและระบบน้ำระบายความร้อน (ระบบน้ำหล่อเย็น) เครื่องสูบน้ำจะสามารถแบ่ง ได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ



DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

(1) แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal pump)



(2) แบบโรตารี่ (ROTARY PUMPS)

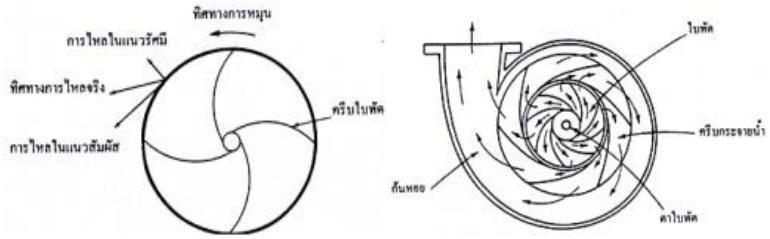
ภาพที่ 2.4 เครื่องสูบน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น

ที่มา: http://industrialpumps-tsy.blogspot.com/2013/07/1-kinetic-pumps.html

(1) แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal pump)

ปั๊มประเภทนี้นิยมใช้อย่างแพร่หลายในการสูบน้ำ นม สารหล่อลื่น สารละลายเคมี วัสดุทางการเกษตรที่ใช้ในการแปรรูป เป็นต้น มีประสิทธิภาพในการสูบสูงถึง 90 % และยังให้ทำงานที่ระดับความดันสูงได้ ชิ้นส่วนที่หมุนอยู่ภายในเรือนปั๊มเรียกว่าโรเตอร์ (rotor) หรือใบพัด (Impeller) จะเป็นตัวทำให้เกิดการขับดันของไหล ตัวแพร่กระจายน้ำ (Diffuser) เป็นส่วนที่อยู่กับที่ ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนเฮดความเร็ว (Velocity head) เป็นความดันสถิตย์ (Static pressure) ของไหลที่ถูกสูบจะไหลผ่านเข้าสู่ช่องทางเข้าซึ่งขนานกับแกนเพลาแล้วถูกเหวี่ยงออกไปตามแนวรัศมีของใบพัดหรือโรเตอร์กลไกการส่งผ่านพลังงานในโรเตอร์หรือใบพัด เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของไหลก่อให้เกิดความแตกต่างความดันภายในระบบทำให้เกิดการไหลในแนวเส้นรอบวง (Tangentail flow) เป็นผลให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugul force) ทำให้เกิดการไหลจากจุดศูนย์กลางของใบพัดของใบพัดออกไปสู่แนวเส้นรอบวงทุกทิศทางออกไปทางท่อส่ง ดังนั้น ของไหลที่ถูกขับดันออกมาก็จะมีทิศทางการไหลที่เกิดจากผลรวมของแรงทั้งสอง เช่น End suction pump, In-line pump, Double suction pump, Vertical multistage pump, Horizontal multistage pump, Submersible pumps, Self-priming pumps, Axial-flow pumps, และ Regenerative pumps ดังภาพ

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์



ภาพที่ 2.5 แสดงทิศทางการไหลของน้ำขณะผ่านออกจากใบพัดของ Centrifugal pump

(1.1) ปั๊มแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบ Volute

เป็นปั๊มประเภทแรงดันต่ำ ให้ความดันด้านปล่อยน้อยกว่า 30 เมตรของน้ำ ครีบใบพัดจะหมุนและเหวี่ยงของไหลออกไปสู่ Volute ดังภาพที่ 2.6 (ก.)

(1.2) ปั๊มแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบ Diffuser

เป็นปั๊มประเภทแรงดันปานกลาง (สูงกว่าแบบ Volute) มีลักษณะเหมือนกับปั๊มแบบ Volute แต่จะมีแผ่นกระจายของไหล (Guide vane) ติดอยู่รอบๆเรือนของปั๊มและยังทำหน้าที่ควบคุมทิศทางการไหลของของไหล เพื่อที่จะทำให้เกิดความดันที่สูงขึ้น

ก. แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบ Volute ข.ปั๊มแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบ Diffuser

ภาพที่ 2.6 แสดงเครื่องส่งแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

(2) แบบโรตารี่ (ROTARY PUMPS)

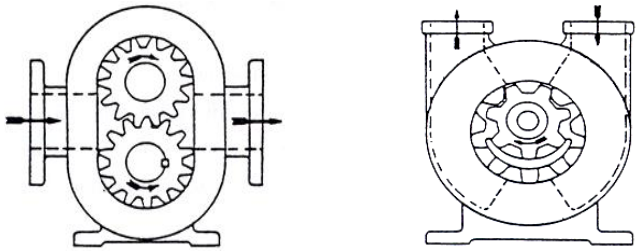
ทำงานโดยอาศัยหลักการแทนที่ของเหลว ภายในห้องของตัวปั๊มด้วยการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วน ซึ่งหมุนเพื่อทำให้เกิดความแตกต่างของความดันภายในระบบ ของเหลวจะถูกดูดเข้าและอัดทำให้เกิดแรงดันสูงขึ้นแล้วปล่อยออกมาทางด้านปล่อย ชิ้นส่วนที่หมุนดังกล่าวเรียกว่า โรเตอร์ การหมุนของโรเตอร์ จะก่อให้เกิดการแทนที่ของของเหลวขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ของไหลที่ไหล

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ผ่านปั๊มมีอัตราการไหลอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ปั๊มแบบนี้จะมีอัตราการสูบต่ำกว่าปั๊มประเภทอื่นๆ เนื่องจากอัตราการแทนที่ของเหลวมีค่าต่ำโดยทั่วไปจะมีประสิทธิภาพประมาณ 80 – 85 % ขึ้นอยู่กับการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน และคุณลักษณะของของไหลที่ใช้สูบ

(ก) ปั๊มโรตารี่แบบเกียร์ (Gear type)

นิยมใช้กันแพร่หลาย ของเหลวจะถูกสูบด้วยอัตราคงที่ ทำให้การไหลเป็นไปอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา เหมาะกับงานที่ต้องการสูบของเหลวที่มีความหนืดสูง เช่น ในระบบไฮดรอลิกส์ ในระบบหล่อลื่นของเครื่องยนต์ทั่วๆไป เป็นต้น ภายในตัวเรือนประกอบด้วยเฟืองเกียร์ 2 ตัว หมุนขบกันอยู่ ซึ่งง่ายต่อการซ่อมแซม ทำความสะอาด และสามารถถอดประกอบได้ง่าย ประสิทธิภาพการทำงานของปั๊มประเภทนี้ค่อนข้างสูง เมื่อทำงานกับของไหลที่มีคุณสมบัติเป็นสารหล่อลื่นเช่น Reciprocating pumps, Power pumps, Steam pumps, และ Rotary pumps ปั๊มประเภทนี้แบ่งย่อยตามลักษณะการจัดเก็บเฟืองเกียร์เป็น 2 ลักษณะ ดังภาพ



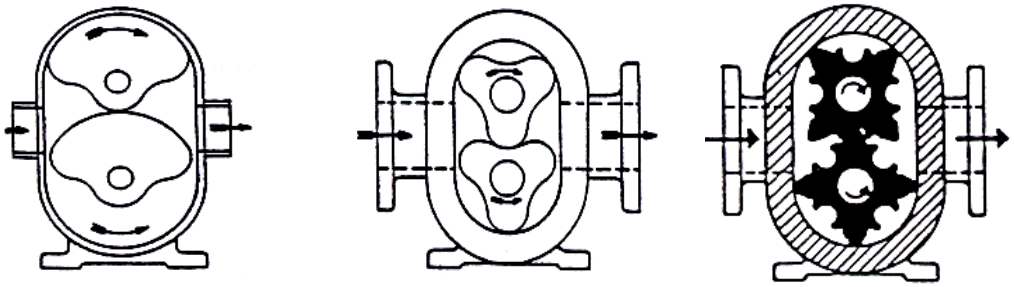
External Gear Pump Internal Gear Pump

ภาพที่ 2.7 ปั๊มโรตารี่แบบเกียร์ (Gear type)

(ข) ปั๊มโรตารีแบบลอน

ปั๊มแบบนี้จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับปั๊มแบบ External Gear Pump นอกจากว่าจำนวนลอน (Lobe) จะมีจำนวนน้อยกว่าและมีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งจะมีผลทำให้สามารถสูบของไหลได้ในปริมาณที่มากกว่า แต่อัตราการไหลจะไม่ค่อยคงที่

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์



ก. Single–lobe rotary ข. Three–lobe rotary ค. Four–lobe rotary

ภาพที่ 2.8 ปั๊มโรตารีแบบลอน

คุณลักษณะและสมรรถนะการทำงานของปั๊ม

คุณลักษณะเมื่อเดินเครื่องปั๊มด้วยความเร็วรอบคงที่แสดงไว้ในรูป โดยถือว่า อัตราไหล เฮด ประสิทธิภาพกำลังขับเพลาที่จุดประสิทธิภาพสูงสุด (จุดอ้างอิง) เท่ากับค่าอ้างอิง (100%) ณ จุดอ้างอิงในรูปข้างต้น

กำหนดให้

Q = ปริมาณน้ำออก ณ จุดอ้างอิง [CMM]

H = เฮดจริง ณ จุดอ้างอิง [m] แต่ในกรณีของปั๊มหลายชั้น จะให้เป็นค่าของแต่ละชั้น

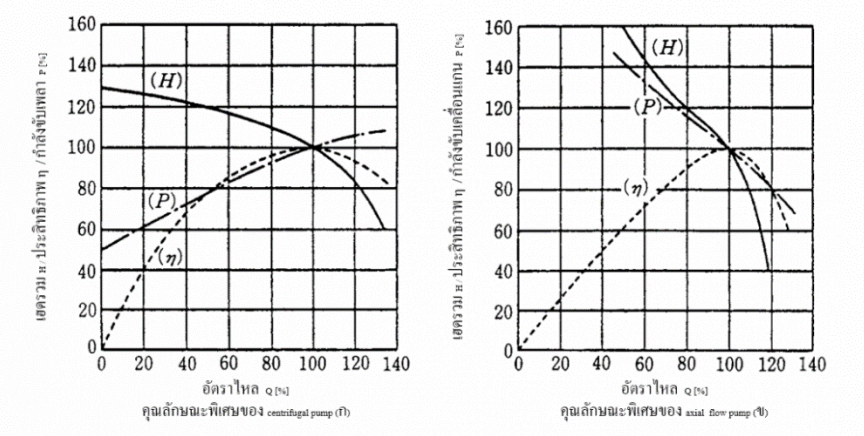
N = ความเร็วรอบ [rpm]

ในกรณีนี้ จะเรียกค่าความเร็วจำเพาะ N_s ตามสูตรต่อไปนี้

$$N_s = N \cdot \frac{\sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}}$$

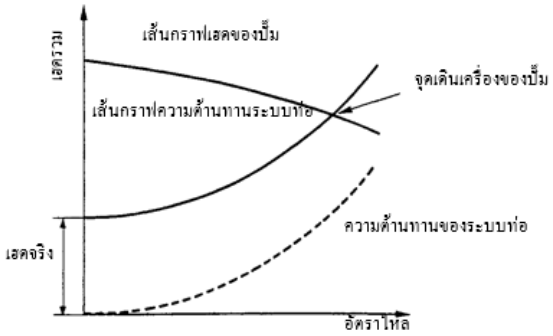
ความเร็วจำเพาะเป็นสิ่งที่ขึ้นกับลักษณะของใบพัด ดังจะเห็นได้จากสูตรว่า ยิ่งปั๊มที่มีอัตราไหลสูงและมีเฮดต่ำ (เช่น axial flow pump) Ns จะมีค่ามากขึ้น และยิ่งปั๊มที่มีอัตราไหลต่ำและมีเฮดสูง (เช่น turbine pump) Ns จะมีค่าน้อยลง รูป 23 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของความเร็วจำเพาะกับลักษณะของใบพัด เมื่อเปลี่ยนความเร็วรอบของปั๊ม ทั้งอัตราไหลและเฮดจะเปลี่ยนไปด้วย แต่จากการที่ Ns มีค่าคงที่ ความสัมพันธ์พื้นฐาน ของปั๊มจึงมีดังต่อไปนี้ โดย P เท่ากับกำลังขับเพลา

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์



ภาพที่ 2.9 คุณลักษณะของปั๊ม

ในการเลือกปั๊ม เมื่อพิจารณาความเร็วจำเพาะจากเงื่อนไขของ Q และ H จะสามารถระบุแนวทางได้ว่าจะเลือกประเภทใด ปั๊มนั้นไม่จำกัดว่าจะถูกเดินเครื่องด้วยเงื่อนไขคงที่ตลอดเวลาหรือจะพิจารณาสภาพการเดินเครื่องที่สภาวะไหนก็ตาม การเดินเครื่องจะมีเสถียรภาพเสมอ ซึ่งสามารถแสดงสภาพทั้งหมดของระบบปั๊มที่รวมถึงวาล์วน้ำเข้าและวาล์วน้ำออก และการเดินท่อก่อนและหลังปั๊มอยู่ในสภาพที่สมดุล ในสภาพสมดุลนี้ เฮดรวมของปั๊ม จะเท่ากับผลบวกระหว่างเฮดจริง ซึ่งเท่ากับผลต่างของระดับน้ำขาเข้าและด้านขาออก กับเฮดสูญเสีย เช่น ความสูญเสียของแรงเสียดทานในท่อ ดังนั้น ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 24 จุดเดินเครื่องของปั๊มนั้น จะระบุได้ด้วยจุดตัดของเส้นกราฟเฮดรวมของปั๊มกับเส้นกราฟความต้านทานของท่อ (เฮดจริง + เฮดสูญเสีย)



ภาพที่ 2.10 จุดการเดินเครื่องของปั๊ม

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

กฎการแปรผันและกฎความคล้ายของพัดลมและปั๊ม

อัตราไหลของของไหลจะแปรผันตามความเร็วรอบของปั๊ม ความดันสูญเสียในท่อน้ำที่ต่ออยู่กับปั๊ม จะแปรผันตามกำลังสองของความเร็วของกระแส (ความเร็ว) นั่นคือแปรผันตามอัตราไหลกำลังสองนั่นเอง ดังนั้นหากความเร็วรอบเปลี่ยนแปลง ความดันจะแปรผันตามกำลังสองของความเร็วรอบ และกำลังขับเพลาจะแปรผันตามกำลังสามของความเร็วรอบ ความสัมพันธ์นี้เรียกว่ากฎการแปรผัน ซึ่งแสดงได้ด้วยสูตรต่อไปนี้

$$\frac{V_1}{\mathrm{V}_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = (\frac{n_1}{n_2})^2$$

$$\frac{\mathrm{W}_1}{\mathrm{W}_2} = \frac{V_1 P_1}{V_2 P_2} = (\frac{n_1}{n_2})^3$$

โดยที่ V_1, V_2 = อัตราไหล

n_1, n_2 = ความเร็วรอบ

P_1, P_2 = ความดัน

W_1, W_2 = กำลังขับเพลา

นอกจากนี้ เมื่อเดินเครื่องปั๊มที่มีลักษณะคล้ายกันภายใต้สภาวะที่คล้ายกัน (เช่น จุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด) และสมมติว่าประสิทธิภาพของปั๊มเท่าเดิมแล้ว การไหลภายในปั๊มทั้งหมดจะมีลักษณะคล้ายกัน โดยความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลาง D ความเร็วรอบ n กับอัตราไหล ความดัน และกำลังขับเพลาจะคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้ซึ่ง เรียกว่า กฎความคล้ายของปั๊ม

กฎหมายที่เกี่ยวข้อง ประกาศกระทรวง เรื่อง การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นและค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร พ.ศ. 2552 กำหนดค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความ เย็นขั้นต่ำสำหรับอาคารที่ก่อสร้างหรือดัดแปลงที่มีพื้นที่รวมกันตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป ตามกฎกระทรวง กำหนดประเภทหรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 ดังตารางที่ 2.2

2.1.3.3 หอผึ่งน้ำเย็น (Cooling Tower)

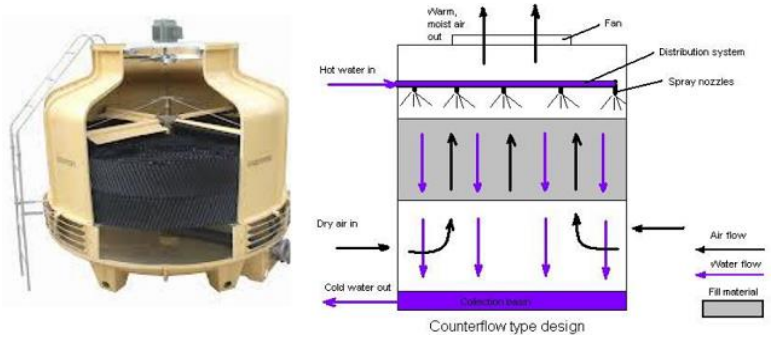
หอผึ่งน้ำเย็นเป็นอุปกรณ์ทางด้านปลายทางของระบบน้ำหล่อเย็น ซึ่งทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นสู่ บรรยากาศดังนั้น ปริมาณของน้ำหล่อเย็นที่ผ่านหอทำความเย็นจะมี

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

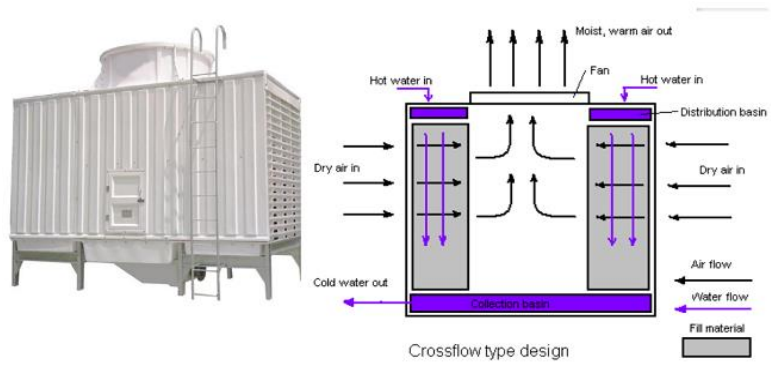
ปริมาณลดลง จากการระเหยและ Drift Loss จึงต้องมีการเติมน้ำจากแหล่งน้ำภายนอกเข้าสู่ตัวหอทำความเย็นเพื่อรักษาปริมาณน้ำในระบบให้คงที่ หอทำ ความเย็นนั้นสามารถแบ่งตามลักษณะทิศทางการไหลระหว่างอากาศและน้ำจะสามารถแบ่งหอทำความเย็นได้ เป็น 2 ชนิดคือ

ก) แบบการไหลสวนทาง (Counter Flow)

ข) แบบการไหลตั้งฉาก (Cross Flow)



ก) แบบการไหลสวนทาง (Counter Flow)



ข) แบบการไหลตั้งฉาก (Cross Flow)

ภาพที่ 2.11 หอผึ่งน้ำเย็นจำแนกตามการไหลของน้ำและอากาศ

ก) แบบการไหลสวนทาง (Counter Flow) หอผึ่งน้ำชนิดนี้จะปล่อยน้ำที่อุณหภูมิสูงไหลลงมาจากด้านบน และดูดอากาศเข้าทางด้านล่าง ทำให้น้ำและ อากาศไหลสวนทางกัน ดังภาพที่ 2.10 (ก)

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ข) แบบการไหลตั้งฉาก (Cross Flow) หอผึ่งน้ำชนิดนี้จะปล่อยน้ำอุณหภูมิสูงไหลลงมาจากด้านบน และดูดอากาศเข้าจากด้านข้างทำให้น้ำและ อากาศไหลตั้งฉากกัน ดังภาพที่ 2.10 (ข)

องค์ประกอบของหอผึ่งน้ำ ประกอบด้วย

1. ตัวถัง (Casing) ทำหน้าที่ เป็นโครงสร้างของ หอผึ่งน้ำ
2. แผงรังผึ้ง (Filling) ทำหน้าที่ กระจายน้ำร้อนให้ละเอียด เพื่อประโยชน์ในการถ่ายเทความร้อน
3. ถาดน้ำร้อนบน (Hot Water Basin) ทำหน้าที่ รับน้ำร้อนจากระบบเพื่อกระจายลงบนแผงรังผึ้ง
4. พัดลม (Fan) ทำหน้าที่ ดูดอากาศรอบๆ หอผึ่งน้ำเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับน้ำร้อน
5. ถาดน้ำเย็นล่าง (Cold Water Basin) ทำหน้าที่ รับน้ำที่ผ่านการระบายความร้อน จากแผงรังผึ้ง
6. ช่องอากาศเข้า (Air in let) ทำหน้าที่ เป็นช่องทางเข้าของอากาศเข้าสู่ แผงรังผึ้งเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำ
7. ช่องอากาศออก (Air out let) ทำหน้าที่ เป็นช่องทางระบายอากาศ ที่ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนแล้ว

นิยามประสิทธิภาพหรือสมรรถนะ

1. อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb Temperature) คืออุณหภูมิที่อากาศมีปริมาณไอน้ำอิ่มตัว ที่ ความชื้น 100 % RH
2. อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb Temperature) หมายถึง ค่าอุณหภูมิที่สภาวะปกติ
3. ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน (η_{CT}) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างผลต่างของน้ำเข้าและออกจาก หอผึ่งน้ำ กับผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้าหอผึ่งน้ำและอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ

$$\eta_{CT} = \frac{T_{Win} - T_{Wout}}{T_{Win} - T_{wb}} \times 100$$

โดยที่

η_{CT} = ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน (%)

T_{Win} = อุณหภูมิน้ำเข้า (°C)

T_{Wout} = อุณหภูมิน้ำออก (°C)

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

T_{Wb} = อุณหภูมิกระเปาะเปียก(°C)

2.1.3.4 เครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit)

เครื่องส่งลมเย็นเป็นอุปกรณ์ทางด้านปลายทางของระบบน้ำเย็น ซึ่งทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อน ระหว่างน้ำเย็นที่มาจากเครื่องทำน้ำเย็นกับอากาศส่งผลให้อากาศที่ผ่านออกไปมีอุณหภูมิต่ำลงและนำไปใช้เพื่อ ปรับอากาศต่อไป เครื่องส่งลมเย็นเป็นเครื่องชุดคอยล์ทำลมเย็นที่ประกอบด้วย พัดลม คอยล์ทำความเย็น แดม เปอร์และแผงกรองอากาศรวมอยู่ในตัวเครื่องเดียวกัน เครื่องส่งลมเย็นขนาดใหญ่มักจะนิยมเรียกสั้น ๆ ว่า AHU (Air Handling Unit) สำหรับเครื่องขนาดเล็กจะเรียกว่า FCU (Fan Coil Unit) การติดตั้งเครื่องมักจะติดตั้งอยู่ ภายในอาคาร โดยถ้าเป็นเครื่องขนาดเล็ก มักจะติดตั้งโดยการแขวนใต้ฝ้าเพดาน ยึดติดกับผนัง ตั้งพื้น หรือซ่อน ในฝ้าเพดาน สำหรับเครื่องขนาดใหญ่มักจะจัดให้มีห้องเครื่อง และนำเครื่องส่งลมเย็นขนาดใหญ่มาตั้งภายในห้องนี้ หากมีการใช้ระบบท่อลมในการส่งลมเย็น ก็จะต่อท่อลมมาเข้ากับเครื่อง ท่อลมที่ออกจากเครื่องเรียกว่า ท่อลมส่ง (Supply Air Duct) ท่อลมที่นำลมภายในห้องกลับมาที่เครื่อง เรียกว่า ท่อลมกลับ (Return Air Duct)

(ก) FCU (Fan Coil Unit)

(ข) AHU (Air Handling Unit)

ภาพที่ 2.12 เครื่องส่งลมเย็นแบบต่างๆ ในระบบปรับอากาศ

2.1.4 แนวทางการสำรวจและเก็บข้อมูลวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

2.1.4.1 การหาค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/Ton)

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ในการตรวจวัดและวิเคราะห์หาค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/Ton) มีขั้นตอนดำเนินการ ดังนี้

(1) ใช้เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า (Power Meter) วัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น หน่วยเป็นกิโลวัตต์ (kW) หรือใช้ Data Logger ในกรณีที่ต้องการวัดแบบต่อเนื่อง

(2) วัดอัตราการไหลของน้ำเย็นที่ผ่านเครื่องสูบน้ำเย็นในรูปของลิตรต่อวินาที (l/s) หรือแกลลอน ต่อวินาที (GPM) หรือใช้ Data Logger ในกรณีที่ต้องการวัดแบบต่อเนื่อง

(3) วัดค่าอุณหภูมิน้ำเย็นเข้าและออกเครื่องทำน้ำเย็นในรูปของหน่วยขององศาเซลเซียส (°C) หรือองศาฟาเรนไฮต์ (°F) หรือใช้ Data Logger ในกรณีที่ต้องการวัดแบบต่อเนื่อง

(4) คำนวณหาการทำความเย็นสุทธิ (Ton) โดยสมการ

$$Q_e(\text{Ton}) = 1.2 \times F \times (T_{Win} - T_{Wout}) \quad (2.1)$$

โดยที่ Q_e = ตันความเย็นสุทธิ (Ton)

F = อัตราการไหลของน้ำเย็น (ลิตร/วินาที) (l/s)

T_{Win} = อุณหภูมิน้ำเย็นด้านขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (°C)

T_{Wout} = อุณหภูมิน้ำเย็นด้านขาออกเครื่องทำน้ำเย็น (°C)

2.1.5 นิยามประสิทธิภาพหรือสมรรถนะ

การหาค่าประสิทธิภาพหรือสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นโดยทั่วไปนิยมอยู่ 2 วิธี คือ การหาค่าสัมประสิทธิ์ สมรรถนะ (Coefficient of Performance, COP) และการหาค่ากำลัง ไฟฟ้าต่อตันความเย็น (CHP) โดยแต่ละวิธีมีนิยามในการหาดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance, COP) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างขีด ความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่องทำน้ำเย็น (Q_e) หน่วยเป็นวัตต์ กับกำลังไฟฟ้า (W) หน่วยเป็นวัตต์

$$\text{COP} = \frac{Q_e}{W} \quad (2.2)$$

ค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (CHP) คืออัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าหน่วยเป็นกิโลวัตต์ (kW) กับขีดความสามารถทำความเย็นสุทธิรวมของเครื่องทำน้ำเย็น หน่วยเป็นตัน (Ton)

$$\text{CHP} = \frac{\text{kW}}{\text{Ton}} \quad (2.3)$$

ประสิทธิภาพรวมของระบบผลิตน้ำเย็น

ในระบบผลิตน้ำเย็นมีเครื่องจักรที่สำคัญเป็นส่วนประกอบหลายส่วน และเมื่อต้องการประเมินค่าประสิทธภาพของระบบจึงต้องนำ การใช้พลังงานไฟฟ้าของทุกๆส่วนมาคิดคำนวณด้วย ดังสมการดังนี้

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

$$\text{Plant Efficiency} = \frac{\text{Total Power (Chiller+CHWP+CDP+CT)kW}}{\text{(Total Cooling Tons) TR}} \quad (2.4)$$

หาประสิทธิภาพการทำงานของปั๊มส่งน้ำ จากสมการ

$$\eta = \frac{Q_{GPM} \times H_{ft} \times S.G}{3960 \times BHP} \quad (2.5)$$

เมื่อ Q อัตราการไหลของน้ำเย็น GPM

H แรงดันรวมของเครื่องส่งน้ำ (Ft)

BHP Brake Horsepower

S.G Specific Gravity

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการพลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ของอาคารสำนักงาน

กิตติพงศ์ อาจหาญ(2560) การวิเคราะห์การจัดการระบบทาความเย็นขนาดใหญ่ การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อวิเคราะห์ระบบทำความเย็นขนาดใหญ่ โดยมี กลุ่มตัวอย่าง คือเครื่องทำความเย็นขนาด 200 ตัน ยี่ห้อ YORK ที่ติดตั้งอยู่ภาย ใน มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จำนวน 3 ชุด อายุการ ใช้งาน 15 ปี การวัดทำโดยการเก็บข้อมูล ค่าพลังงาน ,ค่าอัตราการไหลของน้ำในท่อ และค่าอุณหภูมิ เก็บข้อมูลโดยใช้ เครื่องบันทึกข้อมูล บันทึกข้อมูลทุก ๆ 5 นาที เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง จากเครื่องทำความเย็น ชนิด ระบายความร้อนด้วยน้ำ จำนวน 3 เครื่อง ข้อมูลที่ได้มาจะถูกจัดเก็บจากการทดลองได้ค่าประสิทธิภาพของ เครื่องทำความเย็น ทั้ง 3 ชุด อยู่ในช่วงระหว่าง 0.88-1.16 kW/Ton ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ ค่าประสิทธิภาพแนะนำของ ASHRAE อยู่ในช่วงประสิทธิภาพ ที่ควรจะต้องมีการปรับปรุง โดยหาก เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็น รุ่นใหม่นั้น จะมีค่าประสิทธิภาพ อยู่ในช่วง ระหว่าง 0.5-0.7 kW/Ton

ชลทิศ ประเทืองสุขพงษ์(2560) การหาปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นรายเดือน-รายปี2558 ทำการเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้ามาจาก มิเตอร์ตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของ CDP, CHP, Cooling Tower, AHU และ Chiller จากนั้นนำค่าที่วัดได้มาคำนวณหา ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของพื้นที่ทั้งหมด เพื่อหาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือน-รายปี 2558 ของอาคารสำนักงาน จากนั้นวิเคราะห์หาขนาดเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสม จากการคำนวณผล ประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้นพบว่า สามารถลดภาระการทำความเย็นลงได้ ทำให้ทราบว่าในปัจจุบัน อาคารมีปริมาณอากาศระบายมากเกินไป ซึ่งหากลดปริมาณอากาศระบาย ได้จะส่งผลให้ Load Profile

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ตลอดทั้งปีลดลงภาระการทำความเย็นสูงสุดลดลง การเลือกขนาดเครื่องทำน้ำเย็นจึงลดลง สรุปได้ว่าเมื่อพิจารณาผลการประหยัดพลังงานจากการ ปรับปรุงในแต่ละกรณี จะพบว่า ทุกๆกรณี Magnetic Bearing Chiller ให้ผลประหยัดมากที่สุด สาเหตุที่ Magnetic Bearing Chiller ให้ผลการประหยัดพลังงานสูงสุดเป็นเพราะการใช้งานจริงเครื่องทำน้ำเย็นจะทำงานที่ Part Load เป็นส่วนใหญ่ซึ่งในช่วง Part Load นี้ Magnetic Bearing Chiller มีประสิทธิภาพ ทางพลังงานดีกว่าเครื่องทำน้ำเย็นชนิดอื่น ๆ ดังนั้นจึง ให้ผลการประหยัดพลังงานดีที่สุดในทุก ๆกรณี

พจน์ชววัฒน์ เลาะเลิศสุข (2556) การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารสูง กรณีศึกษา: ระบบปรับอากาศ โรงแรมโนโวเทล แพลตินั่ม กรุงเทพ ทำการตรวจสอบวัดการใช้พลังงานของกระบวนการต่าง ๆ แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์การใช้พลังงาน นำค่าที่ได้มาดำเนินการปรับปรุงแก้ไขและประเมินผลการประหยัดพลังงานและวิเคราะห์ค่าพลังงาน การศึกษาในส่วนของเครื่องทำน้ำเย็นหรือและเครื่องส่งน้ำระบายความร้อน ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการใช้พลังงานประกอบด้วยใช้ไฟฟ้าเครื่องทำน้ำเย็น, การใช้ไฟฟ้าของเครื่องส่งน้ำเย็น เมื่อทำการสำรวจและตรวจวัดค่าต่าง ๆ ที่จำเป็นพบว่า มีการควบคุมดูแลระบบทำความเย็นและปรับอากาศที่ไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าสูงและใช้งานเครื่องจักรอุปกรณ์ได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ การควบคุมการเดินเครื่องใช้งานต้องได้รับการจัดลำดับการใช้งานใหม่ตามภาระโหลด เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดทั้งด้านการใช้พลังงานและประสิทธิภาพของเครื่อง สรุปผลการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศและทำความเย็นในอาคารต่าง ๆ จะเกิดผลสูงสุดเมื่อมีการวางแผนงานอย่างเป็นระบบ เริ่มตั้งแต่การออกแบบและการเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงจะสามารถประหยัดพลังงานได้อย่างมาก

ธนิต คล้ายอุทัย (2557) การประหยัดพลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ กรณีศึกษา : อาคาร โรงพยาบาลพระรามเก้า ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลภายในอาคาร โดยการวัดอุณหภูมิเฉลี่ยภายในอาคารบริเวณโถง OPD ทั้งก่อนและหลังการทำการวิจัย และทำการเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น โดยจดบันทึกค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องและนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น ผลการศึกษาพบว่า การปรับเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็น ของเครื่องทำน้ำเย็น กำหนดเวลาเปิด-ปิด เครื่องส่งลมเย็น และมาตรการที่ต้องมีการลงทุน ได้แก่ การติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็น ประสิทธิภาพสูงทดแทนเครื่องเดิม เพื่อหาแนวทางลดความสูญเสียพลังงานไฟฟ้า โดยไม่ให้มีผลกระทบกับผู้ใช้บริการและพนักงานที่ทำงาน ผลการศึกษามาตรการที่ไม่มีการลงทุน ได้แก่ มาตรการปรับเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น เพิ่มขึ้น 1 (°F) มาตรการกำหนดเวลา เปิด – ปิด เครื่องส่งลมเย็น สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้จริง และมาตรการที่มีการลงทุน ได้แก่ การติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูงทดแทน เครื่องเดิม สามารถลดการใช้

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

พลังงานไฟฟ้าได้ โดยที่การปรับเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นใหม่ จะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 4.7 ปี ซึ่งต่ำกว่าอายุโครงการคือ 10 ปี ซึ่งสอดคล้องกับมาตรการประหยัดพลังงานของกรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

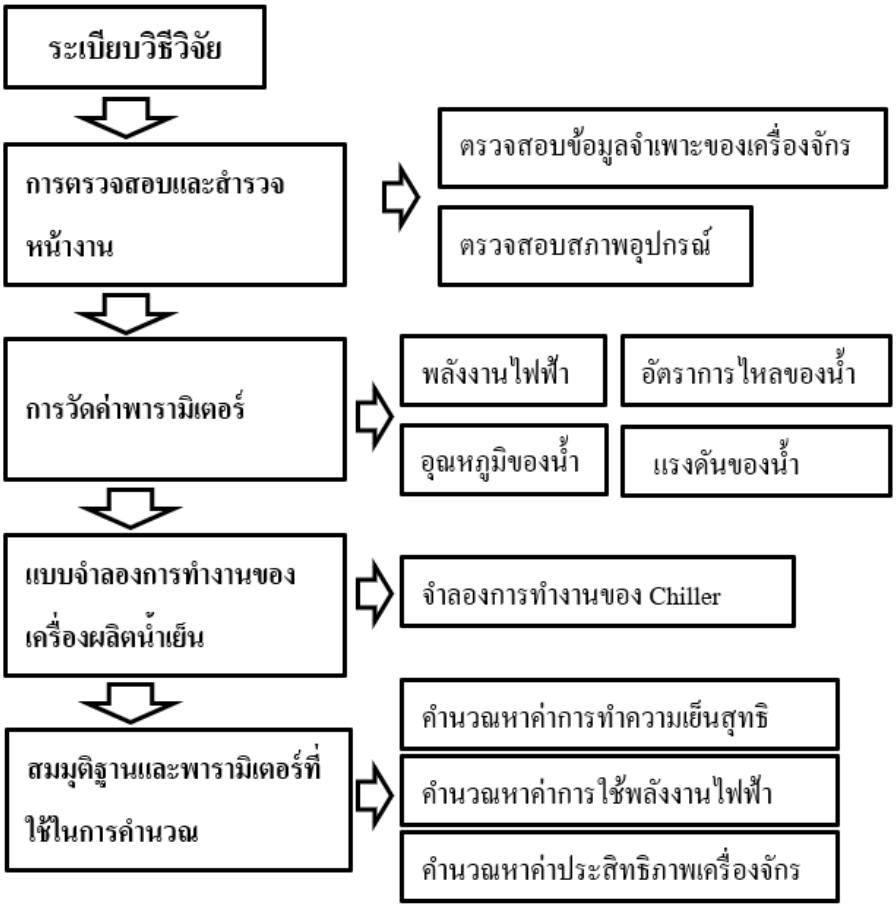
จากผลการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การจัดการพลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ สามารถแบ่งออกได้หลายส่วนและหลากหลายวิธีการและสิ่งที่มีผลต่อการประหยัดพลังงานคือเครื่องทำน้ำเย็น เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ใชพลังงานไฟฟ้าที่สูงที่สุดในระบบปรับอากาศ เมื่อมีการวางแผนการเดินเครื่องที่ดีหรือการปรับลดค่า Cooling Setpoint หรือมีการเดินเครื่องอุปกรณ์ประกอบเช่นเครื่องส่งน้ำหรือหอผึ่งน้ำตามขนาดและตามความต้องการของภาระความต้องการความเย็นที่เหมาะสม ก็จะทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นลดลงในขณะที่ภาระความต้องการความเย็นยังคงมีค่าเท่าเดิม

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ระเบียบวิธีวิจัย

การทำการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่จำเป็นในการผลิตน้ำเย็นให้กับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ รวมถึงการศึกษาค่าการใช้พลังงานของเครื่องผลิตน้ำเย็น (Chiller), เครื่องส่งน้ำเย็น(Chilled Water Pump), เครื่องส่งน้ำหล่อเย็น (Condenser Water Pump),และหอผึ่งน้ำ(Cooling Tower) ที่เป็นอุกรณ์หลักในระบบผลิตน้ำเย็น ซึ่งระเบียบวิธีวิจัยในการทำการวิจัยในครั้งนี้ มีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.1 ระเบียบวิธีวิจัยการลดการใช้พลังงานระบบผลิตน้ำเย็นแบบรวมศูนย์

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

3.1.1 การตรวจสอบและสำรวจหน้างาน

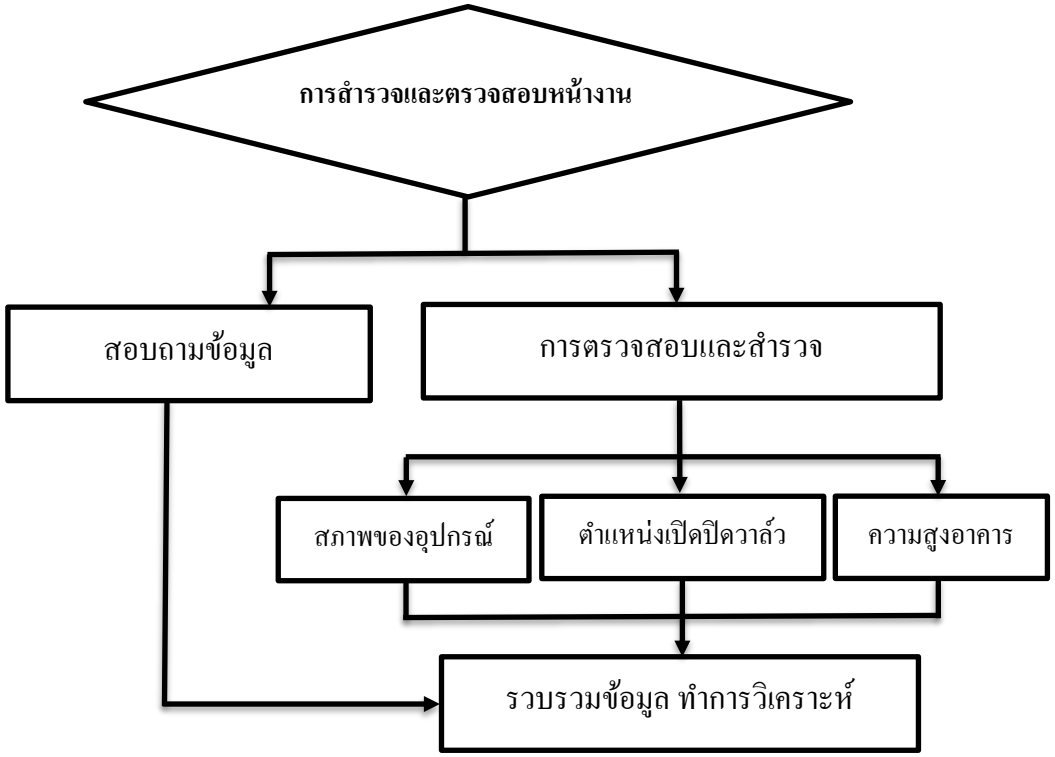
การตรวจสอบและสำรวจพื้นที่หน้างานและการตรวจสอบสภาพการทำงานของอุปกรณ์ที่สำคัญของระบบผลิตน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ ภายในห้องเครื่อง

- ตรวจสอบข้อมูลจำเพาะของเครื่องจักร จากหนังสือคู่มือหรือแผ่นป้ายบ่งชี้ที่ติดไว้กับเครื่องในระบบผลิตน้ำเย็นและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบ

- ตรวจสอบสภาพอุปกรณ์เครื่องจักรและวาล์วต่างๆและตำแหน่งการเปิดปิดของวาล์ว รวมถึงแนวท่อข้อต่อข้องอต่างๆ ที่อาจมีผลต่อระดับแรงดันน้ำภายในระบบผลิตน้ำเย็น

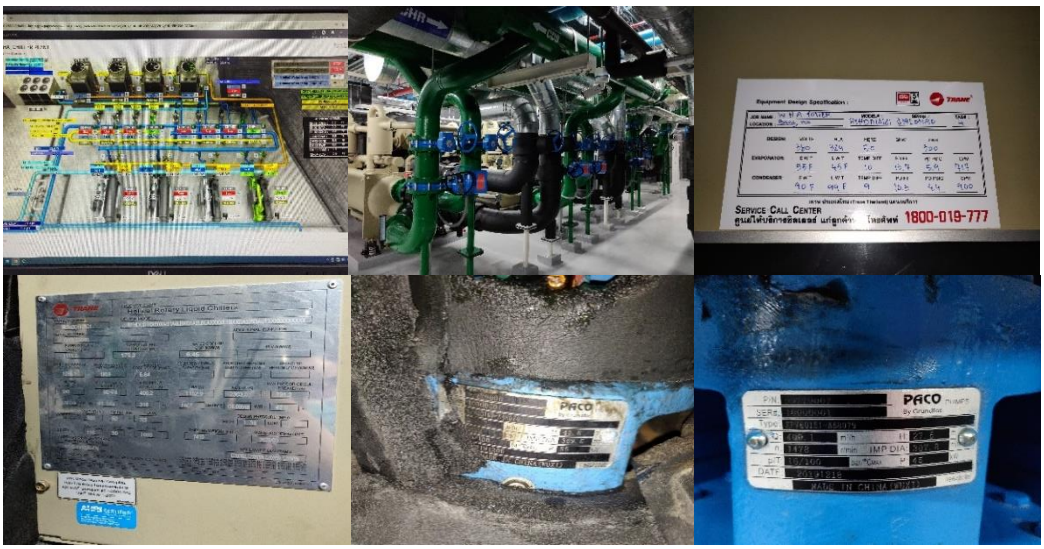
- สอบถามข้อมูลการใช้งานของระบบ ระยะเวลาเปิด ปิดอย่างไร เปิดใช้งานจำนวนเท่าไรใช้อะไรเป็นเกณฑ์ในการเปิด

- ตรวจสอบความสูงของอาคารเพื่อนำมาคำนวณและแปลงค่าจากความสูงเป็นแรงดันน้ำและอัตราการไหลของน้ำในระบบ



ภาพที่ 3.2 แผนผังการตรวจสอบและสำรวจหน้างาน

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์



ภาพที่ 3.3 ตรวจสอบสภาพเครื่องจักรและข้อมูลจำเพาะของเครื่องจักร

3.1.2 การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบผลิตน้ำเย็นแบบรวมศูนย์

การตรวจวัดค่าพารามิเตอร์และค่าพลังงานของระบบผลิตน้ำเย็นแบบรวมศูนย์ ในระบบปรับอากาศของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ ทำการสำรวจจากข้อมูลการใช้ไฟเฉพาะในส่วนของห้องเครื่องระบบผลิตน้ำเย็นและตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องผลิตน้ำเย็น (Chiller),เครื่องส่งน้ำเย็น(Chilled Pump),น้ำหล่อเย็น(Condenser Pump) และหอผึ่งน้ำ(Cooling Tower) โดยใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า หรือใช้ Data Logger เพื่อทำการบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานในทุกช่วงเวลา เพื่อนำมาวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานของระบบและเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้กับข้อมูลจำเพาะของเครื่องจักร

ค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นในการศึกษาค้นคว้าวิจัยเพื่อการปรับลดพลังงานระบบผลิตน้ำเย็นแบบรวมศูนย์ ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญในการใช้คำนวณและตั้งสมมุติฐานในการวิจัย มีดังนี้

เครื่องผลิตน้ำเย็น (Chiller)

- การใช้พลังงานไฟฟ้า หน่วยเป็น กิโลวัตต์ (kW)
- อุณหภูมิน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น หน่วยเป็นองศาเซลเซียส (°C)
- ค่าแรงดันน้ำเข้าและออก หน่วยวัดเป็นเป็น ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (Psi)
- อัตราการไหลของน้ำทั้งด้านน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น หน่วยวัดเป็น ลิตรต่อวินาที (L/s)

เครื่องส่งน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น (Chilled Water Pump , Condenser Water Pump)

- การใช้พลังงานไฟฟ้า หน่วยเป็น กิโลวัตต์ (kW)

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

- แรงดันน้ำเข้าและออก หน่วยวัดเป็นเป็น ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (Psi)
- อัตราการไหลของน้ำ หน่วยวัดเป็น ลิตรต่อวินาที (L/s)

หอผึ่งน้ำ (Cooling Tower)

- การใช้พลังงานไฟฟ้า หน่วยเป็น กิโลวัตต์ (kW)
- อุณหภูมิน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น หน่วยเป็นองศาเซลเซียส (°C)
- อุณหภูมิอากาศด้านเข้าและออก หน่วยเป็นองศาเซลเซียส (°C)
- อุณหภูมิอากาศกระเปาะเปียก หน่วยเป็นองศาเซลเซียส (°C)
- แรงดันน้ำเข้าและออก หน่วยวัดเป็นเป็น ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (Psi)
- อัตราการไหลของน้ำ หน่วยวัดเป็น ลิตรต่อวินาที (L/s)

3.1.2.1 ตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเครื่องผลิตน้ำเย็น (Chiller) เพื่อนำมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องผลิตน้ำเย็น (Chiller) โดยการใช้เครื่องมือวัดเฉพาะทางที่มีความแม่นยำสูงเพื่อให้ลดการเกิดข้อผิดพลาดให้น้อยที่สุดในการศึกษาของแต่ละพารามิเตอร์ มีการใช้เครื่องมือวัดดังนี้

- วัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า ด้วยเครื่องมือวัดแบบสปอตเช็คและแบบ Data Logger เพื่อบันทึกข้อมูลในแต่ละช่วงเวลาและนำมาวิเคราะห์ข้อมูล หน่วยเป็น กิโลวัตต์ (kW)

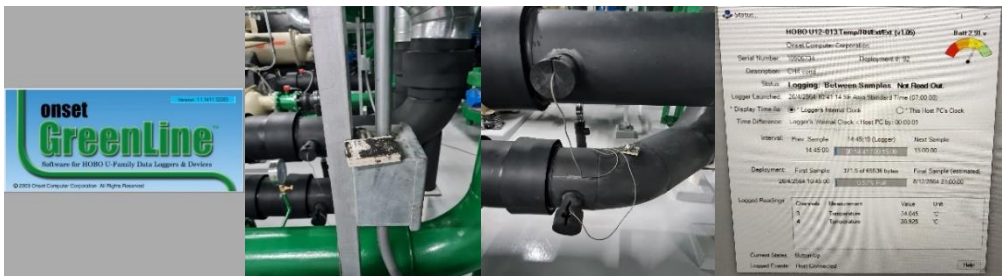
ก. แบบ Data Logger

ข. แบบสปอตเช็ค

ภาพที่ 3.4 การใช้เครื่องมือวัด ทางไฟฟ้า

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

วัดค่าอุณหภูมิน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น เข้าออกจากเครื่องผลิตน้ำเย็น (Chiller) ด้วยเครื่องมือวัดค่าอุณหภูมิน้ำที่มีความแม่นยำสูง หน่วยวัดเป็นองศาเซลเซียส (°C)



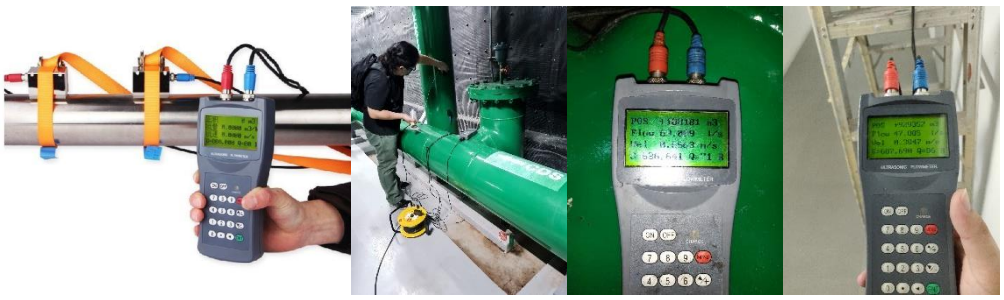
ก. แบบ Data Logger

ข. แบบสปอตเช็ค

ภาพที่ 3.5 การใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิน้ำ

- วัดค่าอัตราการไหลของน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น เข้าออกจากเครื่องผลิตน้ำเย็น (Chiller) ด้วยเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบอัลตร้าโซนิคโฟลมิเตอร์ (Ultrasonic Flow Meter) หน่วยวัดเป็นลิตรต่อวินาที (L/s)

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์



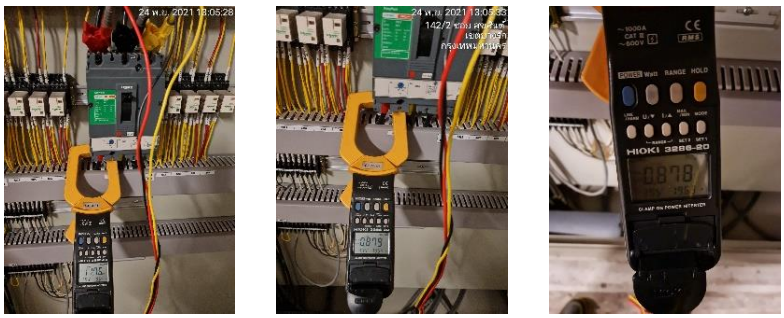
ภาพที่ 3.6 การใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำแบบอัลตร้าโซนิคมีทั้งระบบ Data Logger และสปอตเช็ค

- วัดค่าความดันน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น เข้าออกจากเครื่องผลิตน้ำเย็น (Chiller) ด้วยเครื่องมือวัดค่าความดันน้ำแบบเกจน้ำมันหล่อเพื่อกันกระตุก/กระเทือน หน่วยวัดเป็น ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (Psi)

ภาพที่ 3.7 การใช้เครื่องมือวัดค่าความดันน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น เข้าออกจากเครื่องผลิตน้ำเย็น (Chiller) ด้วย Pressure Gauge

3.1.2.2 ตรวจวัดค่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องส่งน้ำเย็น (Chilled Water Pump) และเครื่องส่งน้ำหล่อเย็น (Condenser Water Pump) โดยการวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องส่งน้ำเย็น(kW) วัดอัตราการไหล (Flow) ของเครื่องส่งน้ำเย็น (Chilled Water Pump) และเครื่องส่งน้ำหล่อเย็น (Condenser Water Pump) วัดค่าความดันน้ำ (Pressure) ของเครื่องส่งน้ำเย็น (Chilled Water Pump) และเครื่องส่งน้ำหล่อเย็น (Condenser Water Pump) ทั้งหมดที่เปิดใช้งานของแต่ละช่วงเวลา

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์



ภาพที่ 3.8 การวัดการใช้พลังงานของเครื่องจักรในระบบผลิตน้ำเย็น

ภาพที่ 3.9 การวัดค่าความดันน้ำ(Pressure) ของเครื่องส่งน้ำเย็น(Chilled Water Pump)และเครื่องส่งน้ำหล่อเย็น (Condenser Water Pump)

ภาพที่ 3.10 การวัดค่าอัตราการไหล(Flow) ของเครื่องส่งน้ำเย็น(Chilled Water Pump)และเครื่องส่งน้ำหล่อเย็น (Condenser Water Pump)

3.1.2.3 การตรวจวัดค่าประสิทธิภาพการทำงานของหอผึ่งน้ำ (Cooling Tower) โดยการวัดค่า พารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตราฐานเครื่อง ดังนี้

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

- การใช้พลังงานไฟฟ้า โดยการวัดแบบสปอตเช็คเนื่องจากการทำงานของมอเตอร์เป็นแบบคงที่ทำให้ทุกช่วงเวลาจะเป็นค่าเดิมไม่เปลี่ยนแปลง

- อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นที่ไหลเข้าหอผึ่งน้ำ(Cooling Tower) หน่วยเป็น ลิตรต่อวินาที

- วัดค่าอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นทั้งเข้าและออกจากหอผึ่งน้ำ(Cooling Tower) หน่วยวัดเป็นองศาเซลเซียส (°C)

- วัดค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกในบริเวณโดยรอบที่ติดตั้งหอผึ่งน้ำ(Cooling Tower) หน่วยวัดเป็นองศาเซลเซียส (°C)

ภาพที่ 3.11 การวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อเทียบกับค่าดีไซน์ ของ(Cooling Tower)

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าDesign ของหอผึ่งน้ำ

Genaral		
Tower Model		NS-9023E-2Cell (1 Set)
Unit No		CT-9-03 To 04
Tower Type		Cross flow Mechanical Induce Draft
Type Pipe		Internal Piping
Design Conditions		
Circulating Water Flow Rate	L/s	56.78
Hot Water Temperature	Deg C	37.77

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

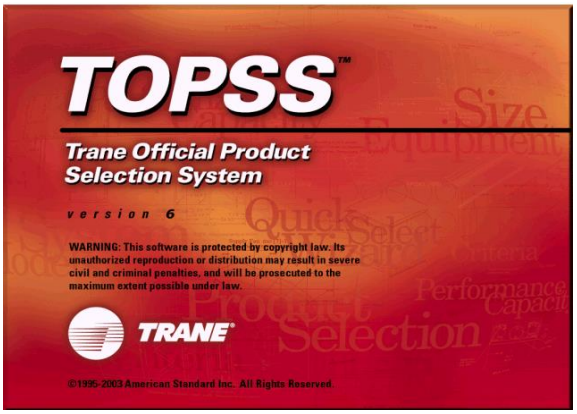
ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

Cold Water TemPerature	Deg C	32.22
Ambient Wet-Bulb Temperature	%	84.00
Evaporation Loss	%	0.93
Drift Loss	%	Less than 0.005
Blowdown Loss (Recommended)	%	0.40
Tower Pump Head	m	4.10

นำค่าที่วัดได้ มาเปรียบเทียบกับตารางข้อมูลจำเพาะของเครื่องจักรเพื่อหาค่าประสิทธิภาพ จากตารางที่ 3.1

3.1.3 แบบจำลองการทำงานของเครื่องผลิตน้ำเย็น

หลังจากทำการวัดค่าพารามิเตอร์ข้างต้นแล้ว นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาทำการจำลองการทำงานของ เครื่องผลิตน้ำเย็น(Chiller) โดย โปรแกรม TOPSS เพื่อจะได้ทราบถึงการทำงานในภาระโหลดที่เหมาะสมกับเครื่องผลิตน้ำเย็น เช่นอัตราการไหลของน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็นที่เครื่องผลิตน้ำเย็นต้องการเท่าไร และเมื่อเราตรวจวัดอัตราการไหลของระบบแล้วพบว่าค่าของอัตราการไหลที่ระบบทำได้ มากไปหรือน้อยไป เพียงพอและเหมาะสมตามความต้องการของเครื่องผลิตน้ำเย็นหรือไม่ และเป็นการทราบถึงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องผลิตน้ำเย็นแบบรวมศูนย์ ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันอีกด้วย



ภาพที่ 3.12 แสดงค่าการจำลองการทำงานของเครื่องผลิตน้ำเย็น(Chiller)(1)

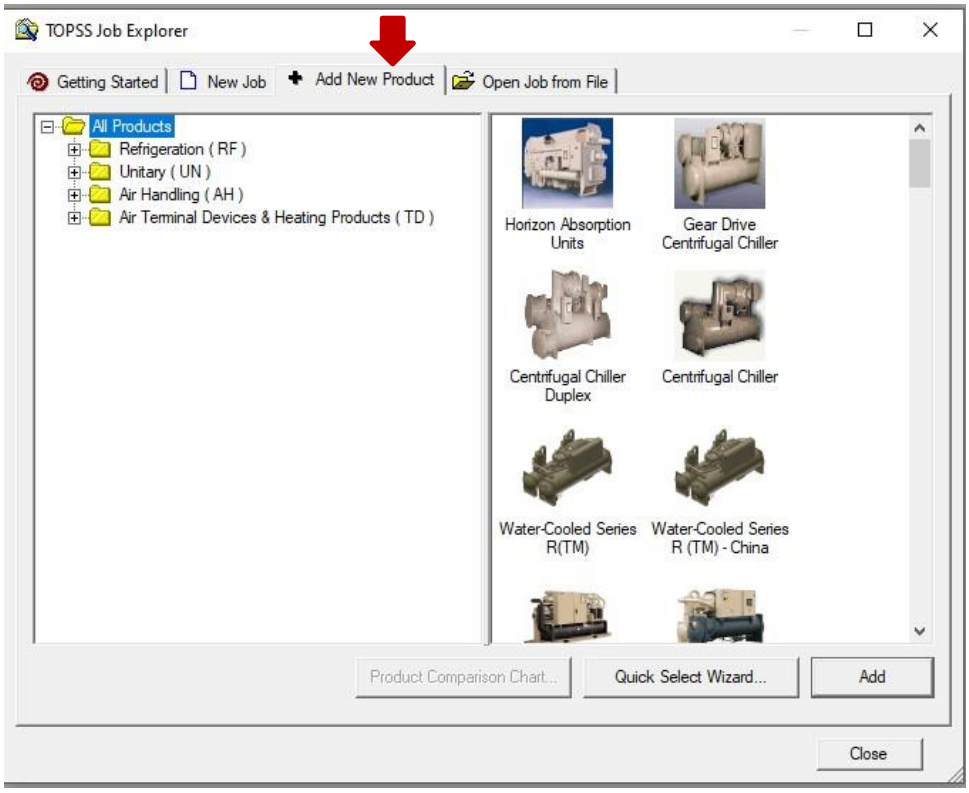
DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงานของเครื่องผลิตน้ำเย็นมีดังนี้

- การใช้พลังงานไฟฟ้า หน่วยเป็น กิโลวัตต์ (kW)
- อุณหภูมิน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น หน่วยเป็นองศาเซลเซียส (°C)
- ค่าแรงดันน้ำเข้าและออก หน่วยวัดเป็นเป็น ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (Psi)
- อัตราการไหลของน้ำทั้งด้านน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น หน่วยวัดเป็น ลิตรต่อวินาที (L/s)

ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมจำลองการทำงานเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller)

1. เปิดโปรแกรม TOPSS ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น
2. เลือก ที่หัวข้อ Add New Product เพื่อสร้างงานที่เราต้องการ
3. เลือกชนิดของอุปกรณ์ที่เราต้องการ ตามรุ่นที่เราทำการวัดค่ามา

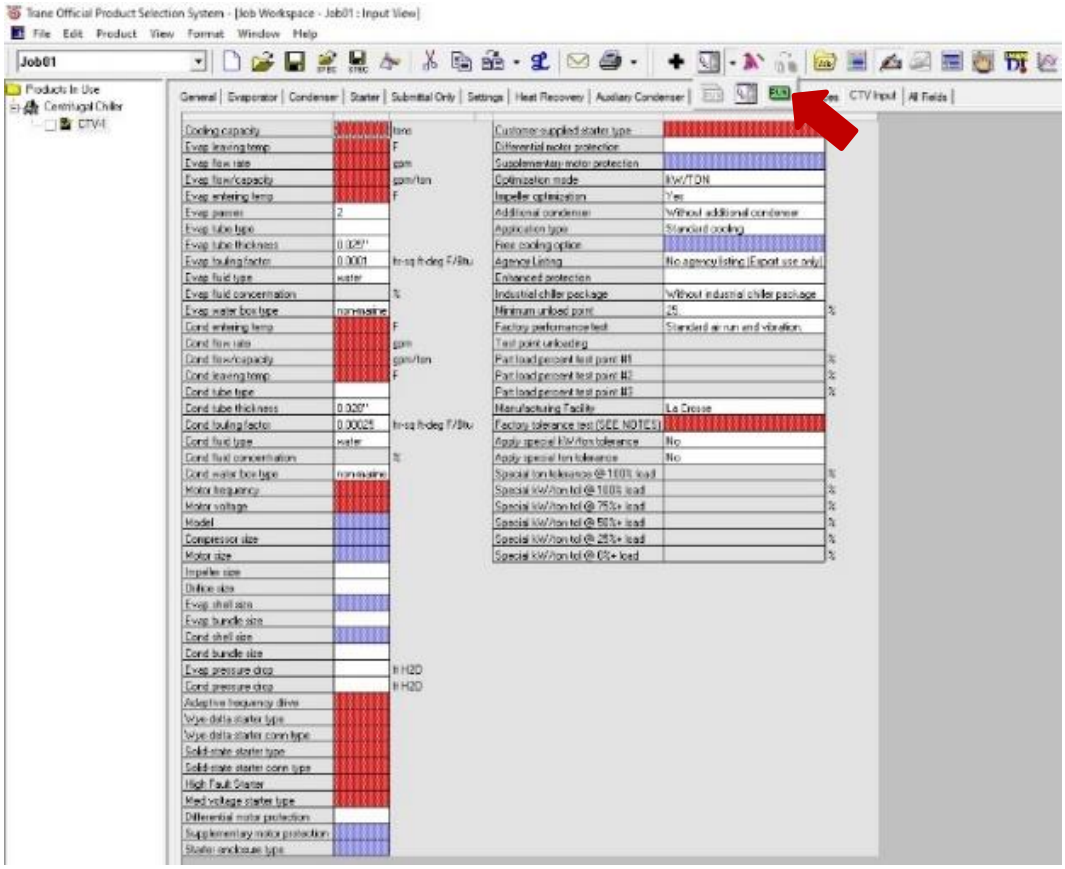


ภาพที่ 3.13 แสดงค่าการจำลองการทำงานของเครื่องผลิตน้ำเย็น(Chiller)(2)

4. นำค่าที่ได้จากการวัดมา กรอกลงในช่องว่าสีแดงดังรูปจนครบ

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

5. เมื่อกรอกข้อมูลที่วัดมาจนครบ ให้กดเครื่องหมายDrop Down ตรงไอคอนรูปกราฟ แล้วคลิก RUN สีเขียว เพื่อให้โปรแกรมประมวลผลออกมา

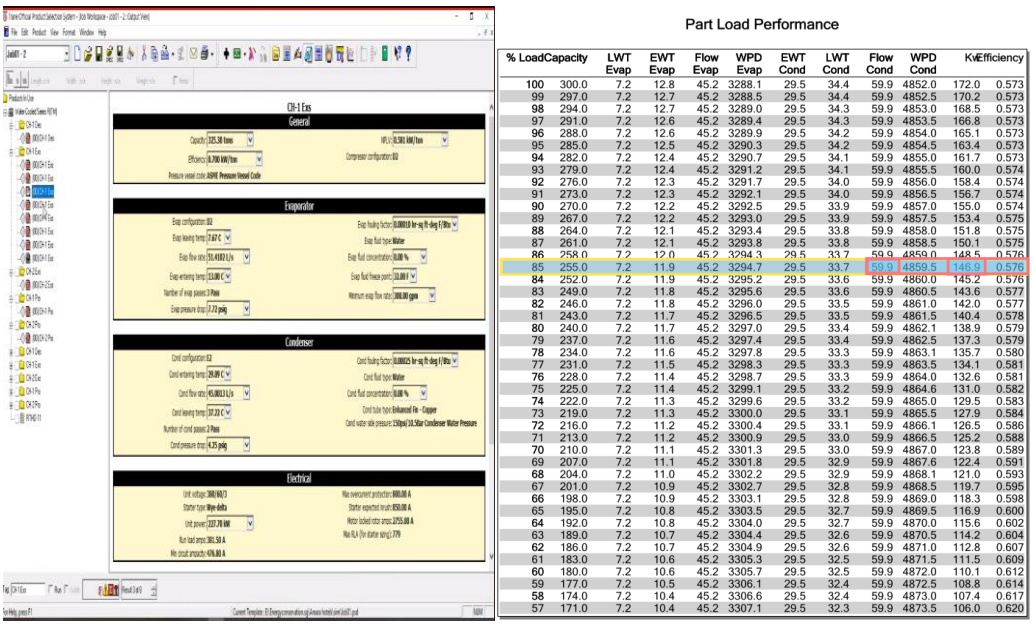


ภาพที่ 3.14 แสดงค่าการจำลองการทำงานของเครื่องผลิตน้ำเย็น(Chiller)(3)

6. เมื่อโปรแกรมแสดงผลออกมาแล้ว อาจจะมีข้อมูลออกมาให้เราเลือกหลายรุ่น ที่ใกล้เคียงกัน ให้เราทำการเลือกรุ่นที่มีค่าใกล้เคียงกับเครื่องเดิมมากที่สุด

7. จากนั้นให้บันทึกข้อมูลเฉพาะรุ่นที่เราต้องการ และทำการเลือกรีพรอตที่เป็นตาราง เพื่อนำค่าทีได้จากการจำลองการทำงาน ไปใช้ในการวิเคราะห์หาวิธีการลดการใช้พลังงานให้เหมาะสมกับสภาวะโหลดความต้องการความเย็นในช่วงพราทโหลด หรือช่วงสถานการณ์ โควิด 19

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์



Part Load Performance

% LoadCapacity		LWT Evap	EWT Evap	Flow Evap	WPD Evap	EWT Cond	LWT Cond	Flow Cond	WPD Cond	Kw	Efficiency
100	300.0	7.2	12.8	45.2	3288.1	29.5	34.4	59.9	4852.0	172.0	0.573
99	297.0	7.2	12.7	45.2	3288.5	29.5	34.4	59.9	4852.5	170.2	0.573
98	294.0	7.2	12.7	45.2	3289.0	29.5	34.3	59.9	4853.0	168.5	0.573
97	291.0	7.2	12.6	45.2	3289.4	29.5	34.3	59.9	4853.5	166.8	0.573
96	288.0	7.2	12.6	45.2	3289.9	29.5	34.2	59.9	4854.0	165.1	0.573
95	285.0	7.2	12.5	45.2	3290.3	29.5	34.2	59.9	4854.5	163.4	0.573
94	282.0	7.2	12.4	45.2	3290.7	29.5	34.1	59.9	4855.0	161.7	0.573
93	279.0	7.2	12.4	45.2	3291.2	29.5	34.1	59.9	4855.5	160.0	0.574
92	276.0	7.2	12.3	45.2	3291.7	29.5	34.0	59.9	4856.0	158.4	0.574
91	273.0	7.2	12.3	45.2	3292.1	29.5	34.0	59.9	4856.5	156.7	0.574
90	270.0	7.2	12.2	45.2	3292.5	29.5	33.9	59.9	4857.0	155.0	0.574
89	267.0	7.2	12.2	45.2	3293.0	29.5	33.9	59.9	4857.5	153.4	0.575
88	264.0	7.2	12.1	45.2	3293.4	29.5	33.8	59.9	4858.0	151.8	0.575
87	261.0	7.2	12.1	45.2	3293.8	29.5	33.8	59.9	4858.5	150.1	0.575
86	258.0	7.2	12.0	45.2	3294.3	29.5	33.7	59.9	4859.0	148.5	0.576
85	255.0	7.2	11.9	45.2	3294.7	29.5	33.7	59.9	4859.5	146.9	0.576
84	252.0	7.2	11.9	45.2	3295.2	29.5	33.6	59.9	4860.0	145.2	0.576
83	249.0	7.2	11.8	45.2	3295.6	29.5	33.6	59.9	4860.5	143.6	0.577
82	246.0	7.2	11.8	45.2	3296.0	29.5	33.5	59.9	4861.0	142.0	0.577
81	243.0	7.2	11.7	45.2	3296.5	29.5	33.5	59.9	4861.5	140.4	0.578
80	240.0	7.2	11.7	45.2	3297.0	29.5	33.4	59.9	4862.1	138.9	0.579
79	237.0	7.2	11.6	45.2	3297.4	29.5	33.4	59.9	4862.5	137.3	0.579
78	234.0	7.2	11.6	45.2	3297.8	29.5	33.3	59.9	4863.1	135.7	0.580
77	231.0	7.2	11.5	45.2	3298.3	29.5	33.3	59.9	4863.5	134.1	0.581
76	228.0	7.2	11.4	45.2	3298.7	29.5	33.3	59.9	4864.0	132.6	0.581
75	225.0	7.2	11.4	45.2	3299.1	29.5	33.2	59.9	4864.6	131.0	0.582
74	222.0	7.2	11.3	45.2	3299.6	29.5	33.2	59.9	4865.0	129.5	0.583
73	219.0	7.2	11.3	45.2	3300.0	29.5	33.1	59.9	4865.5	127.9	0.584
72	216.0	7.2	11.2	45.2	3300.4	29.5	33.1	59.9	4866.1	126.5	0.586
71	213.0	7.2	11.2	45.2	3300.9	29.5	33.0	59.9	4866.5	125.2	0.588
70	210.0	7.2	11.1	45.2	3301.3	29.5	33.0	59.9	4867.0	123.8	0.589
69	207.0	7.2	11.1	45.2	3301.8	29.5	32.9	59.9	4867.6	122.4	0.591
68	204.0	7.2	11.0	45.2	3302.2	29.5	32.9	59.9	4868.1	121.0	0.593
67	201.0	7.2	10.9	45.2	3302.7	29.5	32.8	59.9	4868.5	119.7	0.595
66	198.0	7.2	10.9	45.2	3303.1	29.5	32.8	59.9	4869.0	118.3	0.598
65	195.0	7.2	10.8	45.2	3303.5	29.5	32.7	59.9	4869.5	116.9	0.600
64	192.0	7.2	10.8	45.2	3304.0	29.5	32.7	59.9	4870.0	115.6	0.602
63	189.0	7.2	10.7	45.2	3304.4	29.5	32.6	59.9	4870.5	114.2	0.604
62	186.0	7.2	10.7	45.2	3304.9	29.5	32.6	59.9	4871.0	112.8	0.607
61	183.0	7.2	10.6	45.2	3305.3	29.5	32.5	59.9	4871.5	111.5	0.609
60	180.0	7.2	10.6	45.2	3305.7	29.5	32.5	59.9	4872.0	110.1	0.612
59	177.0	7.2	10.5	45.2	3306.1	29.5	32.4	59.9	4872.5	108.8	0.614
58	174.0	7.2	10.4	45.2	3306.6	29.5	32.4	59.9	4873.0	107.4	0.617
57	171.0	7.2	10.4	45.2	3307.1	29.5	32.3	59.9	4873.5	106.0	0.620

ภาพที่ 3.15 แสดงค่าการจำลองการทำงานของเครื่องผลิตน้ำเย็น(Chiller)(4)

หลังจากที่ได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากการจำลองการทำงานและการตรวจวัดแล้ว นำพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่สปอตเช็คหรือ Data Logger เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลและปรับแก้การทำงานของอุปกรณ์ประกอบระบบผลิตน้ำเย็นให้เหมาะสมกับค่าความต้องการของเครื่องผลิตน้ำเย็น เพื่อให้ได้ค่าที่ได้ประสิทธิภาพสูงสุดในการทำงานและเพื่อผลประหยัดที่เพิ่มขึ้น

3.2 สมมุติฐานและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ

จากการตรวจสอบเบื้องต้นพบว่าในอาคารที่ผู้วิจัยทำการวิจัยในส่วนของระบบผลิตน้ำเย็นเพื่อใช้ในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ เป็นอาคารสำนักงานขนาดใหญ่มีขนาดพื้นที่ 52,000 ตารางเมตร ความสูง 25 ชั้น ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์มีพื้นที่ปรับอากาศ 27,00 ตารางเมตร

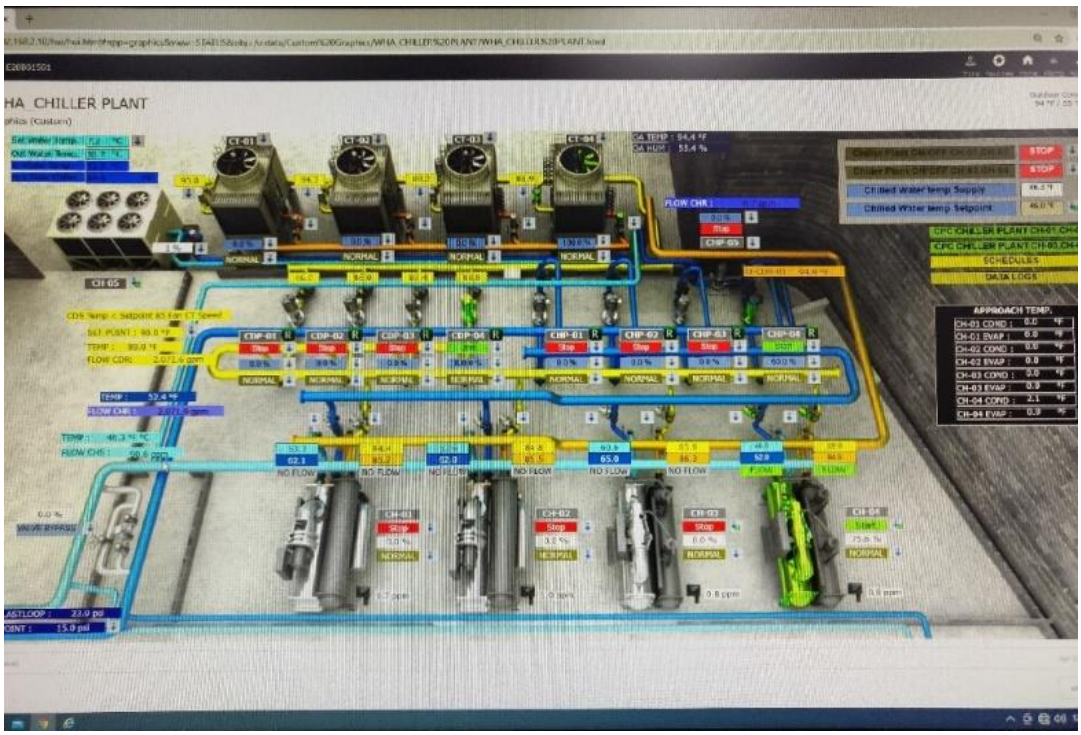
อุปกรณ์ประกอบระบบผลิตน้ำเย็นในส่วนของห้องเครื่อง

เครื่องผลิตน้ำเย็น	Chiller water cooled 600T	=	2	Sets
เครื่องผลิตน้ำเย็น	Chiller water cooled 300T	=	2	Sets
เครื่องส่งน้ำเย็น	Chilled Water Pump 55 kW	=	2	Sets
เครื่องส่งน้ำเย็น	Chilled Water Pump 45 kW	=	2	Sets
เครื่องส่งน้ำหล่อเย็น	Condenser Water Pump 45 kW	=	2	Sets

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

เครื่องส่งน้ำหล่อเย็น	Condenser Water Pump 30 kW	=	2	Sets
หอผึ่งน้ำ	Cooling Tower 11 kW	=	2	Sets
หอผึ่งน้ำ	Cooling Tower 7.5 kW	=	2	Sets

อาคารสำนักงานได้มีการเปิดใช้งานเครื่องผลิตน้ำเย็นขนาด 300 ตัน ปั๊มส่งน้ำเย็น 45 kWและปั๊มส่งน้ำหล่อเย็น 30 kW ซึ่งเป็นระบบผลิตน้ำเย็นชุดเล็ก ที่มีกำลังผลิตน้ำเย็นที่ 300 ตัน เนื่องด้วยช่วงเวลาที่ทำการวิจัยนั้น เป็นช่วงสถานการณ์โควิด 19 ที่มีมาตรการป้องกันโควิดของสำนักงานภายในอาคารให้พนักงานทำงานที่บ้าน จึงทำให้ความต้องการความเย็นของอาคารลดน้อยลง



ภาพที่ 3.16 ตารางแสดงการเปิดใช้งานอุกรณ์ในระบบผลิตน้ำเย็น

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการวิจัยเฉพาะในส่วนของห้องเครื่องผลิตน้ำเย็นเท่านั้นโดยมีอุปกรณ์สำคัญหลัก ๆ เป็นส่วนประกอบในการผลิตน้ำเย็นเฉพาะห้องเครื่องอยู่ 3 อุปกรณ์ใหญ่ ดังนี้

1. เครื่องผลิตน้ำเย็น ขนาด 300 ตัน Chiller water cooled 300T
2. เครื่องส่งน้ำเย็น ขนาด 45 กิโลวัตติ Chilled Water Pump 45 kW
3. เครื่องส่งน้ำหล่อเย็น ขนาด 30 กิโลวัตติ Condenser Water Pump 30 kW

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

3.2.1 การเก็บข้อมูลและคำนวณเครื่องผลิตน้ำเย็น ขนาด 300 ตัน Chiller water cooled 300T ข้อมูลด้านDesign

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ของเครื่องผลิตน้ำเย็นตามค่า Design

Unit Information			
Refrigeration capacity	300.0 tons	Cooling efficiency	0.6027 kW/ton
NPLV.IP	0.4784 kW/ton	Refrigerant charge (HFC-134a)	700.0 Ib
Shipping weight	19107.5 Ib	Operating weight	20500.8 Ib
Full Load Sound Pressure-AHRI	78 dBA		
Evaporator Information			
Leaving fluid evap	45.00 F	Flow evap	717.9 gpm
Entering fluid evap	55.00 F	Fluid pressure drop evap	13.7 ft H2O
Minimum flow evap	379.0 gpm	Fouiling factor evap	0.0001 hr-sq ft-geg F/ Btu
Number of evaporator passes	4 pass	fluid freeze point evap	32.00 F
Evap fluid type	Water	Fluid concentration evap	
Condenser Information			
Entering fluid cond	90.00 F	Fiow cond	900.0 gpm
Leaving fluid cond	99.24 F	Fluid pressure drop cond	10.3 ft H2O
Number of cond passes	2 pass condenser	Fouling factor cond	0.00025 hr-sq ft-deg F/Btu
Cond fluid type	Water	Fluid concentration cond	
Condenser tube type	Enhanced fin-copper	Maximum fiow cond	1961 gpm
Pressure drop at min flow cond	34.425 in H2O	Pressure drop at max	42.9 ft H2O
Minimum flow cond	443.9 gpm		
Electrical Imformation			
Unit voltace	380. Volt 3phase	Unit Hertz	50. Hertz
Total power	180.8 kw	Starter type	Solid state starter
Minimum circuit ampacity	406.22 A	Maximum overcurrent protection	731.20 A
Starter expected inrush	1152.00 A	Motor locked rolor amps	2303.00 A
Run load amps/chiller input amps	324.98 A	AFD outout amps	

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ตารางที่ 3.3 แสดงค่า Design การทำงานของเครื่องผลิตน้ำเย็นในแต่ละช่วงภาระการทำความเย็น

Part Load Performance											
% Load	Cap.	LWT Evap	EWT Evap	Flow Evap	WPD Evap	EWT Cond	LWT Cond	Flow Cond	WPD Cond	Kw	Eff
100	300.0	45.0	55.0	717.9	13.7	90.00	99.24	900.0	10.3	180.80	0.6027
90	270.0	45.0	54.0	717.9	13.8	90.00	98.33	900.0	10.3	164.20	0.6083
80	240.0	45.0	53.0	717.9	13.8	90.00	97.43	900.0	10.3	148.30	0.6177
70	210.0	45.0	52.0	717.9	13.8	90.00	96.54	900.0	10.3	133.30	0.6347
60	180.0	45.0	51.0	717.9	13.8	90.00	95.66	900.0	10.3	120.30	0.6685
50	150.0	45.0	50.0	717.9	13.8	90.00	94.80	900.0	10.3	108.80	0.7251
40	120.0	45.0	49.0	717.9	13.9	90.00	93.96	900.0	10.3	101.00	0.8413
30	90.0	45.0	48.0	717.9	13.9	90.00	93.19	900.0	10.3	97.80	1.0867
20	60.0	45.0	47.0	717.9	13.9	90.00	92.54	900.0	10.3	95.21	1.5869

ผู้วิจัยทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยเครื่องมือวัดแบบ Data logger เพื่อหาค่าการทำงานของเครื่องจักร

ข้อมูลที่ได้จากการวัด

เครื่องผลิตน้ำเย็น (Chiller) 300T

อุณหภูมิน้ำเย็น ด้านเข้า	=	11.43	°C
อุณหภูมิน้ำเย็น ด้านออก	=	7.56	°C
อัตราการไหลของน้ำเย็น	=	55.00	L/s
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ด้านเข้า	=	32.28	°C
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ด้านออก	=	35.95	°C
อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น	=	71.17	L/s
พลังงานไฟฟ้า	=	160.89	kW

คำนวณหาการทำความเย็นสุทธิของเครื่องผลิตน้ำเย็น (Cooling Capacity) โดยสมการ

$$Q_c = 1.2 \times \mathrm{F} \times (\mathrm{T_{in}} - \mathrm{T_{out}})$$

โดยที่ Q_c = ตันความเย็นสุทธิ (Ton)

F = อัตราการไหลของน้ำเย็น (ลิตร/วินาที) (l/s)

T_{in} = อุณหภูมิน้ำเย็นด้านขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (°C)

T_{out} = อุณหภูมิน้ำเย็นด้านขาออกเครื่องทำน้ำเย็น (°C)

$$Q_c = 1.2 \times 55 \times (11.43 - 7.56)$$

$$Q_c = 255.42 \quad Ton$$

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (CHP) คืออัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าหน่วยเป็นกิโลวัตต์ (kW) กับขีดความสามารถทำความเย็นสุทธิรวมของเครื่องทำน้ำเย็น หน่วยเป็นตัน (Ton)

$$\text{CHP} = \frac{\text{kW}}{\text{Ton}}$$

$$\text{CHP} = \frac{160.89}{255.42}$$

$$\text{CHP} = 0.63$$

เมื่อได้ค่า efficiency ของเครื่องทำน้ำเย็นจากการคำนวณแล้ว นำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากโปรแกรมจำลองการทำงานเครื่องทำน้ำเย็น ดังตารางด้านล่างเพื่อหา เป็นเปอร์เซ็นต์การทำงานนะปัจจุบันของเครื่องทำน้ำเย็น

ตารางที่ 3.4 แสดงค่าพารามิเตอร์ของเครื่องผลิตน้ำเย็นจากการใช้งาน

Part Load Performance											
%	Load Capacity	LWT Evap	EWT Evap	Flow Evap	WPD Evap	EWT Cond	LWT Cond	Flow Cond	WPD Cond	KW	Efficiency
100	300.0	7.2	12.8	45.2	3288.1	32.2	37.2	59.9	4801.8	188.9	0.630
99	297.0	7.2	12.7	45.2	3288.5	32.2	37.2	59.9	4802.3	187.0	0.630
98	294.0	7.2	12.7	45.2	3289.0	32.2	37.1	59.9	4802.8	185.1	0.630
97	291.0	7.2	12.6	45.2	3289.4	32.2	37.1	59.9	4803.3	18.2	0.630
96	288.0	7.2	12.6	45.2	3289.9	32.2	37.0	59.9	4803.8	181.3	0.630
95	285.0	7.2	12.5	45.2	3290.3	32.2	37.0	59.9	4804.2	179.4	0.630
94	282.0	7.2	12.4	45.2	3290.7	32.2	36.9	59.9	4804.7	177.6	0.630
93	279.0	7.2	12.4	45.2	3291.2	32.2	36.9	59.9	4805.2	175.7	0.630
92	276.0	7.2	12.3	45.2	3291.7	32.2	36.8	59.9	4805.7	173.9	0.630
91	273.0	7.2	12.3	45.2	3292.1	32.2	36.8	59.9	4806.2	172.0	0.630
90	270.0	7.2	12.2	45.2	3292.5	32.2	36.7	59.9	4806.7	170.2	0.630
89	267.0	7.2	12.2	45.2	3293.0	32.2	36.7	59.9	4807.1	168.4	0.631
88	264.0	7.2	12.1	45.2	3293.4	32.2	36.6	59.9	4807.6	166.6	0.631
87	261.0	7.2	12.1	45.2	3293.8	32.2	36.6	59.9	4808.1	164.8	0.631
86	258.0	7.2	12.0	45.2	3294.3	32.2	36.5	59.9	4808.6	163.0	0.632
85	255.0	7.2	11.9	45.2	3294.7	32.2	36.5	59.9	4809.1	161.2	0.632
84	252.0	7.2	11.9	45.2	3295.2	32.2	36.4	59.9	4809.6	159.4	0.632
83	249.0	7.2	11.8	45.2	3295.6	32.2	36.4	59.9	4810.0	157.6	0.633
82	246.0	7.2	11.8	45.2	3296.0	32.2	36.3	59.9	4810.5	155.8	0.634
81	243.0	7.2	11.7	45.2	3296.5	32.2	36.3	59.9	4811.0	154.1	0.634
80	240.0	7.2	11.7	45.2	3297.0	32.2	36.2	59.9	4811.5	152.3	0.635

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

Part Load Performance											
%	Load Capacity	LWT Evap	EWT Evap	Flow Evap	WPD Evap	EWT Cond	LWT Cond	Flow Cond	WPD Cond	KW	Efficiency
79	237.0	7.2	11.6	45.2	3297.4	32.2	36.2	59.9	4812.0	150.6	0.635
78	234.0	7.2	11.6	45.2	3297.8	32.2	36.1	59.9	4812.5	148.9	0.636
77	231.0	7.2	11.5	45.2	3298.3	32.2	36.1	59.9	4812.9	147.1	0.637
76	228.0	7.2	11.4	45.2	3298.7	32.2	36.0	59.9	4813.4	145.4	0.638
75	225.0	7.2	11.4	45.2	3299.1	32.2	36.0	59.9	4813.9	143.7	0.639
74	222.0	7.2	11.3	45.2	3299.6	32.2	35.9	59.9	4814.4	142.0	0.640
73	219.0	7.2	11.3	45.2	3300.0	32.2	35.9	59.9	4814.8	140.3	0.641
72	216.0	7.2	11.2	45.2	3300.4	32.2	35.8	59.9	4815.3	138.6	0.642
71	213.0	7.2	11.2	45.2	3300.9	32.2	35.8	59.9	4815.8	136.9	0.643
70	210.0	7.2	11.1	45.2	3301.3	32.2	35.7	59.9	4816.2	135.4	0.645
69	207.0	7.2	11.0	45.2	3301.8	32.2	35.7	59.9	4816.7	134.0	0.647
68	204.0	7.2	11.0	45.2	3302.2	32.2	35.6	59.9	4817.2	132.6	0.650
67	201.0	7.2	10.9	45.2	3302.7	32.2	35.6	59.9	4817.7	131.2	0.653

จากตาราง คิดเป็น 85 % ของ Load Capacity 300 Ton ของเครื่องผลิตน้ำเย็น คำนวณหาทำความเย็นของคอมเพสเซอร์ (Compressor heat) 1 TR = (3.517 kW)

โดยสมการ

$$Q_{com} = \frac{P}{3.517}$$

$$Q_{com} = \frac{160.89}{3.517}$$

$$Q_{com} = 45.74 \ \ \text{TR}$$

คำนวณหาการระบายความร้อน (Heat rejection)

โดยสมการ

$$Q_H = 1.2 \times \text{F} \times (\text{T}_{\text{out}} - \text{T}_{\text{in}})$$

โดยที่ Q_H = ตันความเย็นสุทธิ (Ton)

F = อัตราการไหลของน้ำเย็น (ลิตร/วินาที) (l/s)

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

T_{in} = อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นด้านขาเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (°C)

T_{out} = อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นด้านขาออกเครื่องทำน้ำเย็น (°C)

$$Q_H = 1.2 \times 71.17 \times (35.95 - 32.28)$$

$$Q_H = 313.4 \text{ Ton}$$

การคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความสมดุลความร้อน (Heat Balance) เพื่อเป็นการตรวจเช็คความถูกต้องของการวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

หาเปอร์เซ็นต์ความสมดุลความร้อน (Heat Balance) %

โดยสมการ

$$\% = \frac{Q_H - (Q_{com} + Q_c)}{Q_H}$$

$$\% = \frac{313.4 - (45.74 + 255.42)}{313.4}$$

$$= 4 \%$$

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการใช้งานเครื่องผลิตน้ำเย็น (Chiller) ในระบบผลิตน้ำเย็นของระบบอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ ที่ได้จากการตรวจวัดค่าและทำการคำนวณ

ตารางที่ 3.5 แสดงค่าตรวจวัดของเครื่องทำน้ำเย็นก่อนดำเนินการ

เครื่องผลิตน้ำเย็นChiller 300 TR	ค่าก่อนดำเนินการ	หน่วย
ตันความเย็น	255.42	ตัน
การใช้พลังงาน	160.9	กิโลวัตต์
ประสิทธิภาพ	0.63	kW/Ton
การใช้งานช่วง (Off peak)	2	ชั่วโมง
การใช้งานช่วง (On peak)	8	ชั่วโมง
จำนวนวันใช้งานต่อปี	247	วัน
กิโลวัตต์/ช.ม. ต่อปี (Off peak)	79,484.60	kWh/year
กิโลวัตต์/ช.ม. ต่อปี (On peak)	317,938.40	kWh/year
รวมกิโลวัตต์/ช.ม. ต่อปี	**397,423.00**	**kWh/year**

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ตารางที่ 3.5 (ต่อ)

เครื่องผลิตน้ำเย็นChiller 300 TR	ค่าก่อนดำเนินการ	หน่วย
อัตราค่าไฟ (Off peak)	2.6037	บาท
อัตราค่าไฟ (On peak)	4.1839	บาท
ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า/kWh	132.93	บาท
Ft	-0.1532	บาท
ค่าไฟในช่วง (Off peak)	206,954.05	บาท
ค่าไฟในช่วง (On peak)	1,330,222.47	บาท
ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า	256,661.24	บาท
ค่า Ft	-60,885.20	บาท
รวมราคาค่าไฟ ต่อปี	**1,732,952.57**	**บาท**

เมื่อได้ข้อมูลการทำงานจริงปัจจุบันของเครื่องผลิตน้ำเย็นแล้ว นำข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้ มากรอกลงในโปรแกรมจำลองการทำงานของเครื่องผลิตน้ำเย็น ตามลำดับขั้นตอนที่นำเสนอในหน้าที่ 34 เพื่อหาจุดที่เครื่องผลิตน้ำเย็นทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ จะได้ข้อมูลการทำงานดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.6 แสดงการจำลองค่าพารามิเตอร์ของเครื่องผลิตน้ำเย็น Simulation

Part Load PerFormance											
%	**Load Capacity**	**LWT Evap**	**EWT Evap**	**Flow Evap**	**WPD Evap**	**EWT Cond**	**LWT Cond**	**Flow Cond**	**WPD Cond**	**KW**	**Efficiency**
100	300.0	7.2	12.8	45.2	3288.1	29.5	34.4	59.9	4852.0	172.0	0.573
99	297.0	7.2	12.7	45.2	3288.5	29.5	34.4	59.9	4852.5	170.2	0.573
98	294.0	7.2	12.7	45.2	3289.0	29.5	34.3	59.9	4853.0	168.5	0.573
97	291.0	7.2	12.6	45.2	3289.4	29.5	34.3	59.9	4853.5	166.8	0.573
96	288.0	7.2	12.6	45.2	3289.9	29.5	34.2	59.9	4854.0	165.1	0.573
95	285.0	7.2	12.5	45.2	3290.3	29.5	34.2	59.9	4854.5	163.4	0.573
94	282.0	7.2	12.4	45.2	3290.7	29.5	34.1	59.9	4855.0	161.7	0.573
93	279.0	7.2	12.4	45.2	3291.2	29.5	34.1	59.9	4855.5	160.0	0.574
92	276.0	7.2	12.3	45.2	3291.7	29.5	34.0	59.9	4856.0	158.4	0.574

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ตารางที่ 3.6 (ต่อ)

Part Load PerFormance											
%	Load Capacity	LWT Evap	EWT Evap	Flow Evap	WPD Evap	EWT Cond	LWT Cond	Flow Cond	WPD Cond	KW	Efficiency
91	273.0	7.2	12.3	45.2	3292.1	29.5	34.0	59.9	4856.5	156.7	0.574
90	270.0	7.2	12.2	45.2	3292.5	29.5	33.9	59.9	4857.0	155.0	0.574
89	267.0	7.2	12.2	45.2	3293.0	29.5	33.9	59.9	4857.5	153.4	0.575
88	264.0	7.2	12.1	45.2	3293.4	29.5	33.8	59.9	4858.0	151.8	0.575
87	261.0	7.2	12.1	45.2	3293.8	29.5	33.8	59.9	4858.5	150.1	0.575
86	258.0	7.2	12.0	45.2	3294.3	29.5	33.7	59.9	4859.0	148.5	0.576
85	255.0	7.2	11.9	45.2	3294.7	29.5	33.7	59.9	4859.5	146.9	0.576
84	252.0	7.2	11.9	45.2	3295.2	29.5	33..6	59.9	4860.0	145.2	0.576
83	249.0	7.2	11.8	45.2	3295.6	29.5	33.6	59.9	4860.5	143.6	0.577
82	246.0	7.2	11.8	45.2	3296.0	29.5	33.5	59.9	4861.0	142.0	0.577
81	243.0	7.2	11.7	45.2	3296.5	29.5	33.5	59.9	4861.5	140.4	0.578
80	240.0	7.2	11.7	45.2	3297.0	29.5	33.4	59.9	4862.1	138.9	0.579
79	237.0	7.2	11.6	45.2	3297.4	29.5	33.4	59.9	4862.5	137.3	0.579
78	234.0	7.2	11.6	45.2	3297.8	29.5	33.3	59.9	4863.1	135.7	0.580
77	231.0	7.2	11.5	45.2	3298.3	29.5	33.3	59.9	4863.5	134.1	0.581
76	228.0	7.2	11.4	45.2	3298.7	29.5	33.3	59.9	4864.0	132.6	0.581
75	225.0	7.2	11.4	45.2	3299.1	29.5	33.2	59.9	4864.6	131.0	0.582
74	222.0	7.2	11.3	45.2	3299.6	29.5	33.2	59.9	4865.0	129.5	0.583
73	219.0	7.2	11.3	45.2	3300.0	29.5	33.1	59.9	4865.5	127.9	0.584
72	216.0	7.2	11.2	45.2	3300.4	29.5	33.1	59.9	4866.1	126.5	0.586
71	213.0	7.2	11.2	45.2	3300.9	29.5	33.0	59.9	4866.5	125.2	0.588
70	210.0	7.2	11.1	45.2	3301.3	29.5	33.0	59.9	4867.0	123.8	0.589
69	207.0	7.2	11.0	45.2	3301.8	29.5	32.9	59.9	4867.6	122.4	0.591

3.2.2 การเก็บข้อมูลและคำนวณเครื่องส่งน้ำเย็น ขนาด 45 กิโลวัตต์ Chilled Water Pump 45 kW จากข้อมูลจำเพาะเครื่องจักร ดังตารางที่ 3.7

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ตารางที่ 3.7 แสดงสรุปคุณสมบัติทางเทคนิคเครื่องส่งน้ำเย็นจากค่า Design

ตารางสรุปคุณสมบัติ		
ทางเทคนิคเครื่องสูบน้ำในระบบปรับอากาศ		
REQUIRED PERFORMANCES		PACO Pumps
UNIT NO		CHWP-9-03 TO 04
QUANTITY SET(S)		2
APPLICTION OF PUMP		CHILLED WATER PUMP
TYPE OF PUMP		VERTICAL SPLIT CASE
		CENTRIFUGAL PUMPS
BRAND		PACO Pumps
MODEL PUMP		KPV4015-7/8
WATER FLOW RATE	L/S	45.6
TOTAL HHEAD	PSI.TDH	65
EFFIEIENCY	(%)	80.00%
PUPMP RATED PRESSURE	(PSI)	250
PUMP MOTOR	kW.	45(60HP)
SYPE OF SEAL		MECHANICAL
PUPMP MOTOR SPEED	RPM	1450
PUMP MOTOR IP DEGREE OF PROTECTION		-
STARTER TYPE		W/VSD
POWER SUPPLY	V/ Ph/ Hz	380/ 3/ 50

ข้อมูลที่ได้จากค่า Design

อัตราการไหลของน้ำ	45	L/s
แรงดันน้ำเย็น	65	Psi
พลังงานไฟฟ้า	45	kW
ความถี่	50	Hz

3.2.3 การเก็บข้อมูลและคำนวณเครื่องส่งน้ำหล่อเย็น ขนาด 30 กิโลวัตต์ Condenser Water Pump 30 kW จากข้อมูลจำเพาะเครื่องจักร ดังตารางที่ 3.8

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ตารางที่ 3.8 แสดงสรุปคุณสมบัติทางเทคนิคเครื่องส่งน้ำหล่อเย็นจากค่า Design

ตารางสรุปคุณสมบัติ		
ทางเทคนิคเครื่องสูบน้ำในระบบปรับอากาศ		
REQUIRED PERFORMANCES		PACO Pumps
UNIT NO		CWP-9-03 TO 04
QUANTITY SET(S)		2
APPLICTION OF PUMP		CONDENSER WATER PUMP
TYPE OF PUMP		VERTICAL SPLIT CASE
		CENTRIFUGAL PUMPS
BRAND		PACO Pumps
MODEL PUMP		KPV5012-7/8
WATER FLOW RATE	L/S	57.0
TOTAL HHEAD	PSI.TDH	39
EFFIEIENCY	(%)	81.58%
PUPMP RATED PRESSURE	(PSI)	250
PUMP MOTOR	kW.	30 (40 HP)
SYPE OF SEAL		MECHANICAL
PUPMP MOTOR SPEED	RPM	1450
PUMP MOTOR IP DEGREE OF PROTECTION		IP 55
STARTER TYPE		w/VSD
POWER SUPPLY	V/ Ph/ Hz	380 / 3 / 50

ข้อมูลที่ได้จากค่า Design

อัตราการไหลของน้ำ	57	L/s
แรงดันน้ำเย็น	39	Psi
พลังงานไฟฟ้า	30	kW
ความถี่	50	Hz

ข้อมูลที่ได้จากการวัด

เครื่องส่งน้ำเย็น CHWP 45 kW

อัตราการไหลของน้ำ	54	L/s

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

แรงดันน้ำเย็น	51	Psi
พลังงานไฟฟ้า	32.3	kW
ความถี่	45	Hz
เปิดวาล์วหน้าเครื่อง	100	%
เปิดวาล์วหลังเครื่อง	60	%

หาประสิทธิภาพการทำงานของปั๊ม CHWP จากสูตร

$$\eta = \frac{Q_{GPM} \times H_{Ft} \times S.G}{3960 \times BHP}$$

เมื่อ Q = 54 L/s ==> 855.9 GPM

H = 51 Psi ==> 117.6 Ft

BHP = 0.746 kW==> 32.3 kW = 43.28 BHP

S.G = Specific Gravity ==> 1

$$\eta = \frac{855.9 \times 117.6 \times 1}{3960 \times 43.28}$$

$$\eta = 0.59$$

ข้อมูลที่ได้จากการวัด

เครื่องส่งน้ำหล่อเย็น CDP 30 kW

อัตราการไหลของน้ำ	69	L/s
แรงดันน้ำเย็น	30	Psi
พลังงานไฟฟ้า	19.4	kW
ความถี่	45	Hz
เปิดวาล์วหน้าเครื่อง	100	%
เปิดวาล์วหลังเครื่อง	60	%

หาประสิทธิภาพการทำงานของปั๊ม CDP จากสูตร

$$\eta = \frac{Q_{GPM} \times H_{ft} \times S.G}{3960 \times BHP}$$

เมื่อ Q = 69 L/s ==> 1090 GPM

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

H = 30 Psi ==> 69.3 ft

BHP = 0.746 kW ==> 19.4 kW = 25.99 BHP

S.G = Specific Gravity ==> 1

$$\eta = \frac{1090 \times 69.3 \times 1}{3960 \times 25.99}$$

$$\eta = 0.73$$

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆของการใช้งานเครื่องส่งน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น ในระบบผลิตน้ำเย็นของระบบอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ ที่ได้จากการตรวจวัดค่าและทำการคำนวณค่าพารามิเตอร์หาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า ก่อนทำการปรับปรุง จากข้อมูลในตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 แสดงค่าตรวจวัดของเครื่องส่งน้ำก่อนดำเนินการ

ข้อมูลเครื่องส่งน้ำ	ปั๊มส่งน้ำเย็น	ปั๊มส่งน้ำหล่อเย็น	หน่วย
ประสิทธิภาพปั๊ม	0.599	0.73	%
Hz	45.00	45.00	Hz
กิโลวัตต์	32.30	19.40	kW
ความต้องการความเย็น	255.42	255.42	TR
ประสิทธิภาพ/ความต้องการความเย็น	0.126	0.08	kW/TR
การเปิดใช้งานในช่วง (Off peak)	2.00	2.00	Hr.
การเปิดใช้งานในช่วง (On peak)	9.00	8.00	Hr.
จำนวนวันเปิดใช้งานใน 1 ปี	247.00	247.00	Days.
กิโลวัตต์/ช.ม. ต่อปี (Off peak)	15,956.20	9,583.60	kWh
กิโลวัตต์/ช.ม. ต่อปี (On peak)	71,802.90	38,334.40	kWh
รวมกิโลวัตต์/ช.ม. ต่อปี	**87,759.10**	**47,918.00**	kWh
อัตราค่าไฟ (Off peak)	2.6037	2.60	บาท
อัตราค่าไฟ (On peak)	4.1839	4.18	บาท
อัตราความต้องการพลังไฟฟ้า	132.93	132.93	บาท
Ft	-0.1532	-0.1532	บาท

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ตารางที่ 3.9 (ต่อ)

ข้อมูลเครื่องส่งน้ำ	ปั๊มส่งน้ำเย็น	ปั๊มส่งน้ำหล่อเย็น	หน่วย
ค่าไฟในช่วง (Off peak)	41,545.16	24,952.82	บาท
ค่าไฟในช่วง (On peak)	300,416.15	16,387.10	บาท
ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า	51,523.67	30,946.10	บาท
ค่า Ft	-13,444.69	-7,341.04	บาท
รวมราคาค่าไฟ ต่อปี	**380,040.29**	**208,945.18**	บาท

ตารางที่ 3.10 แสดงผลประหยัดของเครื่องทำน้ำเย็น 300 ตันจากการ Simulation

เครื่องทำน้ำเย็น 300 ตัน	ค่าตรวจวัด	Simulation	ผลประหยัด
ตันความเย็น	255	255	
อุณหภูมิน้ำเย็น เข้า C°	11.4	11.9	
อุณหภูมิน้ำเย็น ออก C°	7.6	7.2	
อัตราการไหล น้ำเย็น (L/s)	55	45.2	
การใช้พลังงานไฟฟ้า (kW)	160.9	146.9	
ประสิทธิภาพ (kW/Ton)	0.630	0.575	
การใช้งานช่วง Off peak	2	2	
การใช้งานช่วง (On peak)	8	8	
จำนวนวันใช้งานต่อปี	247.00	247.00	
กิโลวัตต์/ช.ม.ต่อปี(Off peak)	79,484.60	72,568.60	
กิโลวัตต์/ช.ม. ต่อปี (On peak)	317,938.40	290,274.40	
รวมกิโลวัตต์/ช.ม. ต่อปี	397,423.00	362,843.00	34,580.00
อัตราค่าไฟ (Off peak)	2.6037	2.6037	
อัตราค่าไฟ (On peak)	4.1839	4.1839	
ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า/kWh	132.93	132.93	
Ft (บาท)	-0.1532	-0.1532	

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ตารางที่ 3.10 (ต่อ)

เครื่องทำน้ำเย็น 300 ตัน	ค่าตรวจวัด	Simulation	ผลประหยัด
ค่าไฟในช่วงOff peak (บาท)	206,954.05	188,946.86	
ค่าไฟในช่วงOn peak (บาท)	1,330,222.47	1,214,479.06	
ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท)	256,661.24	234,329.00	
ค่า Ft (บาท)	-60,885.20	-55,587.55	
รวมราคาค่าไฟ ต่อปี (บาท)	1,732,952.57	1,582,167.38	150,785.18

ตารางที่ 3.11 แสดงผลประหยัดของเครื่องส่งน้ำเย็น 45 กิโลวัตต์ จากการ Simulation

เครื่องส่งน้ำเย็น 45 กิโลวัตติ	ค่าก่อนดำเนินการ	ค่าจากการคำนวณ	ผลประหยัด
ตันความเย็น (Ton)	255	255	
ความถี่ (Hz)	45.0	37.0	
อัตราการไหล (L/s)	55.0	45.2	
แรงดันน้ำ (Psi)	51.0	20.3	
การใช้พลังงานไฟฟ้า (kW)	32.30	19.78	
ประสิทธิภาพปั๊ม	0.599	0.320	
ประสิทธิภาพต่อตันความเย็น	53.92	61.78	
การใช้งานช่วง Off peak	2.0	2.0	
การใช้งานช่วง On peak	9.0	9.0	
จำนวนวันใช้งานต่อปี	247.00	247.00	
กิโลวัตต์/ช.ม. ต่อปี Off peak	15,956.20	9,771.32	
กิโลวัตต์/ช.ม. ต่อปี On peak	71,802.90	43,970.94	
รวมกิโลวัตต์/ช.ม. ต่อปี	87,759.10	53,742.26	34,016.84
อัตราค่าไฟ Off peak	2.6037	2.6037	
อัตราค่าไฟ On peak	4.1839	4.1839	
ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า/kWh	132.93	132.93	

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ตารางที่ 3.11 (ต่อ)

เครื่องส่งน้ำเย็น 45 กิโลวัตติ	ค่าก่อนดำเนินการ	ค่าจากการคำนวณ	ผลประหยัด
Ft (บาท)	- 0.1532	- 0.1532	
ค่าไฟในช่วงOff peak (บาท)	41,545.16	25,441.59	
ค่าไฟในช่วงOn peak (บาท)	300,416.15	183,970.02	
ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท)	51,523.67	31,552.26	
ค่า Ft (บาท)	-13,444.69	-8,233.31	
รวมราคาค่าไฟ ต่อปี (บาท)	380,040.29	232,730.55	147,309.73

ตารางที่ 3.12 แสดงผลประหยัดของเครื่องส่งน้ำหล่อเย็น 30 กิโลวัตต์ จากการ Simulation

เครื่องส่งน้ำหล่อเย็น 45 กิโลวัตติ	ค่าก่อนดำเนินการ	ค่าจากการคำนวณ	ผลประหยัด
ตันความเย็น (Ton)	255	255	
ความถี่ (Hz)	45	37.03	
อัตราการไหล (L/s)	69.27	56.78	
แรงดันน้ำ (Psi)	30.0	20.3	
การใช้พลังงานไฟฟ้า (kW)	19.4	11.9	
ประสิทธิภาพปั๊ม	0.739	0.668	
ประสิทธิภาพต่อตันความเย็น	0.076	0.047	
การใช้งานช่วง Off peak	2.00	2.00	
การใช้งานช่วง On peak	8.00	8.00	
จำนวนวันใช้งานต่อปี	247.00	247.00	
กิโลวัตต์/ช.ม. ต่อปี Off peak	9,583.60	5,886.44	
กิโลวัตต์/ช.ม. ต่อปี On peak	38,334.40	23,545.77	
รวมกิโลวัตต์/ช.ม. ต่อปี	47,918.00	29,432.21	18,485.79
อัตราค่าไฟ Off peak	2.6037	2.6037	
อัตราค่าไฟ On peak	4.1839	4.1839	
ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า/kWh	132.93	132.93	

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ตารางที่ 3.12 (ต่อ)

เครื่องส่งน้ำหล่อเย็น 45 กิโลวัตติ	ค่าก่อนดำเนินการ	ค่าจากการคำนวณ	ผลประหยัด
Ft (บาท)	-0.1532	-0.1532	
ค่าไฟในช่วงOff peak (บาท)	24,952.82	15,326.53	
ค่าไฟในช่วงOn peak (บาท)	160,387.30	98,513.13	
ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท)	30,946.10	19,007.73	
ค่า Ft (บาท)	-7,341.04	-4,509.01	
รวมราคาค่าไฟ ต่อปี (บาท)	208,945.18	128,338.37	80,606.81

ตารางที่ 3.13 ตารางแสดงผลการทำการวิจัยจากการ Simulation

รายละเอียด	ค่าตรวจวัด	Simulation	ผลประหยัด
รวมกิโลวัตต์/ช.ม. ต่อปี Chiller	397,423.00	362,843.00	34,580.00
รวมกิโลวัตต์/ช.ม. ต่อปี Chilled water pump	87,759.10	53,742.26	34,016.84
รวมกิโลวัตต์/ช.ม. ต่อปี Condenser water pump	47,918.00	29,432.21	18,485.79
ผลรวม กิโลวัตต์/ช.ม. ต่อปี	533,100.10	446,017.47	87,082.63
รวมราคาค่าไฟ ต่อปี (บาท) Chiller	1,732,952.57	1,582,167.38	150,785.18
รวมราคาค่าไฟ ต่อปี (บาท) Chilled water pump	380,040.29	232,730.55	147,309.73
รวมราคาค่าไฟ ต่อปี (บาท) Condenser water pump	208,945.18	128,338.37	80,606.81
ผลรวม บาท ต่อ ปี	2,321,938.03	1,943,236.31	378,701.72

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

บทที่ 4
ผลการวิจัย

การทำการวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาและวิเคราะห์หาแนวทางการลดการใช้พลังงานของเครื่องผลิตน้ำเย็นในอาคารสำนักงานและเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องผลิตน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ ของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่

ผู้วิจัยได้รวบรวบข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่จำเป็นในการทำการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าและประสิทธิภาพเครื่องจักรในระบบผลิตน้ำเย็นให้กับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ เฉพาะในส่วนของห้องเครื่องเท่านั้น พบว่าการใช้งานของอาคารสำนักงานได้มีการเปิดใช้งานเครื่องผลิตน้ำเย็นขนาด 300 ตัน ปั๊มส่งน้ำเย็น 45 kWและปั๊มส่งน้ำหล่อเย็น 30 kW ซึ่งเป็นระบบผลิตน้ำเย็นชุดเล็ก ที่มีกำลังผลิตน้ำเย็นที่ 300 ตัน เนื่องด้วยช่วงเวลาที่ทำการวิจัยนั้น เป็นช่วงสถานการณ์โควิด 19 ที่มีมาตรการป้องกันโควิดของสำนักงานภายในอาคารให้พนักงานทำงานที่บ้าน จึงทำให้ความต้องการความเย็นของอาคารลดน้อยลง

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากที่ทำการจำลองการทำงานของ Chiller จะทราบถึงค่าอัตราการไหลที่เหมาะสมและเพียงพอต่อความต้องการของ Chiller คืออัตราการไหลของน้ำเย็นเท่ากับ 45.2 L/s และอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น เท่ากับ 59.9 L/s แต่ในปัจจุบัน อัตราการไหลของน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น มีค่าเกินความต้องการของ Chiller ผู้วิจัยจึงได้ทำการตรวจสอบไปยังตัวเครื่องส่งน้ำทั้งสองชุดถึงสาเหตุที่ทำให้มีอัตราการไหลที่มากเกินความต้องการของ Chiller และพบข้อมูลการใช้งานดังต่อไปนี้

4.1.1 เปิดใช้งานเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ขนาด 300 ตัน และเครื่องส่งน้ำเปิดวาล์วน้ำเข้าและออกที่ตำแหน่ง 100 เปอร์เซ็นต์ ตั้งค่า Setpoint อุณหภูมิ ที่ 7.22 C°

4.1.2 เปิดเครื่องส่งเย็น Chilled Water Pump 45 kW โดยใช้เครื่องปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (VSD)ที่ความถี่ 45 Hz เปิดวาล์วด้านดูดที่ตำแหน่ง 100 เปอร์เซ็นต์ เปิดวาล์วด้านปล่อยที่ตำแหน่ง 60 เปอร์เซ็นต์

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

4.1.3 เปิดเครื่องส่งเย็น Condenser Water Pump 30 kW โดยใช้เครื่องปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (VSD)ที่ความถี่ 45 Hz เปิดวาล์วด้านดูดที่ตำแหน่ง 100 เปอร์เซ็นต์ เปิดวาล์วด้านปล่อยที่ตำแหน่ง 60 เปอร์เซ็นต์

จากการเปิดวาล์วด้านปล่อยของเครื่องส่งน้ำ ทำให้เกิดการอั้นของน้ำทำให้อัตราการไหลของน้ำค่อนข้างต่ำทางด้านช่างอาคารจึงได้ปรับค่า VSD ให้ทำงานที่ความเร็วรอบสูงเพื่อเร่งอัตราการไหลและความดันน้ำสูงจนเกินค่าที่ Chiller ต้องการและยังส่งผลให้มีการใช้ไฟฟ้าที่สูงตามความเร็วรอบที่ VSD ทำงานอีกด้วย

ผู้วิจัยได้ทำการวิจัยโดยการปรับตำแหน่งการเปิดวาล์วด้านปล่อยของเครื่องส่งน้ำเย็นให้เป็น 100 เปอร์เซ็นต์ และทำการปรับลดความเร็วรอบของ VSD ลงจากเดิมอยู่ที่ 45 Hz ใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ 32 kW ได้ความดันน้ำ 51 Psi และ อัตราการไหล 55 L/s ให้เป็น 35 Hz และทำการตรวจวัดค่าอัตราการไหลของน้ำ และวัดค่าความดันน้ำ พบว่า มีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงเหลือ 14.05 kW ได้ความดันน้ำ 51 Psi และอัตราการไหล 44.5 L/s ซึ่งเป็นค่าอัตราการไหลที่เพียงพอต่อความต้องการของเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ ขนาด 300 ตัน ดังภาพที่ 4.1 และ 4.2

ภาพที่ 4.1 แสดงผลก่อนการทำการวิจัยของ CHWP

ภาพที่ 4.2 แสดงผลหลังการทำการวิจัยของ CHWP

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ทำการเช่นเดียวกันกับเครื่องส่งน้ำหล่อเย็นที่จากเดิมเปิดวาล์วด้านปล่อยของเครื่องส่งน้ำ จาก 60 เปอร์เซ็นต์ ให้เป็น 100 เปอร์เซ็นต์ และปรับลดความเร็วรอบมอเตอร์(VSD) ลงจากเดิม 45 Hz ใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ 19 kW ได้ความดันน้ำ 30 Psi และ อัตราการไหล 69 L/s ให้เป็น 30 Hz และทำการตรวจวัดค่าอัตราการไหลของน้ำ และวัดค่าความดันน้ำ พบว่า มีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง เหลือ 10.5 kW ได้ความดันน้ำ 28 Psi และอัตราการไหล 57.8 L/s ซึ่งเป็นค่าอัตราการไหลที่เพียงพอต่อความต้องการของเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ ขนาด 300 ตัน ดังภาพที่ 4.3 และ 4.4

ภาพที่ 4.3 แสดงผลก่อนการทำการวิจัยของ CDWP

ภาพที่ 4.4 แสดงผลหลังการทำการวิจัยของ CDWP

ผลการวิเคราะห์การวิจัยปรับปรุงแก้ไขการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบผลิตน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ในช่วงพาร์ทโหลด โควิด 19 เพื่อปรับลดการใช้พลังงานและหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องจักร เพื่อให้เครื่องจักรนั้นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยการนำเอาค่าอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์หลัก ๆ ในห้อง

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

เครื่องระบบผลิตน้ำเย็น จากเครื่องมือบันทึกค่าที่ได้เก็บรวบรวมในช่วงก่อนทำการวิจัย เป็นตัวตั้งต้นและนำค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าหลังทำการวิจัยมาหักลบกันดังตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทำการวิจัยของเครื่องผลิตน้ำเย็น ขนาด 300 ตัน

เครื่องผลิตน้ำเย็น	ค่าก่อนดำเนินการ	ค่าหลังดำเนินการ	ผลประหยัด
ตันความเย็น	255.4	231.0	
อุณหภูมิน้ำเย็น เข้า C°	11.4	11.22	
อุณหภูมิน้ำเย็น ออก C°	7.6	7.72	
อัตราการไหล น้ำเย็น (L/s)	55	55	
การใช้ไฟฟ้า (kW)	160.9	146.9	
ประสิทธิภาพ (kW/Ton)	0.630	0.636	
การใช้งานช่วง Off peak	2	2	
การใช้งานช่วง (On peak)	8	8	
จำนวนวันใช้งานต่อปี	247.00	247.00	
กิโลวัตต์/ช.ม. ต่อปี (Off peak)	79,484.60	72,568.60	
กิโลวัตต์/ช.ม. ต่อปี (On peak)	317,938.40	290,274.40	
รวมกิโลวัตติ/ช.ม. ต่อปี	397,423.00	362,843.00	**34,580.00**
อัตราค่าไฟ (Off peak)	2.6037	2.6037	
อัตราค่าไฟ (On peak)	4.1839	4.1839	
ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า/kWh	132.93	132.93	
Ft (บาท)	-0.1532	-0.1532	
ค่าไฟในช่วงOff peak (บาท)	206,954.05	188,946.86	
ค่าไฟในช่วงOn peak (บาท)	1,330,222.47	1,214,479.06	
ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท)	256,661.24	234,329.00	
ค่า Ft (บาท)	(60,885.20)	(55,587.55)	
รวมราคาค่าไฟ ต่อปี (บาท)	1,732,952.57	1,582,167.38	**150,785.18**

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลการทำการวิจัยของเครื่องส่งน้ำเย็น ขนาด 45 กิโลวัตติ

เครื่องส่งน้ำเย็น	ค่าก่อนดำเนินการ	ค่าหลังดำเนินการ	ผลประหยัด
ตันความเย็น (Ton)	255.42	231.00	
ความถี่ (Hz)	45	35	
อัตราการไหล (L/s)	55	44.5	
แรงดันน้ำ (Psi)	51	41	
การใช้ไฟฟ้า (kW)	32.30	14.05	
ประสิทธิภาพปั๊ม	0.599	0.896	
ประสิทธิภาพต่อตันความเย็น	0.126	0.061	
การใช้งานช่วง Off peak	2.00	2.00	
การใช้งานช่วง On peak	9.00	9.00	
จำนวนวันใช้งานต่อปี	247.00	247.00	
กิโลวัตต์/ช.ม. ต่อปี Off peak	15,956.20	6,940.70	
กิโลวัตต์/ช.ม. ต่อปี On peak	71,802.90	31,233.15	
รวมกิโลวัตติ/ช.ม. ต่อปี	87,759.10	38,173.85	49,585.25
อัตราค่าไฟ Off peak	2.6037	2.6037	
อัตราค่าไฟ On peak	4.1839	4.1839	
ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า/kWh	132.93	132.93	
Ft (บาท)	-0.1532	-0.1532	
ค่าไฟในช่วงOff peak (บาท)	41,545.16	18,071.50	
ค่าไฟในช่วงOn peak (บาท)	300,416.15	130,676.38	
ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท)	51,523.67	22,412.00	
ค่า Ft (บาท)	-13,444.69	-5,848.23	
รวมราคาค่าไฟ ต่อปี (บาท)	380,040.29	165,311.64	214,728.64

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผลการทำการวิจัยของเครื่องส่งน้ำหล่อเย็น ขนาด 30 กิโลวัตติ

เครื่องส่งน้ำหล่อเย็น	ค่าก่อนดำเนินการ	ค่าหลังดำเนินการ	ผลประหยัด
ตันความเย็น (Ton)	255.42	231.00	
ความถี่ (Hz)	45	30	
อัตราการไหล (L/s)	69.27	57.86	
แรงดันน้ำ (Psi)	30.0	26	
การใช้ไฟฟ้า (kW)	19.4	10.5	
ประสิทธิภาพปั๊ม	0.739	0.988	
ประสิทธิภาพต่อตันความเย็น	0.076	0.045	
การใช้งานช่วง Off peak	2.00	2.00	
การใช้งานช่วง On peak	8.00	8.00	
จำนวนวันใช้งานต่อปี	247.00	247.00	
กิโลวัตต์/ช.ม. ต่อปี Off peak	9,583.60	5,187.00	
กิโลวัตต์/ช.ม. ต่อปี On peak	38,334.40	20,748.00	
รวมกิโลวัตติ/ช.ม. ต่อปี	47,918.00	25,935.00	21,983.00
อัตราค่าไฟ Off peak	2.6037	2.6037	
อัตราค่าไฟ On peak	4.1839	4.1839	
ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า/kWh	132.93	132.93	
Ft (บาท)	-0.1532	-0.1532	
ค่าไฟในช่วงOff peak (บาท)	24,952.82	13,505.39	
ค่าไฟในช่วงOn peak (บาท)	160,387.30	86,807.56	
ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท)	30,946.10	16,749.18	
ค่า Ft (บาท)	-7,341.04	-3,973.24	
รวมราคาค่าไฟ ต่อปี (บาท)	208,945.18	113,088.89	95,856.29

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผลการทำการวิจัยจากการตรวจวัด

รายละเอียด	ค่าก่อนดำเนินการ	ค่าหลังดำเนินการ	ผลประหยัด
รวม kWh/Year Chiller	397,423.00	362,843.00	34,580.00
รวม kWh/Year Chilled water pump	87,759.10	38,173.85	49,585.25
รวม kWh/Year Condenser water pump	47,918.00	25,935.00	21,983.00
ผลรวม kWh/Year	**533,100.10**	**426,951.85**	**106,148.25**
รวมราคาค่าไฟ Baht/Year Chiller	1,732,952.57	1,582,167.38	150,785.18
รวมราคาค่าไฟBaht/Year Chilled water pump	380,040.29	165,311.64	214,728.64
รวมราคาค่าไฟ Baht/Year Condenser water pump	208,945.18	113,088.89	95,856.29
ผลรวม Baht/Year	**2,321,938.03**	**1,860,567.91**	**461,369.82**

จากการเก็บข้อมูลผู้วิจัยได้ทำการแบ่งช่วงการเก็บข้อมูลออกเป็น 2 ตอนได้แก่ช่วงเก็บค่าก่อนดำเนินการและช่วงหลังดำเนินการ ได้ผลดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องจักรก่อนดำเนินการ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

1. เครื่องผลิตน้ำเย็น Chiller ขนาด 300 Ton ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อชั่วโมงที่ 160.9 kWh ต่อการผลิตน้ำเย็น 255.4 Ton คิดเป็นต่อปี เท่ากับ 397,423 kWh/Year มีค่าประสิทธิภาพต่อตันความเย็น เท่ากับ 0.63 kW/Ton

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

2. เครื่องส่งน้ำเย็น Chilled Water Pump ขนาด 45 kW ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย ต่อชั่วโมงที่ 32.3 kWh คิดเป็นต่อปี เท่ากับ 87,759.10 kWh/Year มีค่าประสิทธิภาพต่อตันความเย็น เท่ากับ 0.126 kW/Ton

3. เครื่องส่งน้ำหล่อเย็น Condenser Water Pump ขนาด 30 kW ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อชั่วโมงที่ 19.4 kWh คิดเป็นต่อปี เท่ากับ 47,918.0 kWh/Year มีค่าประสิทธิภาพต่อตันความเย็น เท่ากับ 0.076 kW/Ton

ผลรวมการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำเย็นเฉพาะในส่วนของห้องเครื่องก่อนดำเนินการ มีการใช้พลังงานรวม 533,100.10 kWh/Year มีค่าประสิทธิภาพต่อตันความเย็นรวม เท่ากับ 0.832 kW/Ton

ตอนที่ 2 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องจักรหลังดำเนินการปรับปรุงแก้ไขแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. เครื่องผลิตน้ำเย็น Chiller ขนาด 300 ตันใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อชั่วโมงที่ 146.9 kWh ต่อการผลิตน้ำเย็น 231.0 ตัน คิดเป็นต่อปี เท่ากับ 326,843.00 kWh/Year มีค่าประสิทธิภาพต่อตันความเย็น เท่ากับ 0.575 kW/Ton

2. เครื่องส่งน้ำเย็น Chilled Water Pump ขนาด 45 kW ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อชั่วโมงที่ 14.05 kWh คิดเป็นต่อปี เท่ากับ 38,173.85 kWh/Year มีค่าประสิทธิภาพต่อตันความเย็น เท่ากับ 0.061 kW/Ton

3. เครื่องส่งน้ำหล่อเย็น Condenser Water Pump ขนาด 30 kW ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อชั่วโมงที่ 10.5 kWh คิดเป็นต่อปี เท่ากับ 25,935.00 kWh/Year มีค่าประสิทธิภาพต่อตันความเย็น เท่ากับ 0.045 kW/Ton

ผลรวมการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำเย็นเฉพาะในส่วนของห้องเครื่องหลังดำเนินการ มีการใช้พลังงานรวม 426,951.85 kWh/Year มีค่าประสิทธิภาพต่อตันความเย็นรวม เท่ากับ 0.742 kW/Ton

ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องเครื่องปรับอากาศเฉพาะเครื่องปรับอากาศแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ เครื่องส่งน้ำเย็นและเครื่องส่งน้ำหล่อเย็น รวมหลังทำการวิจัย เท่ากับ 102,640.85 kWh/Year คิดเป็นเงิน อยู่ที่ 461,369.82 Baht/Year

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การทำการวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาและวิเคราะห์หาแนวทางการลดการใช้พลังงานของระบบผลิตน้ำเย็นในอาคารสำนักงานและเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำเย็นแบบรวมศูนย์ ของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่

การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบผลิตน้ำเย็นในอาคารสำนักงานต่าง ๆ จะเกิดผลสูงสุดเมื่อมีการวางแผนงานอย่างเป็นระบบ เริ่มตั้งแต่การออกแบบและการเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงจะสามารถประหยัดพลังงานได้อย่างมาก ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานอย่างเหมาะสมและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าจะไม่สามารถประสบผลสำเร็จ ถ้าไม่มีการวางแผนวิเคราะห์ Function งานที่ดี ในส่วนของอาคารสำนักงานที่ทำการวิจัย เป็นอาคารใหม่ ซึ่งมีการออกแบบอาคารที่ทันสมัยรวมทั้งมีระบบประกอบอาคารที่ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ BAS (Building Automation System) ทำให้มีความสะดวกสบายในการควบคุมดูแล แต่ในการใช้งานจริง แล้วอาจเกิดการสิ้นเปลืองถ้าเราใช้ระบบอัตโนมัติอย่างเดียวโดยไม่ใส่ใจดูแลในการตรวจเช็ค ประสิทธิภาพอีกทีอาจเกิดการสูญเปล่าขึ้นได้ของพลังงานและทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานมาก สัดส่วนการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศและทำความเย็นของอาคารสำนักงานนั้นจะ สิ้นเปลืองพลังงาน 65 % ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร ดังนั้นถ้ามีการจัดการเดินเครื่องทำน้ำเย็นและระบบมอเตอร์ปั๊มน้ำที่ดีก็จะประหยัดพลังงานค่าไฟฟ้าได้ในปริมาณมาก โดยควบคุมการทำงาน โดยลดค่าพลังงานไฟฟ้าจากการจัดลำดับการใช้เครื่องทำน้ำเย็นตามภาระโหลดอย่าง ใกล้ชิดและต้องไม่ให้กระทบกับการให้บริการ

การทำการวิจัยในครั้งนี้สามารถทราบถึงตัวแปลสำคัญที่ทำให้ค่าประสิทธิภาพ (kW/Ton) ของห้องเครื่องปรับอากาศลดลงเข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด คืออัตราการไหลของน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็นที่เครื่องส่งน้ำส่งให้กับเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสมตามความต้องการของการทำความเย็นเนื่องจาก หากอัตราการไหลมีค่าที่สูงกว่าค่าออกแบบ จะทำให้การแลกเปลี่ยนหรือถ่ายเทความร้อนทำได้ไม่ดีเช่นหากอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นสูงเกินค่าออกแบบจะทำให้น้ำหล่อเย็นไม่สามารถระบายความร้อนได้ตามค่าที่ออกแบบ ส่งผลให้น้ำหล่อเย็นสูงขึ้น เมื่อถูกกส่งเข้าไปใน

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

เครื่องทำน้ำเย็นเพื่อทำการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำยาคอมเพรสเซอร์ ตัวคอมเพรสเซอร์ก็จะทำงานหนักขึ้น และใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงขึ้น

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยการลดการใช้พลังงานในระบบผลิตน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ เฉพาะในส่วนของห้องเครื่องผลิตน้ำเย็น ครั้งนี้ ได้ข้อสรุปดังนี้

5.1.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องผลิตน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ขนาด 300 Ton มีอัตราการใช้พลังงานที่ลดลงจากเดิม ใช้พลังงานงานอยู่ที่ 397,423.00 kWh/Year เป็นจำนวนเงินเท่ากับ 1,732,952.57 Baht/Year หลังปรับลดการใช้งาน เหลือใช้พลังงาน อยู่ที่ 362,843.00 kWh/Year เป็นจำนวนเงินเท่ากับ 1,582,167.38 Baht/Year ลดลง 34,580.00 kWh/Year เป็นจำนวนเงินเท่ากับ 150,785.18 Baht/Year

5.1.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องส่งน้ำเย็น ขนาด 45 kW มีอัตราการใช้พลังงานที่ลดลงจากเดิม ใช้พลังงานงานอยู่ที่ 87,579.10 kWh/Year เป็นจำนวนเงินเท่ากับ 380,040.29 Baht/Year หลังปรับลดการใช้งาน เหลือใช้พลังงาน อยู่ที่ 38,173.85 kWh/Year เป็นจำนวนเงินเท่ากับ 165,311.64 Baht/Year ลดลง 49,585.25 kWh/Year เป็นจำนวนเงินเท่ากับ 214,728.64 Baht/Year

5.1.3 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องส่งน้ำหล่อเย็น ขนาด 30 kW มีอัตราการใช้ พลังงานที่ลดลงจากเดิมใช้พลังงานงานอยู่ที่ 47,918.00 kWh/Year เป็นจำนวนเงินเท่ากับ 208,945.18 Baht/Year หลังปรับลดการใช้งาน เหลือใช้พลังงาน อยู่ที่ 29,442.40 kWh/Year เป็นจำนวนเงินเท่ากับ 128,382.81 Baht/Year ลดลง 18,475.60 kWh/Year เป็นจำนวนเงินเท่ากับ 80,562.37 Baht/Year

ผลรวมการใช้พลังงานของระบบผลิตน้ำเย็นเฉพาะในส่วนของห้องเครื่องหลังดำเนินการ มีการใช้พลังงานรวม 430,459.25 kWh/Year มีค่าประสิทธิภาพต่อตันความเย็นรวมเท่ากับ 0.748 kW/Ton

ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องเครื่องปรับอากาศเฉพาะเครื่องปรับอากาศแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ เครื่องส่งน้ำเย็นและเครื่องส่งน้ำหล่อเย็น รวมหลังทำการวิจัย เท่ากับ 102,640.85 kWh/Year คิดเป็นเงิน อยู่ที่ 446,076.20 Baht/Year

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

5.2 ข้อเสนอแนะ

ผู้วิจัยได้พิจารณาและมีข้อเสนอแนะดังนี้

5.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการศึกษานี้ไปใช้

5.2.1.1 ควรสนับสนุนให้มีการจัดฝึกอบรมความรู้เกี่ยวกับระบบปรับอากาศ ให้แก่พนักงานระดับปฏิบัติการ ให้มีความรู้ความเข้าใจในส่วนประกอบหน้าที่ของเครื่องจักรที่สำคัญในระบบปรับอากาศ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดในการทำงานของเครื่องจักร

5.2.1.2 อุปกรณ์เครื่องจักรในระบบประกอบอาคารจะต้องอยู่ในสภาพที่ดี เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ดี

5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาครั้งต่อไป

5.2.2.1 ควรมีการศึกษาและพัฒนาในส่วนของเครื่องจักรประกอบอาคารอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ เพิ่มเติม เนื่องจากยังมีอีกหลายเครื่องจักรที่ยังไม่ได้เอยถึงในการวิจัยครั้งนี้

5.2.2.2 อาจมีการนำระบบ Programmable logic Control : PLC มาใช้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยได้ในอนาคตเพื่อให้เครื่องจักรอุปกรณ์ในระบบปรับอากาศ สามารถทำงานได้แบบอัตโนมัติ

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

บรรณานุกรม

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

กิตติพงค์ อาจหาญ , ณัทปภา จันทร์โสม, สิทธิศักดิ์ เริงฤทธิ์ .(2560*). การวิเคราะห์การจัดการระบบทำความเย็นขนาดใหญ่.*วารสารวิทยาลัยบัณฑิตเอเซีย ปีที่ 7 ฉบับพิเศษ

พจน์ชววัฒน์ เลาะเลิศสุข , ศักดิ์ชาย รักการ, ปพน สีหอมชัย.(2556*). การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารสูง กรณีศึกษา: ระบบปรับอากาศ โรงแรมโนโวเทล แพลตินั่ม กรุงเทพ.* หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

ธนิต คล้ายอุทัย .(2557) .*การประหยัดพลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ กรณีศึกษา : อาคาร โรงพยาบาลพระรามเก้า.*สารนิพนธ์. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทางวิศวกรรม มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

สุธิกานต์ วงษ์เสถียร.(2548). *เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ (ภาคทฤษฎี).* พิมพ์ครั้งที่ 1 ปทุมธานี : โรงพิมพ์สกายบุ๊กส์,2548

ภาษาต่างประเทศ

Kittiphong Ajharn, Natpapha Jansom,Sittisuk Ruengrit (2017). *Analysis of Management of Chiller Water Cooled Systems*

Chonlathis Phateangsuksomphong (2560). *Energy Consumption Determination of Water Chiller.* Monthly-Yearly 2015

Phochawat Lhoalaossuk, Sakchai Rugkran, Phaphon SrihomChai, (2013) *Electrical Energy Reduction for High Rise Building Case Study: The Air Conditioning System of Novotel*

Thanit Klayuthai(2014) The Study of Mega Air-Conditioning System for Energy Saving Case Study of the Rama Nine Hospital Building

Suttikran Wongsatrean(2005) Refrigeration and Air Conditioning (Theory) 1st Edition ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2010 Performance Rating Method Reference Manual May 2016

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	จักรกฤษ สีหะราช
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2558 วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พ.ศ. 2552 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ป.ว.ส.) เทคนิคอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิทยาเขตพระนครเหนือ พ.ศ. 2548 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ป.ว.ช.) ช่างยนต์
ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน	วิศวกรเครื่องกล บริษัทอนุรักษ์พลังงาน.เอสจี