การลดข้อบกพร่องของระบบปรับอากาศในอาคารสูง

The Failure Reduction in Air Conditioning System in High Rise Building

เอกสิทธิ์ มนูญผล[1], ศักดิ์ชาย รักการ[2], พจนีย์ ศรีวิเชียร[3]
จีรวัฒน์ ปล้องใหม่[4] และ จอมภพ ละออ[5]
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต[1,2,3]
ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต[4,5]
Akekasit Manoonphon[1], Sakchai Rakkarn[2] Podchanee Sriwichian[3]
Jeerawat Plongmai[4] and Jompop laor[5]
Master of Engineering Program in Engineering Management, Kasem Bundit University[1,2,3]
Industrial Engineering Technology, Faculty of Engineering, Kasem Bundit University[4,5]
Email: akekassit@gmail.com[1], sakchai.rak@kbu.ac.th[2], podchanee.sri@kbu.ac.th[3]
Email: jeerawat2556p@gmail.com[4], jomphop.lao@kbu.ac.th[5]

Received: June 15, 2023; Revised: June 26, 2023; Accepted: June 29, 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ปัจจัยที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องของระบบปรับอากาศในอาคารสูง และมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการลดข้อบกพร่องดังกล่าว รวมทั้งกำหนดมาตรการป้องกันและปรับปรุงแก้ไขโดยใช้ข้อมูลจากการใช้งานจริงและการแจ้งซ่อม โดยการวิเคราะห์ตัวเลขแสดงลำดับความสำคัญของความเสี่ยง เพื่อหาวิธีการปรับปรุงที่สำคัญที่สุด โดยใช้มาตรฐานการติดตั้งระบบปรับอากาศในอาคารสูงเป็นแนวทาง ซึ่งประกอบด้วย การออกแบบใหม่ การดูแลบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และการตั้งค่าอุณหภูมิ ผลลัพธ์ของการศึกษาพบว่าหลังจากการปรับปรุงตามแนวคิดดังกล่าว ปริมาณงานแจ้งซ่อมระบบปรับอากาศลดลงจาก 331 ครั้ง เหลือ 145 ครั้ง ซึ่งหมายถึงการลดลงถึง 186 ครั้ง หรือร้อยละ 43.80 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่น่าพอใจในการลดปริมาณการแจ้งซ่อมระบบปรับอากาศในอาคารสูงได้จริง โดยผลลัพธ์ที่ได้นี้จะช่วยให้เครื่องจักรและอุปกรณ์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

คำสำคัญ: การลดปริมาณงานแจ้งซ่อมระบบปรับอากาศ มาตรฐานวิศวกรรมระบบปรับอากาศ การวิเคราะห์ความเสี่ยง

ABSTRACT

This research was to analyze the factors that caused defects in the air conditioning system in high-rise buildings. The objective was to reduce such defects by setting preventive measures and improvements using information from actual operation and repairing reports. Analysis of the risk priority number (RPN) was to find the most important improvements and then using the standard for installing air conditioning systems in high-rise buildings as a

guideline, which consisted of Re-design, Preventive Maintenance and Temperature Set Point setting. The results showed that the number of requests for air conditioning repair decreased from 331 times to 145 times or 43.80%, which was a satisfactory ratio in actual reducing the number of repair requests for air conditioning systems in high-rise buildings. Finally the results from the experiment will help machines and equipment to work with maximum efficiency.

KEYWORDS: Repair air conditioning systems, Engineering standard of air condition, Risk Analysis

บทนำ

การพัฒนาและการเติบโตทางเศรษฐกิจในประเทศไทยทำให้มีการสร้างอาคารสูงเพิ่มขึ้นมากในย่านใจกลางเมืองที่มีคนเยอะและอาคารสำนักงานให้เช่าส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในกรุงเทพฯและปริมณฑล (Bangkok Metropolitan Region: BMR) ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในย่านศูนย์กลางธุรกิจหรือ Central Business District (CBD) โดยสัดส่วนนี้คิดเป็นส่วนใหญ่มากกว่า 80% ของอาคารสำนักงานให้เช่าในประเทศไทย ส่งผลมาจากความต้องการเช่าพื้นที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา โดยมีจำนวนพื้นที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 160,000 ตารางเมตรต่อปี (Klinchuanchun, 2564) โดยอาคารสำนักงานให้เช่าในย่านดังกล่าวมีการแข่งขันอย่างสูงและมีอายุการให้บริการมากกว่า 20 ปี

ความสำคัญอันดับแรกของอาคารสำนักงานให้เช่าคือความสะดวกสบายและความปลอดภัยของผู้เช่าและพนักงาน สิ่งนี้เป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากความปลอดภัยทั้งในด้านชีวิตและทรัพย์สินเป็นปัจจัยที่สำคัญในการดูแลและ8;k, เชื่อมั่นในการทำงานในสถานที่นั้น ดังนั้น ในการศึกษานี้ผู้วิจัยสนใจประยุกต์ใช้หลักการและทฤษฎี FMEA (Failure Mode and Effect Analysis: วิเคราะห์และประเมินผลของข้อบกพร่องและผลกระทบ) เพื่อวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาข้อบกพร่องของระบบปรับอากาศในอาคารสูงที่มีการแจ้งซ่อมโดยคณะทำงาน การวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาและกระบวนการแก้ไขปัญหาจะถูกดำเนินการโดยทีมงาน เพื่อให้เกิดการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (บุญมาก, 2560) งานระบบต่าง ๆ เช่น ปัญหาระบบไฟฟ้า ปัญหาระบบปรับอากาศ และระบบอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นมากกว่า 2,000 ครั้งต่อปี ซึ่งส่งผลกระทบต่อการใช้งานและการให้บริการ วัตถุประสงค์ของการดำเนินการคือการลดปริมาณการแจ้งซ่อมและลดความเสียหาย และเพิ่มความปลอดภัยทั้งในด้านชีวิตและทรัพย์สินของผู้เช่า นอกจากนี้ยังมีเป้าหมายเพื่อสร้างความพึงพอใจให้กับผู้เช่า โดยการวิเคราะห์ข้อบกพร่องเพื่อกำหนดมาตรการป้องกันและปรับปรุงเพื่อลดปริมาณการแจ้งซ่อมและลดข้อบกพร่องของระบบภายในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ โดยนำทฤษฎีและหลักการที่ได้จากการศึกษานี้ไปใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาให้เกิดผลสำเร็จ ซึ่งเป้าหมายคือลดปริมาณการแจ้งซ่อมในระบบลง 20% เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายในการใช้งานของผู้เช่าพื้นที่ในอาคาร

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาปัญหาข้อบกพร่องของระบบปรับอากาศในอาคารสูงและลดปริมาณงานแจ้งซ่อมในอาคารที่มีค่าตัวเลขแสดงลำดับความสำคัญของความเสี่ยง (Risk Priority Number: RPN) สูงที่สุดลง 20% รวมถึงกำหนดมาตรการดำเนินการป้องกัน เพื่อให้เครื่องจักรมีประสิทธิภาพสูงสุด

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยของวิทิต กมลรัตน์ (กมลรัตน์, 2552) ได้ใช้หลักการและทฤษฎี FMEA ประเมินผลของข้อบกพร่องและผลกระทบ พบว่า พนักงานใน

ฝ่ายปฏิบัติการมีพฤติกรรมความปลอดภัยที่แตกต่างกันในด้านต่าง ๆ โดยพบว่าด้านสภาพแวดล้อมเป็นด้านที่มีระดับพฤติกรรมความปลอดภัยสูงที่สุด และอยู่ในระดับสูงมาก พงศกร ลักขกูล และจารุวรรณ เกษมทรัพย์ (เกษมทรัพย์ และ ลักขกูล, 2559) ได้ทำการวิจัยตัวเลขแสดงลำดับความสำคัญของความเสี่ยง (Risk Priority Number: RPN) ของการก่อสร้างอาคารสูงในกรุงเทพมหานครพบว่ามีความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการก่อสร้าง โดยใช้ค่าระดับผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความรุนแรงและค่าระดับโอกาสของการเกิด การคำนวณช่วยในการตัดสินใจเลือกระบบปรับอากาศที่เหมาะสมและประหยัดพลังงานในอาคาร (วรรัตน์ และ ธนานนทศรี, 2563) งานวิจัยได้นำเสนอระบบสำหรับใช้ในการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ดำเนินการพร้อมปรับปรุงแผนให้มีประสิทธิภาพมีค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมและลดชั่วโมงการทำงานได้ โดยใช้ทฤษฎีการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (TPM) การวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (CBM) เพื่อให้เครื่องจักรมีความพร้อมใช้อยู่ในพื้นฐานของหลักการบริหารจัดการทรัพยากร จากผลการศึกษา พบว่า การซ่อมบำรุงอย่างเป็นแบบแผนมากขึ้นทำให้ไม่มีงานคงค้าง และไม่พบเครื่องจักรหยุดทำงาน (กุณฑล บุตร และ ไชยะ, 2551) ได้ทำการวิจัยการพัฒนารูปแบบการจัดการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศเพื่อศึกษาสภาพทั่วไปทางด้านการจัดการบำรุงรักษา สร้างรูปแบบและหาประสิทธิภาพของรูปแบบการจัดการ โดยการวิเคราะห์ข้อมูล เวลาเฉลี่ยของการซ่อมแซม เวลาเฉลี่ยระหว่างเหตุขัดข้องและประสิทธิภาพความพร้อมใช้งาน ผลการวิจัย พบว่า การสร้างรูปแบบการจัดการบำรุงรักษาใหม่สามารถลดการขัดข้องของเครื่องปรับอากาศลงได้ส่งผลมีความพร้อมใช้งานของเครื่องปรับอากาศสูงขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย/ระเบียบวิธีวิจัย

กระบวนการดำเนินงาน และประยุกต์ใช้การจัดการงานวิศวกรรมเพื่อวิเคราะห์ข้อบกพร่องในการขัดข้องของเครื่องจักรและงานระบบ โดยสามารถดำเนินการตามขั้นตอน ดังภาพที่ 1

ภาพที่ 1 Flow Chart วิธีการดำเนินการ
ที่มา: จัดทำโดยผู้ศึกษา.

การศึกษาและเก็บข้อมูลของปัญหาข้อบกพร่องเครื่องจักรอุปกรณ์

จากการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลปัญหาข้อบกพร่องของงานระบบที่มีการแจ้งซ่อม

ทั้งหมด 7 ระบบ พบว่าข้อบกพร่องของระบบปรับอากาศส่งผลกระทบต่อการใช้งานของผู้เช่าพื้นที่อาคารอาจเกิดความเสี่ยงต่อชีวิตและทรัพย์สินสูงสุด 50.23% ซึ่งแสดงถึงความสำคัญของการแก้ไขและปรับปรุงปัญหาในระบบปรับอากาศเพื่อลดความเสี่ยง และประสิทธิภาพการใช้งานในอาคาร ดังภาพที่ 2

ระบบ		2565				รวม (ครั้ง)	เฉลี่ย (ครั้ง/เดือน)	เฉลี่ย (%)
1. ระบบลิฟท์และบันไดเลื่อน		3	4	2	3	12	3	1.82%
2. ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	2.1 หลอดไฟ	38	25	35	41	139	34.75	21.10%
	2.2 อื่นๆ	7	15	14	7	43	10.75	6.52%
3. ระบบเครื่องปรับอากาศ		89	76	85	81	331	82.75	50.23%
4. ระบบFire Alarm		2	3	1	2	8	2	1.21%
5. ระบบ Access Control		2	2	3	2	9	2.25	1.36%
6. ระบบ CCTV		2	2	2	2	8	2	1.21%
7. ระบบน้ำประปาภายในอาคาร		15	35	31	28	109	27.25	16.54%
รวม		158	162	173	166	659	164.75	100%

ภาพที่ 2 สรุปสถิติการแจ้งซ่อมของงานระบบ
ที่มา: จัดทำโดยผู้ศึกษา

จากการศึกษาปัญหางานแจ้งซ่อมในระบบปรับอากาศที่เกิดขึ้นทั้งหมดในเดือนมิถุนายน - กันยายน 2565 และได้นำข้อมูลปริมาณงานแจ้งซ่อมบันทึกทั้งหมดไว้วิเคราะห์โดยใช้เทคนิค FMEA มาทำการประเมินผลเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าดัชนีความเสี่ยงของข้อบกพร่องในระบบปรับอากาศสามารถ วิธีการคำนวณค่าดัชนีความเสี่ยงหรือ (Risk Priority Number: RPN) สามารถคิดค่า RPN ได้จากสมการค่าดัชนีความเสี่ยงของข้อบกพร่อง (สุทธิกาศนีย์ธร, 2560) ดังสมการที่ 1

สมการที่ 1 ค่าดัชนีความเสี่ยงของข้อบกพร่อง

RPN = (ความรุนแรง) × (ความถี่ของข้อบกพร่อง) × (ความสามารถในการตรวจพบ)

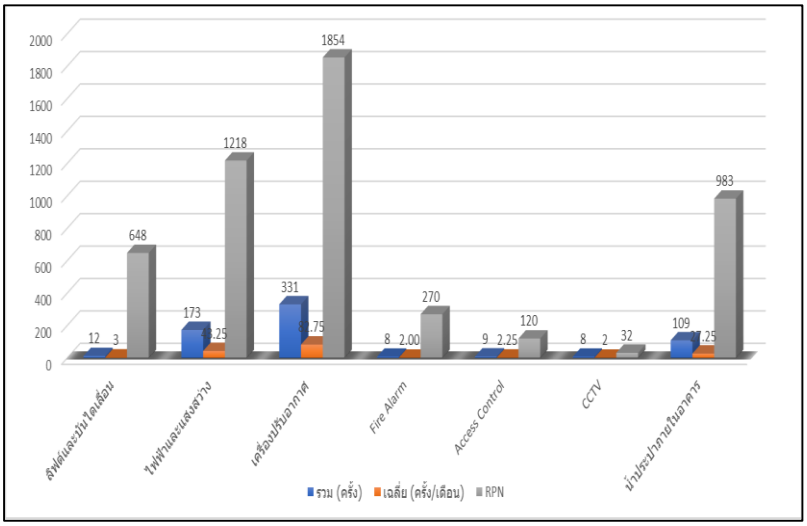
โดยที่: ความรุนแรง (Severity) เป็นการให้คะแนนความรุนแรงของข้อบกพร่อง โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนที่กำหนดเพื่อแสดงระดับความรุนแรงของปัญหา โดยคะแนนที่มากขึ้นแสดงถึงความรุนแรงที่สูงขึ้น

ความถี่ของข้อบกพร่อง (Occurrence) เป็นการให้คะแนนความถี่ของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นโดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนที่กำหนดเพื่อแสดงระดับความถี่ของปัญหา โดยคะแนนที่มากขึ้นแสดงถึงความถี่ที่สูงขึ้น

ความสามารถในการตรวจพบ (Detection) เป็นการให้คะแนนความสามารถในการตรวจพบข้อบกพร่อง โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนที่กำหนดเพื่อแสดงระดับความสามารถในการตรวจพบปัญหา โดยคะแนนที่น้อยลงแสดงถึงความสามารถในการตรวจพบที่ต่ำลง

การคำนวณค่า RPN จะช่วยให้เราระบุปัญหาที่มีความสำคัญและเสี่ยงสูงที่สุดในระบบปรับอากาศ เพื่อให้เราสามารถกำหนดแนวทางการแก้ไขและการบำรุงรักษาให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพเพื่อลดความเสี่ยงและประสิทธิผลในการใช้งานอาคารได้ (สุทธิกาศนีย์ธร, 2560)

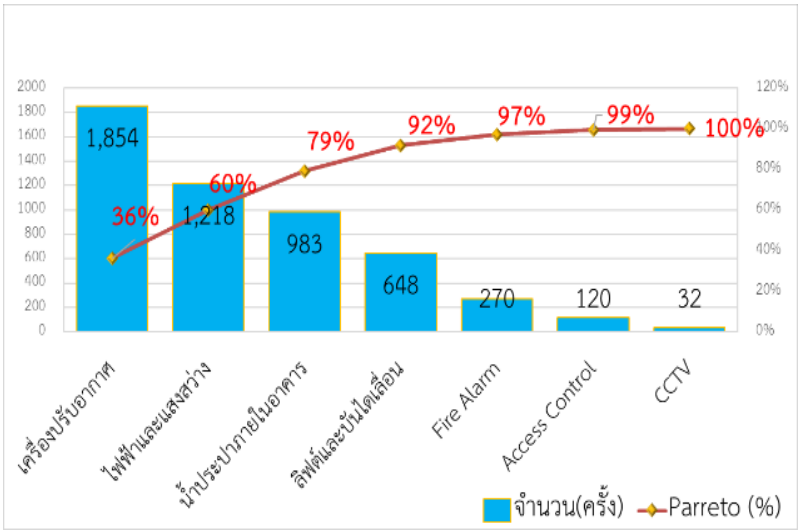
หลังจากได้ค่าดัชนีความเสี่ยง ผู้วิจัยได้นำข้อมูลข้อบกพร่องที่มีค่า RPN สูงที่สุดไปดำเนินการพิจารณากำหนดเกณฑ์ในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ค่าดัชนีความเสี่ยงของข้อบกพร่องแต่ละระบบ
ที่มา: จัดทำโดยผู้ศึกษา.

การวิเคราะห์ปัญหาสาเหตุของปัญหาแจ้งระบบปรับอากาศ

ผู้วิจัยได้พิจารณาค่าดัชนีความเสี่ยงของข้อบกพร่องหรือค่า RPN ทั้งหมดแล้วพบว่าข้อบกพร่องงานระบบปรับอากาศมีค่า RPN สูงที่สุดคือ 1,854 และปริมาณการแจ้งซ่อมระบบปรับอากาศอยู่ที่ 50.23% ของการแจ้งซ่อมทั้งหมด ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การวิเคราะห์ปัญหาการแจ้งซ่อมระบบ
ที่มา: จัดทำโดยผู้ศึกษา.

จากนั้นวิเคราะห์สาเหตุโดยใช้เทคนิค "Why-Why-Why Analysis" ซึ่งเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการหาสาเหตุเชิงรากฐานของปัญหา ซึ่งใช้การถามคำถาม "ทำไม (Why)" ต่อเนื่องกันเพื่อค้นหาสาเหตุหลักๆ ที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องหรือปัญหาในระบบปรับอากาศ โดยคำถามเหล่านี้จะช่วยในการระบุปัญหาหลักและพิจารณาสาเหตุที่อาจเกิดขึ้น และเมื่อค้นหาสาเหตุที่หลักแล้ว การทำแบบสอบถามเกี่ยวกับ "ทำไม (Why)" จะต้องดำเนินการเพื่อค้นหาสาเหตุย่อยที่ซ่อนอยู่ในสาเหตุหลัก เพื่อให้เราเข้าใจในรากฐานและแก้ไขปัญหาอย่างแท้จริง ดังภาพที่ 5

ระบบ	ปัญหา	ผลกระทบ	Why 1	Why 2	Why 3
1. ปรับอากาศ	1.1 Filter สกปรก	- แอร์ไม่เย็น อุณหภูมิสูง	- ปริมาณลมที่เครื่อง AHU น้อย	- มีฝุ่นและสิ่งสกปรกเข้ามายังห้อง AHU	- ขาดการดูและทำความสะอาดที่สม่ำเสมอ
	1.2 แรงลมหัวจ่ายในพื้นที่ไม่เหมาะสม	- แอร์ไม่เย็น อุณหภูมิสูง	- ปริมาณลมในพื้นที่สำนักงานน้อย	- การติดตั้งระบบท่อสงลมไม่ได้มาตรฐาน	- ไม่มีการปรับ Balance แรงลมตรามาตรฐาน
	1.3 อุณหภูมิน้ำเย็นไม่เหมาะสม	- แอร์ไม่เย็น อุณหภูมิสูง	- ไม่มีการตรวจสอบอุณหภูมิภายนอกและ Load การทำงานของเครื่อง Chiller	- ช่างที่ดูแลระบบขาดความรู้ความเข้าใจในการตรวจสอบและหำกับดูแล	-ขาดฝึกทักษะความรู้ในการตรวจสอบ
	1.4 อุณหภูมิลมกลับ Return Air ในห้องเหทาะสม	- แอร์ไม่เย็น อุณหภูมิสูง	- การติดตั้งระบบท่อสงลมกลับไม่ได้มาตรฐาน	- ช่างที่ติดตั้งไม่มีความชำนาญ	- คุณภาพของวัสดุ

ภาพที่ 5 การวิเคราะห์สาเหตุโดยใช้เทคนิค Why-Why-Why Analysis
ที่มา: จัดทำโดยผู้ศึกษา

เมื่อทราบถึงปัญหาและสาเหตุที่แท้จริงที่ส่งผลให้เกิดปัญหาในระบบปรับอากาศแล้ว สามารถระบุปัจจัยหลายๆ ปัจจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับปัญหาและปริมาณการแจ้งซ่อมที่สูงถึง 331 ครั้ง ได้ดังนี้

1) สาเหตุที่เกิดคราบสกปรกที่แผงทำความเย็นของเครื่อง AHU (Air Handling Unit) เนื่องจากการขาดการดูแลและบำรุงรักษาที่สม่ำเสมอ

2) พบว่าแรงลมที่หัวจ่ายในพื้นที่ไม่เหมาะสมอาจมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งและการทำการ Balance แรงลม และการปรับแรงลมตามมาตรฐานงานวิศวกรรม

3) สาเหตุที่อุณหภูมิน้ำเย็นในระบบไม่สัมพันธ์กับโหลดความร้อนที่ใช้งาน ต้องมีการปรับ Temperature Control Point ให้เหมาะสม ซึ่งเกิดจากการไม่นำค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประจำวันมาพิจารณาการปรับตั้งค่าควบคุมอุณหภูมิเครื่องทำความเย็น

4) สาเหตุที่อุณหภูมิของลมที่กลับไปยังห้อง AHU (Air Handling Unit) ไม่เพียงพอทำให้ Room Thermostat ไม่สามารถรับปริมาณลมกลับและอุณหภูมิลมกลับ (Air Return) ที่เหมาะสมได้

วิธีการแก้ปัญหา

หลังจากผู้วิจัยได้ระบุสาเหตุของปัญหาในระบบปรับอากาศและนำข้อมูลการวิเคราะห์ เพื่อพัฒนาและประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาและเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักรในการทำงาน ซึ่งต้องมีการแก้ไขปัญหาสาเหตุหลักของระบบปรับอากาศในด้านต่างๆ ดังนี้

1) การแก้ไขด้านการออกแบบระบบปรับอากาศ (Redesign): ปรับปรุงการออกแบบระบบปรับอากาศเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น อาทิเช่นการพิจารณาและปรับปรุงการกระจายลมในห้อง AHU เพื่อให้ลมที่เข้าสู่ห้องมีการกระจายที่สม่ำเสมอและเหมาะสม ซึ่งพิจารณาถึงความเหมาะสม ดังนี้

การออกแบบขนาดพื้นที่ใช้งานในระบบปรับอากาศควรคำนึงถึงภาระการทำความเย็นหรือ BTU (British Thermal Unit) ที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่นั้น ในการคำนวณ BTU (British Thermal Unit) ที่จำเป็นในการทำความเย็นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เพื่อความแม่นยำในการคำนวณ BTU/ตารางเมตรที่เหมาะสมในการปรับอากาศในห้อง ซึ่งควรพิจารณาใช้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากผู้ผลิตเครื่องปรับอากาศเพื่อคำนวณ BTU ที่เหมาะสมในแต่ละสถานที่ อุณหภูมิภายนอก อุณหภูมิที่ต้องการภายในห้อง การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและอุปกรณ์เสริมอื่น ๆ ที่อาจมีอยู่ในห้อง เป็นต้น

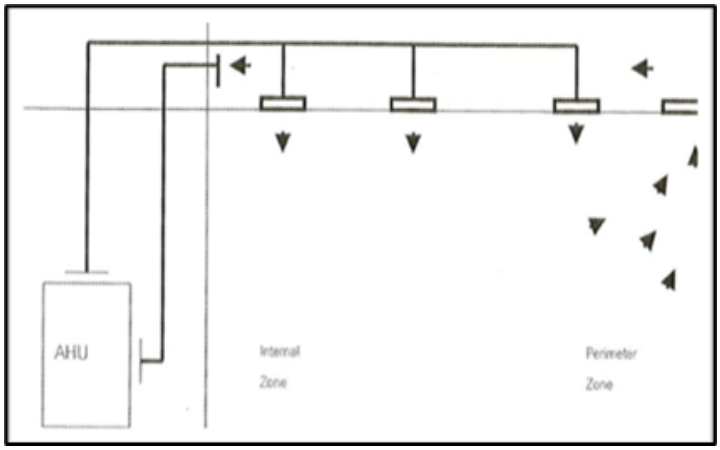
โดยทั่วไปแล้ว การคำนวณ BTU สำหรับห้องทำงานหรือสำนักงานสามารถใช้สูตรพื้นฐานดังสมการที่ 2

สมการที่ 2 วิธีคำนวณ BTU แอร์ ให้พอดีกับห้อง

BTU = พื้นที่ห้อง (ตารางเมตร) × พิกัดความร้อน (BTU/ตารางเมตร)

ที่มา: (บริษัท เอส ซี คูลลิ่ง เซ็นเตอร์, 2560)

โดยพิกัดความร้อน (BTU/ตารางเมตร) จะต่างกันไปตามเงื่อนไขและสถานะของห้อง ดังนั้น สำหรับห้องทำงานที่ไม่โดนแดด ค่าพิกัดความร้อนอาจอยู่ในช่วงประมาณ 850 BTU/ตารางเมตร และสำหรับห้องทำงานที่โดนแดด ค่าพิกัดความร้อนอาจอยู่ในช่วงประมาณ 900 BTU/ตารางเมตร และสำหรับห้องประชุมหรือห้องสัมมนาหรือห้องที่มีจำนวนคนต่อพื้นที่มากกว่าปกติ ค่าพิกัดความร้อนอาจต้องสูงขึ้น เช่น ระหว่าง 1,100 - 1,500 BTU/ตารางเมตร ขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนคนในห้อง อย่างไรก็ตามเพื่อความแม่นยำที่สูงขึ้นและการปรับอากาศที่เหมาะสม ควรพิจารณาเงื่อนไขที่ต้องการใช้งานเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและเชื่อถือได้สำหรับการคำนวณ BTU ที่เหมาะสมในแต่ละสถานที่เพื่อหลีกเลี่ยงการปิดกั้นช่องทางลมและเพิ่มการหมุนเวียนอากาศในพื้นที่เพื่อออกแบบหัวรับลมกลับ (Return Air Grille) เนื่องจากในอาคารที่ผู้ศึกษาได้เป็นระบบปรับอากาศแบบที่มีระบบลมกลับอยู่เหนือแผ่นฝ้า (Central Return Air) ที่ต้องดึงอากาศในพื้นที่ปรับอากาศกลับไปยังห้อง AHU เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchange) อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มการหมุนเวียนอากาศในพื้นที่ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบตำแหน่งหัวรับลมกลับออกแบบให้มีการดึงลมกลับอยู่ที่อยู่ภายในพื้นที่ (Internal Zone) จะส่งผลให้เกิดการลัดวงจรของอากาศได้ (Short Circuit) (ศิริทาวรจันทร์, 2544) ทำให้พื้นที่ในบริเวณด้านในสุดของพื้นที่ปรับอากาศมีปัญหาเรื่องการหมุนเวียนของอากาศเย็นได้ และความเร็วลมที่ผ่านเข้าหัวลมกลับควรอยู่ในช่วง 300 – 500 ฟุตต่อนาที พื้นที่ที่มีประสิทธิภาพของหัวลมกลับทั่วไปประมาณร้อยละ 75 ของขนาด Gril ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การลัดวงจรของอากาศได้ (Short Circuit)
ที่มา: (ศิริทาวรจันทร์, 2544)

ในการออกแบบระบบปรับอากาศตามมาตรฐานงานวิศวกรรมระบบปรับอากาศ เพื่อให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกสบายต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย เช่น อุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมตามมาตรฐานงานวิศวกรรมระบบปรับอากาศ, สภาวะอากาศที่ทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกสบายควรมีค่าอุณหภูมิที่ประมาณ 24ºC ± 2ºC และความชื้นที่ประมาณ 55% ± 5% ในการออกแบบระบบปรับอากาศตามมาตรฐานนี้ควรพิจารณาภาระความร้อนที่เกิดจากคน ภาระความร้อนที่เกิดจากไฟฟ้าแสงสว่าง และภาระความร้อนที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าในสำนักงานเพื่อให้ระบบปรับอากาศสามารถทำงานได้อย่างเหมาะสมและเพียงพอในการลดความร้อนในสถานที่ เมื่อคำนวณและประเมินภาระความร้อนที่เกิดจากแหล่งต่าง ๆ แล้วจะสามารถเลือกใช้ระบบปรับอากาศที่เหมาะสม เช่น เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller System) และระบบส่งลมเย็นแบบ AHU (Vertical Air Handling Unit) เพื่อให้สามารถลดความร้อนในสถานที่ให้ได้ตามค่าที่กำหนดในมาตรฐาน (สมาคมวิศกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย, 2558) และการออกแบบแรงลมหัวจ่ายลม Supply Air Griller ระบบปรับอากาศตามมาตรฐานงานวิศวกรรมระบบปรับอากาศเรื่องของการกระจายลมเย็นในพื้นที่จะต้องกำหนดอัตราการจ่ายลมเย็นต่อพื้นที่ได้จากการคำนวณภาระการทำความเย็น (Cooling Load Calculation) ซึ่งมีหลักเกณฑ์ คือ อัตราการจ่ายลมเย็นแต่ละพื้นที่จะขึ้นอยู่กับภาระความร้อนสัมผัส (Sensible Heat Load) โดยต้องคำนึงถึงอัตราการจ่ายแรงลมสูงสุดสำหรับหัวจ่ายแบบต่าง ๆ (ศิริทาวรจันทร์, 2544) ดังภาพที่ 7

ชนิดหัวจ่าย Outlet Type	ปริมาณลมจ่ายสูงสุดต่อหัวจ่าย 1หัว(CFM) ระดับความสูงฝ้า Ceiling Height ft.)					
	8	9	10	12	14	16
1. หัวจ่ายกลม (Square Ceiling Diffuser)	550	1300	2200	4000	6200	9300
- ชนิด 4 Cones	270	700	1300	2100	3300	5500
- ชนิด 3 Cones						
2. หัวจ่ายสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบไม่มีใบปรับลม (Square Ceiling Diffuser)	1100	1500	2000			
3. หัวจ่ายสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบธรรมดา (Square Ceiling Diffuser)	250	400	650	900	1400	1600

ภาพที่ 7 การกำหนดตำแหน่งหัวจ่ายและการเลือกชนิดหัวจ่าย
ที่มา: (ศิริทาวรจันทร์, 2544)

โดยใช้สมการที่กล่าวถึงต่อไปนี้เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณปริมาณลมที่หัวจ่ายได้จากพื้นที่หน้าตัดหัวจ่ายและค่าความเร็วของลมที่หัวจ่าย ซึ่งสามารถแปลงหน่วยได้ตามต้องการในสมการที่กำหนดดังนี้

Q คือ ปริมาณลมที่หัวจ่ายหน่วยเป็น CFM (Cubic Feet per Minute)

A คือ พื้นที่หน้าตัดหัวจ่ายหน่วยเป็นนิ้ว (Square Inches)

V คือ ค่าความเร็วลมที่หัวจ่ายหน่วยเป็น ft/min (Feet per Minute)

หากคุณมีข้อมูลพื้นที่หน้าตัดหัวจ่าย (A) และความเร็วลมที่หัวจ่าย (V) คุณสามารถคำนวณหาปริมาณลมที่หัวจ่ายได้ ดังสมการที่ 3. (บริษัท เอส ซี คูลลิ่ง เซ็นเตอร์, 2560)

$$Q = A \times V \qquad \text{สมการที่ 3}$$

ตัวอย่างการคำนวณ:หากมีพื้นที่หน้าตัดหัวจ่าย(A) = 100 นิ้ว² และความเร็วลมที่หัวจ่าย (V) = 200 ft/min

Q = 100 นิ้ว² × 200 ft/min = 20,000 CFM (Cubic Feet per Minute)

ดังนั้น ปริมาณลมที่หัวจ่ายในกรณีนี้คือ 20,000 CFM

2) การซ่อมบำรุงรักษาเครื่องเป่าลมเย็น

จากการวิเคราะห์ปัญหาทำให้ทราบว่าข้อบกพร่องของเครื่องจักรระบบปรับอากาศมีสาเหตุจากการขาดการดูและรักษาเครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอ เช่น ไม่มีการตรวจสอบสภาพฟิลเตอร์ต้องไม่ชำรุดและมีคราบสกปรก, ไม่มีการตรวจสอบความสะอาดบริเวณภายในห้อง AHU และตัวเครื่องมิให้มีสิ่งสกปรก ดังนั้นผู้ศึกษาจึงได้จัดทำมาตรการการดูแลบำรุงรักษาเครื่องจักร (Preventive Maintenance) ซึ่งมีขั้นตอนในการซ่อมบำรุงรักษา ดังนี้

1) ตรวจสอบและทำความสะอาดฟิลเตอร์อากาศ: ฟิลเตอร์อากาศช่วยกักฝุ่นและสิ่งสกปรกอื่น ๆ ที่อาจมีอยู่ในระบบ

2) ตรวจสอบและทำความสะอาดระบบท่อ: ตรวจสอบท่อที่เชื่อมต่อระหว่างเครื่องเป่าลม

เย็นและระบบท่ออากาศว่ามีรอยแตกหรือชำรุดที่อาจทำให้เกิดการรั่วไหลของลมเย็น

3) ตรวจสอบและทำความสะอาดระบบระบายความร้อน: ตรวจสอบระบบระบายความร้อนของเครื่องเป่าลมเย็น เช่น ทำความสะอาดที่อุปกรณ์ระบายความร้อน เพื่อให้การระบายความร้อนเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4) ตรวจสอบระบบไฟฟ้า: ตรวจสอบสายไฟและความปลอดภัยของระบบไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับเครื่องเป่าลมเย็น ตรวจสอบสายไฟที่ฉีกหรือเสื่อมสภาพและแก้ไขในทันที

5) ตรวจสอบและเติมสารทำความเย็น: ตรวจสอบระดับสารทำความเย็นในระบบเครื่องเป่าลมเย็น และเติมสารทำความเย็นเพิ่มเมื่อจำเป็น

6) ตรวจสอบและทำความสะอาดพื้นผิวภายนอก: ทำความสะอาดพื้นผิวภายนอกของเครื่องเป่าลมเย็นเพื่อลดความเสียหายจากสิ่งสกปรก และทำให้ระบบดูดซับความร้อนได้ดีขึ้น เพื่อเป็นการป้องกันข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นและส่งผลกระทบต่อการทำงาน ดังภาพที่ 8

MAINTENANCE REPORT

Mounthly Preventive

ENGINEERING DEPT. MONTH.....

AIR HANDLING UNIT.FLOOR 3 TIME.....

Time	Item	hance Des	Working Remark					Working Result	
			C	A	R	P	M	N	UN
Monthly	1	Cleaning Fin Coil							
	2	Cleaning Frame & Filter							
	3	Testing Control System							
		Cleaning							
		Fitting Over all inide panel control							
	4	Check temp. WaterIn							
	5	Check temp. Water out							
	6	Check two way valve							
	7	Cheak butterfly valve							
	8	Cheak blower cerrent (amp)							
	9	Cleaning drained pipe							
3 Month	10	Check bearing & belt							
	11	Check air volume							
	12	Painting all body							
6 month	13	Cleaning blower/pulley							
	14	Cleaning motor blower							
	15	Check rubber insulate							
	16	Painting overall							

N = Normal UN = Unnormal C = Cleaned A = Adjusted / Added R = Repaired P = Replaced

M = Measured Values

ภาพที่ 8 ตาราง Monthly Preventive Maintenance
ที่มา: จัดทำโดยผู้ศึกษา

3) การตั้งค่าอุณหภูมิ

กำหนดค่าอุณหภูมิที่ต้องการให้ระบบทำความเย็นหรือระบบควบคุมอุณหภูมิในอาคารหรืออุปกรณ์อื่น ๆ ทำงานที่ระดับที่เหมาะสมตามความต้องการของผู้ใช้หรือการทำงานของระบบนั้น ๆ การปรับตั้งค่าอุณหภูมิการทำน้ำเย็นที่เครื่องทำน้ำเย็น Chiller นอกจากจะเป็นการลดข้อร้องเรียนเกี่ยวกับอุณหภูมิที่สูงหรือต่ำกว่าค่ามาตรฐานความ

เย็นที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในอาคารแล้ว หากมีการปรับ Temperature Set Point ที่สอดคล้องกับค่าอุณหภูมิภายนอกที่มีผลต่อการทำความเย็นโดยตรง ยังเป็นผลดีในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่อง Chiller ได้เป็นอย่างดี ดังนั้นผู้ศึกษาจึงได้นำค่าการพยากรณ์สภาพอากาศในกรุงเทพมหานครมาเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาที่จะปรับตั้ง Temperature Set Point เครื่องทำน้ำเย็นเพื่อให้ได้อุณหภูมิความเย็นในพื้นที่ปรับอากาศประสิทธิภาพสูงสุด โดยค่ามาตรฐานที่ใช้ในการปรับ ได้แก่ ค่ามาตรฐานอุณหภูมิน้ำเย็นที่เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) แบ่งเป็นอุณหภูมิน้ำเย็น ดังนี้

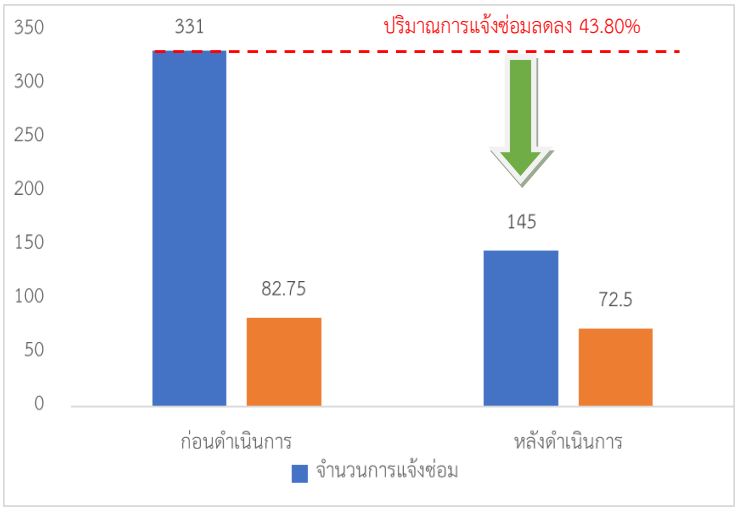
- มาตรฐานอุณหภูมิน้ำเย็นด้านออก (Chilled Water Supply) 16-8°C หรือ 42.8–46.4°F
- มาตรฐานอุณหภูมิน้ำเย็นด้านกลับ (Chilled Water Return) 10-13 °C หรือ 50–55.4 °F

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการดำเนินการตามทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและนำแนวทางมาตรฐานการออกแบบในด้านสถาปัตยกรรมและวิศวกรรมระบบปรับอากาศมาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาเรื่องระบบปรับอากาศ การจัดทำการซ่อมบำรุงรักษา ระบบปรับอากาศ และการตั้งค่าอุณหภูมิ พบว่า มีผลที่ดีตามที่คาดหวัง สามารถสรุปผลได้ ดังนี้

1) ก่อนการดำเนินการ: จำนวนการแจ้งซ่อมระบบปรับอากาศมีจำนวน 331 ครั้ง หรือคิดเป็นข้อบกพร่องเฉลี่ย 82.75 ต่อเดือน ซึ่งเป็นสัดส่วนของการแจ้งซ่อมอยู่ที่ 50.23%.

2) หลังการดำเนินการ: จำนวนการแจ้งซ่อมระบบปรับอากาศลดลงเป็น 145 ครั้ง หรือคิดเป็นข้อบกพร่องเฉลี่ย 72.5 ต่อเดือน และมีสัดส่วนปัญหาการแจ้งซ่อมระบบปรับอากาศก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงลดลงไปถึง 43.80% ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 เปรียบเทียบปริมาณงานแจ้งซ่อม (ก่อน -หลังปรับปรุง)
ที่มา: จัดทำโดยผู้ศึกษา

จากการวิเคราะห์และดำเนินการตามมาตรการที่กำหนดไว้ได้ว่าผลการดำเนินการเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้และได้ผลดีตามที่คาดหวัง โดยทำให้ปริมาณงานแจ้งซ่อมของระบบปรับอากาศลดลงไปถึง 20% หลังจากดำเนินการ และสามารถลดปริมาณงานแจ้งซ่อมของระบบปรับ

อากาศลงได้ถึง 43.80% ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ดีและเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้

อภิปรายผล

จากผลการศึกษาที่กล่าวมาข้างต้น เมื่อมีการจัดการบำรุงรักษาแบบเชิงป้องกันเครื่องจักรส่งลมเย็น AHU และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ การวัดความเปลี่ยนแปลงของปริมาณลมกลับ (Return) และปริมาณจ่ายลม (Supply Air Griller) รวมถึงการลดอุณหภูมิที่หัวจ่ายลมเย็นและอุณหภูมิในห้อง AHU ลงได้ 1.5 - 2.5°C พบว่าสมรรถนะของเครื่องจักรมีการบำรุงรักษาที่สม่ำเสมอ ทำให้ปริมาณการแจ้งซ่อมของเครื่องจักรลดลงจาก 331 ครั้ง เหลือ 145 ครั้ง โดยเฉลี่ยต่อเดือนลดลงจาก 82.75 ครั้ง เหลือโดยเฉลี่ยต่อเดือน 72.50 ครั้ง ซึ่งลดลงเป็น 43.08% ของปริมาณการแจ้งซ่อมเดิมที่มีอยู่ก่อนการดำเนินการ นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มอัตราการผลิตลมเย็นของเครื่องจักร AHU จาก 7,232 cfm เพิ่มขึ้นเป็น 9,315 cfm ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณลมที่ถูกผลิตขึ้นมาใช้งานได้อีก 29% ผลลัพธ์ที่ได้รับนี้ช่วยลดปริมาณการแจ้งซ่อมระบบปรับอากาศลงและเพิ่มปริมาณลมเย็นที่สามารถผลิตได้ ทำให้ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในการใช้งานมากขึ้น ซึ่งมีความสอดคล้องกับมาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศที่กล่าวถึงในรายงานของสมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทยและวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย, 2558) เป็นการระบุถึงความสำคัญของการปฏิบัติตามมาตรฐานและแนวทางการออกแบบระบบปรับอากาศที่เหมาะสม เพื่อให้การทำงานของระบบปรับอากาศมีประสิทธิภาพและมีความพึงพอใจในการใช้งานมากขึ้นจากผู้ใช้งาน ซึ่งจากการปฏิบัติตามมาตรฐานเรื่องความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบปรับอากาศ การคำนวณภาระการปรับอากาศ (Cooling Load Estimation Method) การออกแบบ (Design Condition) การระบายอากาศ (Ventilation) การตรวจสอบค่าอุณหภูมิน้ำเย็นเข้าและออกเป็นขั้นตอนสำคัญในการพัฒนาและดำเนินการระบบปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพ การปฏิบัติตามมาตรฐานเหล่านี้ช่วยให้ผู้ใช้งานได้รับประสบการณ์ที่ดีในการใช้งานระบบปรับอากาศและยังช่วยลดปริมาณการแจ้งซ่อมระบบปรับอากาศที่เกิดขึ้น ในกรณีที่ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจมากขึ้น อีกทั้งยังส่งผลให้ลูกค้ามีความพึงพอใจมากขึ้นในการใช้งานระบบปรับอากาศในอาคารสูง ดังนั้นผู้วิจัยได้ดำเนินการตามแผนการที่กำหนดไว้ในอนาคตเพื่อลดปริมาณการแจ้งซ่อมระบบปรับอากาศอีกเพิ่มขึ้น รวมถึงการเก็บข้อมูลการแจ้งซ่อมเพื่อใช้ในการวางแผนการปรับปรุงและซ่อมบำรุงต่อไป โดยเป้าหมายคือลดข้อร้องเรียนและปริมาณการแจ้งซ่อมระบบปรับอากาศในอาคารสูง

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้ ได้รวบรวมข้อมูลการขัดข้องของเครื่องจักรระบบปรับอากาศอาคารสูง ในกรณีศึกษาได้ดำเนินการเก็บบันทึกข้อมูลการแจ้งซ่อมงานระบบภายในอาคาร ตั้งแต่เดือนมิถุนายน – กันยาคม พ.ศ. 2565 จากปัญหาการแจ้งซ่อมทั้งหมด พบว่า ปัญหาการแจ้งซ่อมงานระบบปรับอากาศมีข้อบกพร่องสูงที่สุดมีจำนวน 331 ครั้ง คิดเป็นสัดส่วน 82.75% ของปัญหาทั้งหมดและได้จำแนกแบ่งปัญหาการขัดข้องได้ดังนี้

- การออกแบบงานระบบปรับอากาศไม่เหมาะและไม่ถูกต้องตามมาตรฐานวิศวกรรมงานระบบปรับอากาศทำให้กระทบการทำ ความเย็นในพื้นที่
- เครื่องจักรขาดการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรลดลง
- การควบคุมอุณหภูมิการทำความเย็นเครื่อง (Chiller) ที่ไม่มีการปรับค่า Temperature Set point ที่ไม่สอดคล้องกับการ เปลี่ยนแปลง

ของอุณหภูมิภายนอกตัวอาคารที่ผลต่อภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ

จากการวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุผู้ศึกษาได้สรุปปัญหาที่ได้รับแจ้งซ่อมงานระบบปรับอากาศในอาคารสูงปี 2565 พร้อมทั้งสาเหตุและการดำเนินแก้ไขแผนกซ่อมบำรุง ดังนี้

1). การออกแบบใหม่ (Re-design) สาเหตุเกิดได้จากการอกกแบบงานด้านสถาปัตยกรรมและการออกแบบงานวิศวกรรมระบบปรับอากาศได้แก้ไขโดยการพิจารณาแนวทางการออกแบบพื้นที่ลูกค้าที่มีการดำเนินการปรับปรุงพื้นที่รวมถึงมีการดำเนินการปรับปรุงการเพิ่มปริมาณลมกลับ Return Air ที่ส่งกลับไปยังห้อง AHU ของอุปกรณ์เครื่องส่งลมเย็น

2). การกำหนดแนวทางในการตรวจสอบบำรุงรักษา (Preventive Maintenance Air Handing Unit) ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพในการจ่ายลมเย็นลดลง เนื่องจากมีความสกปรกที่แผ่นกรองอากาศขณะเครื่องจักรทำงาน ซึ่งฝ่ายวิศวกรรมแก้ไขโดยการกำหนดระยะเวลาการตรวจสอบของอุปกรณ์เครื่องส่งลมเย็นและปกรณ์ควบคุมที่อุณหภูมิภายในห้อง AHU

3). การนำค่าพยากรณ์อากาศและค่าอุณหภูมิภายนอกตัวอาคารมาเป็นเกณฑ์ในการตั้งค่า (Temperature set point) น้ำเย็น ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิการทำน้ำเย็นให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานวิศวกรรมงานระบบปรับอากาศได้และส่งผลให้เครื่องจักรรับภาระการทำความเย็นที่ไม่เต็มประสิทธิภาพซึ่งฝ่ายวิศวกรรมได้แก้ไขโดยการนำพยากรณ์อุณหภูมิแบบรายเดือนมาเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาการปรับตั้งค่า (Temperature set point) ที่เครื่อง ผลิตน้ำเย็น (Chiller) ซึ่งเป็นต้นทางที่ควบคุมและรักษาระดับอุณหภูมิของน้ำเย็นในระบบปรับอากาศขณะเครื่องจักรทำงานและเปิดให้บริการลูกค้าในอาคาร

ข้อเสนอแนะ

การตรวจสอบและบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอของระบบปรับอากาศในอาคารมีประโยชน์หลายด้านที่เกี่ยวข้องกับประหยัดพลังงานและการออกแบบที่เหมาะสมตามมาตรฐานสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของระบบปรับอากาศทำให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและประ หยัดพลังงานมากขึ้นลดการสูญเสียพลังงานรักษาคุณภาพอากาศภายในอาคารซึ่งจะช่วยลดการสะ สมของฝุ่นละอองและสารตกค้างที่อาจมีผลกระทบต่อสุขภาพผู้ใช้งานในอาคาร อีกทั้งจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในระยะยาวสร้างความพึงพอใจให้กับผู้ใช้ งานอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้บริหารอาคารในกรณีศึกษาที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูลต่างๆ ในการศึกษาค้นคว้าวิจัยเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

Patchara Klinchuanchun, (23 October 2564). *แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี2566-2568*. August 18, 2565, http://www.krungsri.com. (krungsri)

มนตรี บุญมาก, พงศกร เอมจั่น, และณชา แย้มยงค์. (2560). *การวิเคราะห์หาแนวทางแก้ปัญหาในกระบวนการฉีดหลอดพลาสติกโดยใช้ทฤษฎีการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบด้านคุณภาพ FMEA* [ปริญญานิพนธ์] มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี.

วิทิต กมลรัตน์. (2552). *ศึกษาพฤติกรรมความปลอดภัยในการปฏิบัติงานของพนักงานฝ่ายปฏิบัติการ บริษัท อดิตยา เบอร์ล่า เคมีคัล (ประเทศไทย)จำกัด (ฟอสเฟตดีวิชั่น),* [สารนิพนธ์] สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

พงศกร ลักขกูล, และจารุวรรณ เกษมทรัพย์. (2559). *การวิเคราะห์ความเสี่ยงของการก่อสร้างอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร.* การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ ราชภัฏวิจัยครั้งที่ 4 กลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (น. 460-541). กรุงเทพมหานคร.

จาตุรงค์ ธนานนทศรี, และศุภรัชชัย วรรัตน์. (2563). *การบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงงานระบบวิศวกรรมประกอบอาคารของอาคารสำนักงาน กรณีศึกษาอาคารสำนักงานใหญ่บริษัทกลางคุ้มครองผู้ประสบภัยจากรถ จำกัด.* [ปริญญานิพนธ์] มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.

ปรุงศักดิ์ อัตพุฒ, ชวงโชติ พันธุเวช, สมพร ไชยะ, เปรื่อง กิจรัตนภร และจิตราภา กุณฑลบุตร. (2551). การพัฒนารูปแบบการจัดการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ, *วารสารวิชาการ ม.อบ, 10*(1), 42

ยศวีร์ สุทธิกาศนีย์ธร**.** (2560). *การลดของเสียในสายการผลิตการขึ้นรูปแบบฉีดเป่าและเอ็กซ์ทรูชั่นของกระบวนการผลิตขวดน้ำเกลือ.* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท วิศกรรมศาสตรมหาบัณฑิต] มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

บริษัท เอส ซี คูลลิ่งเซ็นเตอร์. (2560). *วิธีคำนวณ BTU ที่เหมาะสม*, 9 November 2565, https://www.teddyairaircond.com.

สุชาติ ศิริทาวรจันทร์. (2544). การออกแบบการกระจายลมเย็นในระบบปรับอากาศ, *สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย* (6), 52-57.

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูถัมภ์ สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย. (2558). *ภาระความร้อนในอาคาร.* ร่างมาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ.