



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ“การวิจัยและพัฒนาและการศึกษาเปรียบเทียบระบบหมุนเวียนและระบายอากาศ
ประสิทธิภาพพลังงานสูงเพื่อสร้างคุณภาพอากาศและสภาพสบายเชิงอุณหภูมิภายในอาคาร”

สัญญาเลขที่ RDG57D0005

โดย

ศาสตราจารย์ ดร.สุรพงศ์ จิระรัตนานนท์ และคณะ

8 มิถุนายน 2563

สัญญาเลขที่ RDG57D0005

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ“การวิจัยและพัฒนาและการศึกษาเปรียบเทียบระบบหมุนเวียนและระบายอากาศประสิทธิภาพพลังงาน
สูงเพื่อสร้างคุณภาพอากาศและสภาพสบายเชิงอุณหภูมิภายในอาคาร”

(Research and Development and Comparative Studies of Energy Efficient Air Circulation and
Ventilation Systems for Indoor Air)

คณะผู้วิจัย	สังกัด
ศ.ดร. สุรพงศ์ จิระรัตนานนท์	บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มจร.
ผศ.ดร. พัฒนะ รักความสุข	คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มจร.
ผศ.ดร.พิพัฒน์ ชัยวิวัฒน์วรกุล	บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มจร.
ดร.ประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มจร.
รศ.ดร.อดิศักดิ์ นาถกรณกุล	คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มจร.
ผศ.ดร.กุสภานา ภูบาฮา	คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มจร.
ดร.สุรภูมิ ช่างโชติ	บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มจร.

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทคัดย่อ

อาคารพาณิชย์และอาคารสาธารณะที่มีการปรับอากาศยังให้ความสำคัญกับการระบายอากาศ และคุณภาพของอากาศในอาคารไม่มากเท่าที่ควร การปิดระบบระบายอากาศถูกใช้เป็นวิธีหนึ่งในการลดภาระการปรับอากาศและการใช้พลังงานของอาคาร ทำให้อากาศมีคุณภาพไม่ดี ส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้ที่อยู่ในอาคาร

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะวิเคราะห์รูปแบบของระบบระบายอากาศที่เหมาะสมกับอาคารในภูมิภาคแบบร้อนชื้นของประเทศไทย การศึกษาประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก โดยในส่วนแรกเป็นการสำรวจคุณภาพของอากาศในบริเวณต่างๆของอาคารพาณิชย์และอาคารสาธารณะ 5 ประเภท ได้แก่ สถานศึกษา ห้างสรรพสินค้า โรงแรม โรงพยาบาล และสำนักงาน จำนวนประเภทละ 3 อาคาร รวมทั้งสิ้น 15 อาคาร 328 พื้นที่

การศึกษาในส่วนที่สองเป็นการจำลองสภาพ (simulation) โดยใช้โปรแกรม TRNSYS เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานและประสิทธิภาพด้านการสร้างสภาพสบายเชิงอุณหภูมิ (thermal comfort) ของระบบการเติมอากาศแบบอิสระ (dedicated outdoor air system, DOAS) จำนวน 5 ประเภท ที่ทำงานร่วมกับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (central air-conditioning system)

การสำรวจคุณภาพอากาศในอาคารพาณิชย์ส่วนใหญ่พบว่า การปิดระบบระบายอากาศและการรั่วไหลของอากาศที่ไม่ผ่านระบบเติมอากาศอย่างเหมาะสม ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านคุณภาพอากาศ อาทิ การสะสมของปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ฝุ่นขนาดใหญ่ (PM10) และฝุ่นขนาดเล็ก (PM2.5) เป็นต้น หากพิจารณาในแต่ละพื้นที่แล้วพบว่า มีพื้นที่ที่มีปัญหาทางคุณภาพอากาศภายในอาคารอย่างน้อย 1 ปัญหา คิดเป็นจำนวน 68% ของพื้นที่ที่มีปัญหาคุณภาพอากาศในอาคารทั้งหมด ขณะที่พื้นที่ที่มีปัญหาอย่างน้อย 2 และ 3 ปัญหา คิดเป็นจำนวน 28% และ 3% ตามลำดับ จากพื้นที่ทั้งหมดมี 35.1% ที่มีปัญหาฝุ่นขนาดใหญ่ (PM10) สูงเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ของกรมอนามัย รองลงมาคือ CO₂ ฝุ่นขนาดเล็ก (PM2.5) และ formaldehyde ที่พบว่ามีค่าเกินกว่าค่าที่แนะนำของกรมอนามัย เป็นจำนวน 23.8% 8.8% และ 8.5% ตามลำดับ

ผลการศึกษาในส่วนที่สอง พบว่าระบบปรับอากาศที่มีการติดตั้งเครื่องเติมอากาศแบบอิสระเพื่อใช้ในการระบายอากาศของอาคาร สามารถควบคุมสภาวะอากาศภายในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ และได้อากาศระบายในอาคารมีเพียงพอสำหรับคุณภาพอากาศที่ดี ผลจากการจำลองแสดงให้เห็นว่าระบบเติมอากาศแบบอิสระทุกรูปแบบสามารถควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในอาคารได้ตามที่กำหนดไว้ 25°C โดยความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ใกล้เคียงร้อยละ 50 เป็นไปตามมาตรฐานระบบปรับอากาศและระบบอากาศของประเทศไทยและของสากล

ถึงแม้การใช้เครื่องเติมอากาศแบบอิสระจะต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มขึ้น แต่อุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้นรับภาระความร้อนแฝง (และบางส่วนของความร้อนสัมผัส) ทำให้ภาระ(ความร้อนสัมผัส) ของเครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่น้อยลง และสามารถใช้น้ำขนาดเล็กลง การลงทุนในส่วนนี้ลดลง ถ้าหากพิจารณาเลือกใช้เครื่องเติมอากาศแบบอิสระประกอบกับเครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่ตั้งแต่แรกในการเลือกระบบปรับอากาศ ราคาของระบบทั้งหมดอาจสูงกว่าระบบปรับอากาศแบบปกติเพียง 5 – 15% แต่มูลค่าของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลงได้ระหว่าง 10 – 20% ทำให้มูลค่ารวมทั้งหมดน้อย

ผลการจำลองการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศเมื่อมีการปรับเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น 1°C จาก 25°C เป็น 26°C พบว่าระบบปรับอากาศปกติมีการใช้พลังงานลดลงร้อยละ 6-7 สำหรับอาคารตัวอย่าง อย่างไรก็ตาม การปรับเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ความชื้นของอากาศในอาคารเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งกระทบต่อความสบายของผู้อยู่ในอาคาร ในกรณีของระบบเติมอากาศแบบอิสระที่มีเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงาน การปรับเพิ่มอุณหภูมิช่วยลดการใช้พลังงานลดได้ร้อยละ 1-4 โดยที่ความชื้นของอากาศในอาคารยังคงสามารถควบคุมในระดับที่ใกล้เคียงเดิมที่ร้อยละ 50-55

คำสำคัญ การปรับอากาศ การระบายอากาศ เครื่องเติมอากาศ สภาพสบายเชิงอุณหภูมิ คุณภาพอากาศภายในอาคาร ประสิทธิภาพพลังงาน โปรแกรม TRNSYS

Abstract

Commercial buildings and public buildings that are air-conditioned have not paid much attention to air ventilation and indoor air quality (IAQ). Closing ventilation systems was perceived as a method of a reduction of air-conditioning loads and building energy consumption. Consequently, the IAQ tends to be poor, affecting human health residing in a building.

This research aims at analyzing appropriate air ventilation systems that suit buildings located in a hot and humid climate such as Thailand. The study consisted of two main parts. The first paid attention to a survey of the IAQ in various indoor areas of five categories of commercials and public buildings, including academic institutions, retail stores, hotels, hospitals, and office buildings. The surveys were conducted for three of each, with a total of 328 areas of 15 buildings.

The second part of the study emphasized on using the TRNSYS software to simulate and compare energy consumption and effectiveness for indoor air quality of five types of dedicated outdoor air systems (DOAS) co-installed in central air-conditioning systems.

The survey of the IAQ showed that most commercial buildings neglected their ventilation systems. Leakage air circulated in buildings without proper treatment of outdoor air units. That affected the IAQ, especially on the accumulation of carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂), PM₁₀, PM_{2.5}, etc. When probing on particular areas in buildings, the surveys showed that 68 percent of the total posed at least one problem of the IAQ while 28% and 3% of the total posed at least two and three IAQ problems, respectively. The survey also showed that 35.1 percent of the surveyed area had a concentration of PM₁₀ higher than the guidance of the Royal Thai Department of Health. The CO₂, PM_{2.5}, and formaldehyde also exceeded the limit at 23.8%, 8.8%, and 8.5%, respectively.

The second part of the study demonstrated that air-conditioning systems equipped with the DOAS for air ventilation could efficiently control the condition of the indoor air and sufficiently provide a building with good IAQ. Simulation results showed that the DOAS could maintain space temperature at the set point of 25°C. At the same time, relative humidity was around 50% complying with the Thailand and international standards for the indoor air-conditioning.

Even though the use of the DOAS requires additional pieces of equipment, they could effectively handle latent loads and part of sensible loads. That results in smaller air handling units as well as an investment. Considering the cost-effectiveness of the investment on the DOAS, the total cost of a whole air-conditioning system could be 5-15% higher, but its energy cost would reduce by 10-20%. As such, a net present value is lower.

When increasing the temperature by 1°C from the set point of 25°C , the simulations showed that the energy consumption of an air-conditioning system without the DOAS would be lower around 6-7%. However, the increased temperature setpoint affects the increase of the relative humidity. As a result, the degree of human thermal comfort is lower. For the system with the DOAS, the 1°C -increase of the temperature would reduce the energy consumption by 1-4% but maintain the relative humidity at the standard level at 50-55%.

Keywords: air conditioning, air ventilation, dedicated outdoor air system, DOAS, thermal comfort, indoor air quality, IAQ, energy efficiency, TRNSYS

บทสรุปผู้บริหาร (Executive summary)

ในปัจจุบัน อาคารพาณิชย์และอาคารสาธารณะที่มีการปรับอากาศยังให้ความสำคัญกับการระบายอากาศ และคุณภาพของอากาศในอาคารไม่มากเท่าที่ควร การปิดระบบระบายอากาศถูกใช้เป็นวิธีหนึ่งในการลดภาระการปรับอากาศและการใช้พลังงานของอาคาร ทำให้อากาศมีคุณภาพไม่ดี ส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้ที่อยู่ในอาคาร

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะวิเคราะห์รูปแบบของระบบระบายอากาศที่เหมาะสมกับอาคารในภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย การศึกษาประกอบด้วยการสำรวจคุณภาพของอากาศในบริเวณต่างๆของอาคารพาณิชย์และอาคารสาธารณะ 5 ประเภท ได้แก่ สถานศึกษา ห้างสรรพสินค้า โรงแรม โรงพยาบาล และสำนักงาน จำนวนประเภทละ 3 อาคาร รวมทั้งสิ้น 15 อาคาร 328 พื้นที่ ทั้งอาคารที่มีการใช้ระบบปรับอากาศแบบส่วนกลาง (central air conditioning system) และแบบแยกส่วน (split type) ผลการสำรวจอาคารจะแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของคุณภาพอากาศกับจำนวนคนและกิจกรรมที่เกิดขึ้นในอาคาร พร้อมกับการสรุปข้อปัญหาที่เกี่ยวกับคุณภาพอากาศภายในอาคารรวมถึงผลกระทบที่มีต่อการใช้พลังงานของอาคาร นอกจากนี้จะมีการทบทวนผลการศึกษาด้านการพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ สำหรับการระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพทั้งในประเทศและต่างประเทศแล้วนำมาสร้างเป็นแบบจำลองโดยโปรแกรม TRNSYS เพื่อประเมินประสิทธิภาพและการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศและระบบระบายอากาศเมื่อทำงานภายใต้ภูมิอากาศแบบร้อนชื้นพร้อมกับประเมินค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (Life cycle cost) เพื่อใช้พิจารณารูปแบบที่เหมาะสมของระบบระบายอากาศ

จากการสำรวจวัดคุณภาพอากาศสำหรับกรณีอาคารใช้ระบบปรับอากาศแบบส่วนกลาง ในทางปฏิบัติพบว่าถึงแม้มีการออกแบบและติดตั้งระบบปรับอากาศแบบส่วนกลางอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ แต่ผู้ดูแลระบบปรับอากาศในอาคารส่วนมากมักปิดพัดลมที่ดึงอากาศที่เป็นอากาศระบาย (ventilation air) จากภายนอกเข้าสู่อาคารด้วยความเชื่อว่าถ้าให้อากาศระบายผ่านเครื่องปรับอากาศ (air-handling unit) จะสร้างภาระการปรับอากาศมาก และเชื่อว่าอากาศรั่วที่เกิดอยู่แล้วมีปริมาณเพียงพอ แต่ในความเป็นจริงการปิดพัดลมนั้นทำให้ความดันอากาศในอาคารน้อยกว่าความดันอากาศรอบอาคาร อากาศภายนอกไหลเข้าสู่ภายในอาคารจากบริเวณที่ไม่ได้ออกแบบไว้ ในปริมาณที่ไม่ได้ควบคุม และไม่ผ่านระบบทำความสะอาด ในบางกรณีอากาศจากบริเวณจอดรถไหลเข้าสู่อาคารทำให้อากาศที่มีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ปนอยู่ไหลเข้าภายใน ในกรณีส่วนใหญ่ที่อากาศไหลเข้าจากบริเวณภายนอกที่อากาศมีคุณภาพดี ปริมาณอากาศที่ไหลเข้ามีมากสามารถเจือจางก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จนอากาศภายในมีระดับของ CO₂ ตกอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานหรือดีกว่า ถึงแม้ว่าอากาศที่ไหลเข้าจะมีก๊าซไม่พึงประสงค์ปนอยู่น้อยแต่ก็มักจะมีฝุ่นปนอยู่ นอกจากนั้นในบริเวณที่อากาศไหลเข้า อุณหภูมิและความชื้นมักสูงกว่าบริเวณอื่น

ในกรณีที่อาคารใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ผู้อยู่อาศัยมักไม่เปิดพัดลมดูดอากาศ ดังนั้นมักมี CO₂ สะสมจนเกินระดับมาตรฐานโดยเฉพาะในกรณีที่ผู้ใช้พื้นที่หนาแน่น แต่การใช้พัดลมดูดอากาศในกรณีเช่นนี้ถึงแม้จะลดปัญหาการสะสมของ CO₂ แต่ปริมาณอากาศระบายมักจะเกินความต้องการและทำให้ใช้พลังงานมากเกินความจำเป็น

ในแง่ปัญหาคุณภาพอากาศที่ตรวจพบ หากพิจารณาในแต่ละพื้นที่แล้วพบว่า มีพื้นที่ที่มีปัญหาทางคุณภาพอากาศภายในอาคารอย่างน้อย 1 ปัญหา คิดเป็นจำนวน 68% ของพื้นที่ที่มีปัญหาคุณภาพอากาศในอาคารทั้งหมด ขณะที่พื้นที่ที่มีปัญหาอย่างน้อย 2 และ 3 ปัญหาคิดเป็นจำนวน 28% และ 3% ตามลำดับ จากพื้นที่ทั้งหมดมี 35.1% ที่มีปัญหาฝุ่นขนาดใหญ่ (PM10) สูงเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ของกรมอนามัย รองลงมาคือ CO₂ ฝุ่นขนาดเล็ก (PM2.5) และ formaldehyde ที่พบว่ามีค่าเกินกว่าค่าที่แนะนำของกรมอนามัย เป็นจำนวน 23.8% 8.8% และ 8.5% ตามลำดับ ฝุ่นขนาดใหญ่ที่พบส่วนหนึ่งเกิดจากอากาศรั่วที่ไหลเข้าสู่อาคาร

สำหรับการสำรวจความสบายในอาคารทั้งหมดนั้น พบว่าอาคารส่วนใหญ่มีปัญหาทางด้านอุณหภูมิมากที่สุด โดยมีค่าอุณหภูมิต่ำกว่าเกณฑ์ที่แนะนำเป็นจำนวน 59% ของพื้นที่สำรวจทั้งหมด รองลงมาคือ การเคลื่อนที่ของอากาศ(น้อยเกินไป) และความชื้นสูงเกินไป คิดเป็น 54% และ 14% ตามลำดับ จากผลการสำรวจมีพื้นที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 60% น้อยมากและกล่าวได้ว่าไม่มีที่ใดมีความชื้นสัมพัทธ์ระดับ 50% เนื่องจากระบบปรับอากาศทั้งหมดที่พบไม่ใช้ระบบเติมอากาศภายนอกอย่างอิสระ

การสำรวจความสบายเชิงคุณภาพของคนไทยจำนวน 175 คนที่ทำงานอยู่ในอาคารปรับอากาศ การสำรวจประกอบด้วยการสอบถามความรู้สึกของผู้ถูกสัมภาษณ์และการตรวจวัดสถานะอากาศโดยรอบ ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในอาคาร ความเร็วลม อุณหภูมิโกลบ ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

- อุณหภูมิโอเปอเรทีฟสำหรับความรู้สึกสบายที่ภาวะสมดุลความร้อนของร่างกาย (ไม่รู้สึกร้อนหรือเย็น) เท่ากับ 26°C
- ความพึงพอใจของคนต่อการไหลหรือความเร็วลมของอากาศภายในห้องพบว่าสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศในห้อง โดยเมื่ออุณหภูมิอากาศสูงขึ้นคนยอมรับพึงพอใจที่จะมีลมผ่านตัวมากขึ้น

การศึกษาการปรับอากาศด้วยการใช้ระบบเติมอากาศแบบอิสระ (Dedicated outdoor air system) ประกอบกับระบบระบายความร้อนสัมผัสเพื่อวิเคราะห์รูปแบบของระบบที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานกับอาคารสามประเภทคือ อาคารสำนักงาน โรงแรม และสรรพสินค้า ภายใต้ภูมิอากาศแบบร้อนและชื้นของประเทศไทย ใช้วิธีการจำลองสภาพการทำงานของระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ TRNSYS ผลจากการศึกษาสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

ระบบปรับอากาศแบบปกติซึ่งอาศัยเครื่องส่งลมเย็นจัดการทั้งภาระความร้อนสัมผัส ความร้อนแฝง และการเติมอากาศบริสุทธิ์ ไม่สามารถควบคุมสภาวะของอากาศในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ อากาศภายในอาคารจึงมีความชื้นค่อนข้างสูง (55-70%) ระบบปรับอากาศแบบปกติที่ใช้กันในประเทศไทยที่กำหนดเป็นกรณีอ้างอิงนี้ใช้พลังงานสูง

ระบบปรับอากาศที่มีการติดตั้งเครื่องเติมอากาศแบบอิสระเพื่อใช้ในการระบายอากาศของอาคาร สามารถควบคุมสภาวะอากาศภายในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ และได้อากาศระบายในอาคารมีอย่างเพียงพอสำหรับคุณภาพอากาศที่ดี ผลจากการจำลองแสดงให้เห็นว่าระบบเติมอากาศแบบอิสระทุกรูปแบบสามารถควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในอาคารได้ตามที่กำหนดไว้ 25°C โดยความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ใกล้เคียงร้อยละ 50 เป็นไปตามมาตรฐานระบบปรับอากาศและระบบอากาศของประเทศไทยและของสากล

เครื่องเติมอากาศแบบอิสระสามารถประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์เพื่อควบคุมความชื้นและอุปกรณ์เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและลดการใช้พลังงาน เช่น รันอะราวคอยล์ (runaround coil) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัส (แบบหมุนหรือแบบฮีตไปป์) เครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน โดยในการศึกษานี้ พิจารณาเครื่องเติมอากาศแบบอิสระ 5 รูปแบบเรียงจากจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบจากน้อยไปหามาก คือ

- รูปแบบที่ 1: เครื่องเติมอากาศที่มีเฉพาะคอยล์เย็น
- รูปแบบที่ 2: เครื่องเติมอากาศที่ใช้คอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวคอยล์
- รูปแบบที่ 3: เครื่องเติมอากาศที่ใช้คอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน (Enthalpy wheel)
- รูปแบบที่ 4: เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 3 ใช้ร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัส (Sensible wheel)
- รูปแบบที่ 5: เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 ใช้ร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน (Enthalpy wheel)

ถึงแม้การใช้เครื่องเติมอากาศแบบอิสระจะต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มขึ้น แต่อุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้นรับภาระความร้อนแฝง (และบางส่วนของความร้อนสัมผัส) ทำให้ภาระ(ความร้อนสัมผัส) ของเครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่น้อยลง และสามารถใช้น้ำขนาดเล็กลง การลงทุนในส่วนนี้ลดลง ถ้าหากพิจารณาเลือกใช้เครื่องเติมอากาศแบบอิสระประกอบกับเครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่ตั้งแต่แรกในการเลือกระบบปรับอากาศ ราคาของระบบทั้งหมดอาจสูงกว่าระบบปรับอากาศแบบปกติเพียง 5 – 15% แต่มูลค่าของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลงได้ระหว่าง 10 – 20% ทำให้มูลค่ารวมทั้งหมดน้อยกว่า โดยระบบเติมอากาศแบบอิสระรูปแบบที่ซับซ้อนขึ้นเช่นแบบที่ 4 และที่ 5 ให้ผลการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นดีกว่าละอุนค่ากว่า

อย่างไรก็ตามรูปแบบของระบบเติมอากาศแบบอิสระแบบที่ 3-5 ที่ใช้วงล้อแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัส และ/หรือพลังงาน ทำให่วงล้อแลกเปลี่ยนสัมผัสกับอากาศทิ้ง (exhaust air) ซึ่งในบางสถานที่เช่นโรงพยาบาล การใช้อุปกรณ์เช่นนี้มีความเสี่ยงต่อการแพร่เชื้อโรคบางชนิด ดังนั้นน่าจะมีการวิจัยเพื่อหารูปแบบ หรืออุปกรณ์ที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่เชื้อโรคน้อย

ผลการจำลองการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศเมื่อมีการปรับเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น 1°C จาก 25°C เป็น 26°C พบว่าระบบปรับอากาศปกติมีการใช้พลังงานลดลงร้อยละ 6-7 สำหรับอาคารตัวอย่าง อย่างไรก็ตาม การปรับเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ความชื้นของอากาศในอาคารเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งกระทบต่อความสบายของผู้อยู่ในอาคาร ในกรณีของระบบเติมอากาศแบบอิสระที่มีเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงาน การปรับเพิ่มอุณหภูมิช่วยลดการใช้พลังงานลดได้ร้อยละ 1-4 โดยที่ความชื้นของอากาศในอาคารยังคงสามารถควบคุมในระดับที่ใกล้เคียงเดิมที่ร้อยละ 50-55 ปริมาณพลังงานในการปรับอากาศที่ลดลงจากการเพิ่มอุณหภูมิภายในบริเวณปรับอากาศจะมีผลมากสำหรับอาคารที่มีกรอบอาคารที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมสูง

จากที่ได้บรรยายในข้างต้นผลที่สรุปได้คือการที่อาคารระงับการนำอากาศบริสุทธิ์เป็นอากาศระบายในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ หรือการใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนมีผลให้คุณภาพอากาศในอาคารไม่ได้ระดับมาตรฐาน และไม่อำนวยให้เกิดความสบายเชิงอุณหภูมิ ในแนวตรงกันข้ามการใช้เครื่องเติมอากาศแบบอิสระที่เหมาะสมร่วมกับการใช้เครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่สามารถเอื้อให้ได้คุณภาพอากาศที่ดีในอาคาร ประหยัดพลังงาน และมีความคุ้มค่า

ข้อเสนอแนะสืบเนื่องจากข้อสรุปที่ได้มีดังนี้

- 1) ควรมีการรณรงค์ให้เกิดความเข้าใจถูกต้องร่วมกันว่าการระงับการนำอากาศบริสุทธิ์เป็นอากาศระบายในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ หรือการใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ไม่ได้มีการระบายอากาศ มีผลให้อากาศไม่ได้คุณภาพมาตรฐาน และไม่ได้สภาพความสบายเชิงอุณหภูมิ ดังนั้นในกรณีที่อาคารใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ควรต้องบำรุงรักษาและนำระบบระบายอากาศมาใช้งาน ส่วนอาคารที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนควรเปิดใช้พัดลมระบายอากาศถ้ามีผู้ใช้พื้นที่หนาแน่น
- 2) การศึกษาในโครงการนี้พบว่าอาคารจำนวนมากพึ่งอากาศที่รั่วไหลเข้าสู่อาคารเป็นอากาศระบายแต่ไม่ทราบปริมาณอากาศที่รั่วนั้น ดังนั้นควรมีการศึกษาโดยการวัดด้วยเครื่องมือประกอบการคำนวณ เพื่อให้ทราบปริมาณอากาศรั่วในกรณีต่างๆเช่นกรณีเปิดประตูทิ้งไว้นาน 5 นาทีในสถานะหนึ่ง กรณีการใช้ประตูหมุน (revolving door) เป็นต้น
- 3) ควรส่งเสริมการใช้ระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องเติมอากาศแบบอิสระจัดการการระบายอากาศของอาคารและใช้เครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่จัดการภาระความร้อน แต่ระบบเช่นนี้ยังไม่เป็นที่รู้จักกันดีในประเทศไทย ดังนั้นควรจะมีการออกแบบและติดตั้งเครื่องเติมอากาศแบบอิสระสาธิตที่มีมิเตอร์และ

ระบบเก็บข้อมูลอัตโนมัติเพื่อการสาธิตและเผยแพร่เทคโนโลยี ควรมีการศึกษากลไกการทำงานอย่างละเอียดเพื่อให้ทราบกลไกการทำงานพื้นฐาน (เช่น ศักยภาพการอนุพันธ์ถ่ายเทความร้อนและมวล ประกอบกับผลการเปลี่ยนอากาศในบริเวณปรับอากาศอย่างพลวัต)

- 4) เครื่องเติมอากาศแบบอิสระที่ใช้เครื่องเติมอากาศจัดการการระบายอากาศที่ศึกษาในโครงการนี้ใช้คอยล์เย็นที่ใช้น้ำค่อนข้างเย็นมาก (ถึง 7°C) ประกอบกับการใช้วงล้อแลกเปลี่ยนพลังงานในการลดความชื้นอากาศ ระบบนี้ใช้อากาศทั้งแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นกับอากาศที่นำเข้า กลไกนี้อาจก่อให้เกิดการแพร่ของเชื้อที่มากับอากาศ ควรมีการวิจัยและพัฒนากระบวนการลดความชื้นแบบอื่นเช่นระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้าที่ช่วยร่วมกับการใช้สารดูดความชื้นในการลดความชื้นอากาศ
- 5) ปัจจุบันยังไม่มีระบบระบายอากาศที่ช่วยลดความชื้นในกรณีที่อาคารใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน และยังไม่มีระบบที่ควบคุมปริมาณอากาศระบายที่เหมาะสมกับจำนวนคนในพื้นที่ปรับอากาศ ควรมีการวิจัยและพัฒนากระบวนการลดความชื้นขนาดเล็กที่ควบคุมปริมาณอากาศระบายให้เหมาะสมได้เพื่อใช้ร่วมกับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

สารบัญ

บทคัดย่อ	3
Abstract	5
บทสรุปผู้บริหาร (Executive summary)	7
สารบัญ	12
สารบัญรูป	16
สารบัญตาราง	22
บทที่ 1 บทนำ	24
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการวิจัย	24
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	28
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	29
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	30
บทที่ 2 ทฤษฎี และวรรณกรรมวิจัย	31
2.1 ระบบ Dedicated outdoor air system (DOAS)	32
2.2 ระบบ DOAS ที่ใช้สารดูดความชื้น	35
2.3 การเติมอากาศจากเครื่องเติมอากาศ	36
2.3.1 การเติมอากาศภายนอกเข้าสู่พื้นที่โดยตรง	36
2.3.2 การเติมอากาศไปที่เครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่	38
2.4 อุปกรณ์ประกอบสำหรับเครื่องเติมอากาศ	39
2.4.1 รั้วอะราวด์คอยล์ (Runaround Coil)	39
2.4.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์ (Heat pipe heat exchangers)	41
2.4.3 เครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน (Rotary air-to-air energy exchanger)	45
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัยและแผนการดำเนินงาน	50
3.1 การตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคาร	50
3.1.1 แนวทางการศึกษา	50

3.2 การศึกษาวิเคราะห์ระบบเดิมอากาศ.....	52
3.2.1 การกำหนดอาคารตัวอย่าง	53
3.2.2 การกำหนดองค์ประกอบของเครื่องเดิมอากาศ.....	57
3.2.3 การจำลองระบบด้วยโปรแกรมTRNSYS.....	60
3.2.4 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงต้นทุน.....	61
บทที่ 4 ผลการศึกษาการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคาร	64
4.1 ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคาร.....	65
4.1.1 อาคารประเภทสถานศึกษา.....	65
4.1.2 อาคารประเภทห้างสรรพสินค้า.....	84
4.1.3 อาคารประเภทโรงแรม	100
4.1.4 อาคารประเภทโรงพยาบาล	115
4.1.5 อาคารประเภทสำนักงาน.....	130
4.4 สรุปภาพรวมของการศึกษาคุณภาพอากาศภายในอาคาร	147
บทที่ 5 ผลการศึกษาการทำงานและภาระการทำความเย็นของ ระบบเดิมอากาศแบบอิสระ	156
5.1 อาคารสำนักงาน	156
5.1.1 ภาระทำความเย็น.....	156
5.1.2 ระบบเดิมอากาศแบบอิสระ	159
5.1.3 ภาระการทำความเย็นทั้งปี	165
5.1.4 ขนาดเครื่องเดิมอากาศอิสระและเครื่องปรับอากาศในพื้นที่	168
5.2 อาคารโรงแรม.....	170
5.2.1 ภาระทำความเย็น.....	170
5.2.2 ระบบเดิมอากาศอิสระ.....	173
5.2.3 ภาระการทำความเย็นทั้งปี	177
5.2.4 ขนาดของเครื่องเดิมอากาศอิสระและเครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่.....	180
5.3 อาคารห้างสรรพสินค้า.....	182
5.3.1 ภาระทำความเย็น.....	182
5.3.2 ระบบเดิมอากาศแบบอิสระ	184
5.3.3 ภาระการทำความเย็นทั้งปี	190
5.3.4 ขนาดของเครื่องเดิมอากาศอิสระและเครื่องปรับอากาศในพื้นที่.....	193
5.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงต้นทุน	194
5.4.1 ค่าพลังงานไฟฟ้า.....	194

5.4.3 ต้นทุนของระบบ	209
5.4.5 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน	217
5.5 คาดการณ์ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานของระบบเติมอากาศแบบอิสระในอาคารพาณิชย์ใน 15 ปี	219
5.5.1 การเติบโตของอาคารพาณิชย์	219
5.5.2 การใช้พลังงานของอาคารพาณิชย์	220
5.5.3 ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานของระบบ DOAS ใน 15 ปี	222
5.6 สรุปผลการศึกษาการทำงานและการประเมินความยั่งยืนของระบบเติมอากาศแบบอิสระ	225
บทที่ 6 ความสบายอุณหภูมิและศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงานจากการปรับเพิ่มอุณหภูมิในพื้นที่ปรับอากาศ	228
6.1 การถ่ายเทความร้อนระหว่างบุคคลกับสิ่งแวดล้อม	228
6.1.1 ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน	229
6.1.2 ปัจจัยจากตัวบุคคล	231
ปัจจัยจากตัวบุคคลที่มีผลต่อความรู้สึกประกอบด้วย	231
6.2 ดัชนีความสบายเชิงอุณหภูมิ	231
6.2.1 ค่าการโหวตความรู้สึก	231
6.2.2 ร้อยละความไม่พอใจ	234
6.2.3 อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (Operative Temperature; T_{op})	235
6.2.4 อุณหภูมิเอฟเฟกทีฟ (Effective Temperature; ET^*)	237
6.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	238
6.4 เครื่องมือสำรวจ	240
6.5 ผลการสำรวจ	241
6.5.1 อาคารที่สำรวจ	241
6.5.2 ชุดข้อมูลจากการสำรวจ	241
6.5.3 ความเป็นฉนวนของเครื่องแต่งกาย	242
6.5.4 สภาวะอากาศในอาคารและความสบายอุณหภูมิ	242
6.5.5 ความรู้สึกสบายอุณหภูมิ (Actual Mean Vote: AMV)	243
6.5.6 การยอมรับต่อสภาวะสบายอุณหภูมิ	247
6.5.7 ความชอบที่ต้องการเปลี่ยนสภาพสบายอุณหภูมิปัจจุบัน	248
6.5.8 การเคลื่อนไหวของอากาศ	249
6.5.9 ความชื้นของอากาศ	251
6.5.10 สรุปและวิจารณ์ผลการสำรวจ	251
6.6 การประเมินผลประหยัดพลังงานจากการเพิ่มอุณหภูมิอากาศในอาคารจาก 25°C เป็น 26°C	252

6.7 การประเมินภาระความร้อนจากการรั่วของอากาศผ่านกรอบอาคาร (Infiltration)	257
บทที่ 7 สรุปผลการศึกษากำลองระบบเติมอากาศแบบอิสระ	259
เอกสารอ้างอิง	263
ภาคผนวก ก - แผนผังจากการจำลองระบบในโปรแกรม TRNSYS	266
ภาคผนวก ข - ระบบเติมอากาศในวันสภาพอากาศเย็นและแห้ง	273
ภาคผนวก ค - ระบบเติมอากาศในวันสภาพอากาศร้อนและแห้ง	282
ภาคผนวก ง - ระบบเติมอากาศในวันสภาพอากาศเย็นและชื้น	291

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สะสมในห้องประชุม	24
รูปที่ 1.2 ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส เชื้อรา หมัก และไรฝุ่น	26
รูปที่ 1.3 ภาพจำลองระบบลดความชื้นในอากาศโดยใช้สารดูดความชื้น	27
รูปที่ 1.4 ปริมาณมลพิษทางอากาศบริเวณริมถนนในเขตดินแดงระหว่างปี 2549-2550	28
รูปที่ 2.1 การปรับอากาศแบบปกติ (Conventional air-conditioning)	31
รูปที่ 2.2 ระบบปรับอากาศแบบ Dedicated outdoor air system (DOAS)	33
รูปที่ 2.3 การอนุรักษ์พลังงานที่เครื่อง OAU ในระบบ DOAS	34
รูปที่ 2.4 การลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้น	35
รูปที่ 2.5 ระบบปรับอากาศแบบ DOAS ที่จ่ายอากาศเข้าสู่พื้นที่โดยตรง [22]	37
รูปที่ 2.6 ระบบปรับอากาศแบบ DOAS ที่จ่ายอากาศเข้าสู่เครื่องปรับอากาศในแต่ละพื้นที่ [22]	38
รูปที่ 2.7 รันอะราวด์คอยล์ (Runaround Coil) [23]	40
รูปที่ 2.8 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์ (Heat Pipe Heat Exchangers) [23]	41
รูปที่ 2.9 ฮีตไปป์ (Heat pipe tube) [23]	42
รูปที่ 2.10 ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์ [23]	43
รูปที่ 2.11 อุปกรณ์ควบคุมในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์ [23]	45
รูปที่ 2.12 เครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานอากาศแบบหมุน (Rotary air-to-air energy exchanger) [23]	46
รูปที่ 2.13 ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน [23]	48
รูปที่ 3.1 แบบจำลองอาคารตัวอย่าง	54
รูปที่ 3.2 ระดับความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารสำนักงาน	56
รูปที่ 3.3 ระดับความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารห้างสรรพสินค้า	57
รูปที่ 3.4 ระดับความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารโรงแรม	57
รูปที่ 3.5 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็น	58
รูปที่ 3.6 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวด์คอยล์	58
รูปที่ 3.7 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน	59
รูปที่ 3.8 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน	59
รูปที่ 3.9 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและรันอะราวด์คอยล์	60
รูปที่ 3.10 แผนผังกระแสเงินสด	62
รูปที่ 3.11 แผนผังกระแสเงินสดมูลค่ารายปี	63
รูปที่ 4.1 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารศึกษาที่ 1	67
รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในระยะเวลา 8 ชั่วโมง ภายในห้องประชุม	70
รูปที่ 4.3 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารศึกษาที่ 2	72
รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศ ภายในห้องเรียน	74

รูปที่ 4.5 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารศึกษาที่ 3	77
รูปที่ 4.6 คุณภาพอากาศในโรงยิมที่มีการจัดการสอบ (สัปดาห์เป็นช่วงเวลาที่มิใช่ผู้ใช้งานห้อง)	81
รูปที่ 4.7 คุณภาพอากาศในห้อง CB1402 (สัปดาห์เป็นช่วงเวลาที่มิใช่ผู้ใช้งานห้อง)	82
รูปที่ 4.8 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารห้างสรรพสินค้าที่ 1	85
รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในระยะเวลา 8 ชั่วโมง ภายในห้องประชุม	89
รูปที่ 4.10 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารห้างสรรพสินค้าที่ 2	91
รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในระยะเวลา 8 ชั่วโมง บริเวณศูนย์อาหาร	94
รูปที่ 4.12 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารห้างสรรพสินค้าที่ 3	96
รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในระยะเวลา 8 ชั่วโมง บริเวณศูนย์อาหาร	99
รูปที่ 4.14 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารโรงแรมที่ 1	101
รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในระยะเวลา 8 ชั่วโมง ภายในห้องพัก	104
รูปที่ 4.16 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารโรงแรมที่ 2	106
รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในระยะเวลา 8 ชั่วโมง ภายในห้องอาหาร	109
รูปที่ 4.18 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารโรงแรมที่ 3	111
รูปที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในระยะเวลา 8 ชั่วโมง ภายในห้องพัก	114
รูปที่ 4.20 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารโรงพยาบาลที่ 1	116
รูปที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในระยะเวลา 8 ชั่วโมง ภายใน lobby ชั้น 1 ของโรงพยาบาล	119
รูปที่ 4.22 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารโรงพยาบาลที่ 2	121
รูปที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในระยะเวลา 8 ชั่วโมง ภายในห้องฉุกเฉิน	124
รูปที่ 4.24 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารโรงพยาบาลที่ 3	126
รูปที่ 4.25 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในระยะเวลา 8 ชั่วโมง ภายในห้องประชุม	129
รูปที่ 4.26 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารสำนักงานที่ 1	131
รูปที่ 4.27 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศของพื้นที่ในอาคาร 100 ปี ของอาคารสำนักงานที่ 1 ในระยะเวลา 8 ชั่วโมง	134
รูปที่ 4.28 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารสำนักงานที่ 2	137
รูปที่ 4.29 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในระยะเวลา 8 ชั่วโมง ภายในสำนักงานแห่งที่ 2	140
รูปที่ 4.30 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารสำนักงานที่ 3	143
รูปที่ 4.31 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศภายในพื้นที่อาคารสำนักงานแห่งที่ 3 ในระยะเวลา 8 ชั่วโมง	146
รูปที่ 4.32 ร้อยละของอาคารที่มีปริมาณบ่งชี้คุณภาพอากาศสูงเกินเกณฑ์ที่กำหนดโดยกรมอนามัย	147
รูปที่ 4.33 สัดส่วนของพื้นที่ที่มีคุณภาพอากาศภายในอาคารสูงกว่า / ความสบายต่ำกว่าเกณฑ์ที่แนะนำ	148
รูปที่ 4.34 ร้อยละของพื้นที่ภายในอาคารที่มีจำนวนปัญหาด้านคุณภาพตั้งแต่ 1 – 5 ปัญหา	148
รูปที่ 4.35 ร้อยละของพื้นที่ภายในอาคารที่มีจำนวนปัญหาด้านสภาพสบายตั้งแต่ 1 – 3 ปัญหา	148
รูปที่ 4.36 ข้อมูลการตรวจวัดอุณหภูมิ และความชื้นในอาคารเทียบกับ Comfort Zone	150
รูปที่ 4.37 ปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารประเภทต่างๆ ที่ทำการสำรวจ	152
รูปที่ 5.1 สภาพอากาศและรังสีอาทิตย์ของวันที่สภาพอากาศร้อนขึ้น (4 กรกฎาคม)	156

รูปที่ 5.2	สภาวะของระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป	157
รูปที่ 5.3	สัดส่วนภาระทำความเย็นของอาคารสำนักงานตัวอย่าง	158
รูปที่ 5.4	สภาวะของระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป (ปีระบบระบายอากาศ)	159
รูปที่ 5.5	สภาวะของระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบมีคอยล์น้ำเย็นเท่านั้น (CC)	160
รูปที่ 5.6	สภาวะของระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวด์คอยล์ (RC)	161
รูปที่ 5.7	สภาวะของระบบเมื่อมีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน	162
รูปที่ 5.8	สภาวะของระบบเมื่อมีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน	163
รูปที่ 5.9	สภาวะของระบบเมื่อมีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและรันอะราวด์คอยล์	164
รูปที่ 5.10	ภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศสำหรับอาคารสำนักงานตัวอย่าง	167
รูปที่ 5.11	ขนาดคอยล์น้ำเย็นของระบบปรับอากาศ	168
รูปที่ 5.12	ระบบปรับอากาศและระบายอากาศปกติ	171
รูปที่ 5.13	สัดส่วนของภาระทำความเย็น	172
รูปที่ 5.14	ระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป (ปีระบบระบายอากาศ)	172
รูปที่ 5.15	สภาวะของระบบเมื่อมีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็น	173
รูปที่ 5.16	สภาวะของระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวด์คอยล์	174
รูปที่ 5.17	สภาวะของระบบเมื่อมีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน	175
รูปที่ 5.18	สภาวะของระบบเมื่อมีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน	176
รูปที่ 5.19	สภาวะของระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและรันอะราวด์คอยล์	177
รูปที่ 5.20	การใช้พลังงานของระบบ	180
รูปที่ 5.21	ขนาดเครื่องทำความเย็นของระบบปรับอากาศ	181
รูปที่ 5.22	สภาวะของระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป	182
รูปที่ 5.23	สัดส่วนของภาระทำความเย็น	183
รูปที่ 5.24	สภาวะของระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป (ปีระบบระบายอากาศ)	184
รูปที่ 5.25	สภาวะของระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็น	185
รูปที่ 5.26	สภาวะของระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวด์คอยล์	186
รูปที่ 5.27	สภาวะของระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน	187
รูปที่ 5.28	สภาวะของระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน	188
รูปที่ 5.29	สภาวะของระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยน	189
รูปที่ 5.30	การใช้พลังงานของระบบ	192

รูปที่ 5.31 การใช้พลังงานของระบบ	193
รูปที่ 5.32 แบบจำลองโครงสร้างอาคารตัวอย่าง (รูปแสดงเพียงชั้นเดียว)	209
รูปที่ 6.1 แบบจำลองการเกิด และการกระจายความร้อนจากร่างกายมนุษย์	228
รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับอุณหภูมิ	230
รูปที่ 6.3 การทำนายร้อยละความไม่พอใจเชิงคุณภาพ	235
รูปที่ 6.4 แผนภูมิแสดงสเกลของอุณหภูมิเอฟเฟกทีฟ	238
รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ของค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟและอุณหภูมิอากาศจากการสำรวจ	245
รูปที่ 6.6 การคำนวณค่า AMV และ PMV ที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ	245
รูปที่ 6.7 การพลอตโพรบิตการโหวต “ร้อนกว่าความรู้สึกสบาย” และ “เย็นกว่าความรู้สึกสบาย” กับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ	246
รูปที่ 6.8 การยอมรับของสภาพสบายอุณหภูมิกับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ	247
รูปที่ 6.9 การพลอตโพรบิตของการโหวต “อยากให้เย็นลง” และ “อยากให้ร้อนขึ้น” กับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ	248
รูปที่ 6.10 โหวตเป็นร้อยละของคนที่ต้องการให้มีลมผ่านตัวสูงขึ้นกับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ	250
รูปที่ 6.11 การพลอตโพรบิตของการโหวต “ร้อนกว่าความรู้สึกสบาย” และการโหวต “เย็นกว่าความรู้สึกสบาย”	251
รูปที่ ก. 1 แผนผังจากโปรแกรม TRNSYS ของแบบจำลองระบบปรับอากาศทั่วไป	266
รูปที่ ก. 2 แผนผังจากโปรแกรม TRNSYS ของแบบจำลองระบบปรับอากาศทั่วไปที่ปิดระบบ	267
รูปที่ ก. 3 แผนผังจากโปรแกรม TRNSYS ของแบบจำลองระบบที่ใช้เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็น	268
รูปที่ ก. 4 แผนผังจากโปรแกรม TRNSYS ของแบบจำลองระบบที่ใช้เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวด์คอยล์	269
รูปที่ ก. 5 แผนผังจากโปรแกรม TRNSYS ของแบบจำลองระบบที่ใช้เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน	270
รูปที่ ก. 6 แผนผังจากโปรแกรม TRNSYS ของแบบจำลองระบบที่ใช้เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน	271
รูปที่ ก. 7 แผนผังจากโปรแกรม TRNSYS ของแบบจำลองระบบที่ใช้เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็น	272
รูปที่ ข. 1 สภาพอากาศและการแผ่รังสีของวันสภาพอากาศเย็นและแห้ง (11 พฤศจิกายน)	273
รูปที่ ข. 2 ระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป	273
รูปที่ ข. 3 ระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป (ปิดระบบปรับอากาศ)	274
รูปที่ ข. 4 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็น	274
รูปที่ ข. 5 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวด์คอยล์	274
รูปที่ ข. 6 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน	275
รูปที่ ข. 7 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน	275
รูปที่ ข. 8 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและรันอะราวด์คอยล์	275

[illegible]

รูปที่ ค. 20 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน	289
รูปที่ ค. 21 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและรันอะราวด์คอยล์	290
รูปที่ ง. 1 สภาพอากาศและการแผ่รังสีของวันสภาพอากาศเย็นและขึ้น (24 สิงหาคม)	291
รูปที่ ง. 2 ระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป	291
รูปที่ ง. 3 ระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป (ปิดระบบปรับอากาศ)	292
รูปที่ ง. 4 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็น	292
รูปที่ ง. 5 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวด์คอยล์	292
รูปที่ ง. 6 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน	293
รูปที่ ง. 7 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน	293
รูปที่ ง. 8 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและรันอะราวด์คอยล์	293
รูปที่ ง. 9 ระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป	294
รูปที่ ง. 10 ระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป (ปิดระบบปรับอากาศ)	294
รูปที่ ง. 11 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็น	294
รูปที่ ง. 12 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวด์คอยล์	295
รูปที่ ง. 13 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน	295
รูปที่ ง. 14 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน	295
รูปที่ ง. 15 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและรันอะราวด์คอยล์	296
รูปที่ ง. 16 ระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป	297
รูปที่ ง. 17 ระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป (ปิดระบบปรับอากาศ)	297
รูปที่ ง. 18 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็น	297
รูปที่ ง. 19 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวด์คอยล์	298
รูปที่ ง. 20 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน	298
รูปที่ ง. 21 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน	298
รูปที่ ง. 22 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและรันอะราวด์คอยล์	299

สารบัญตาราง

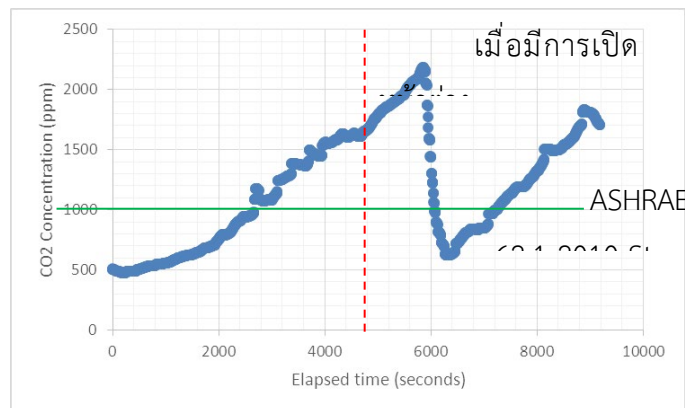
ตารางที่ 1.1 อัตราการระบายอากาศในอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษตามกฎหมายควบคุมอาคาร	25
ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อด้อยของการเติมอากาศเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศโดยตรง	38
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัด	52
ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของอาคารแต่ละประเภท	55
ตารางที่ 3.3 รูปแบบโมเดลมาตรฐานที่ใช้ในการจำลอง	61
ตารางที่ 5.1 การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศสำหรับอาคารสำนักงานตัวอย่าง	165
ตารางที่ 5.2 การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศสำหรับอาคารโรงแรมตัวอย่าง	178
ตารางที่ 5.3 การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศสำหรับอาคารสรรพสินค้าตัวอย่าง	190
ตารางที่ 5.4 อัตราค่าไฟฟ้าสำหรับการวิเคราะห์ค่าไฟฟ้าสำหรับอาคารสำนักงานและห้างสรรพสินค้า	195
ตารางที่ 5.5 อัตราค่าไฟฟ้าสำหรับการวิเคราะห์ค่าไฟฟ้าสำหรับโรงแรม	196
ตารางที่ 5.6 ผลวิเคราะห์การใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ กรณีสำนักงาน	197
ตารางที่ 5.7 ผลวิเคราะห์การใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ กรณีโรงแรม	201
ตารางที่ 5.8 ผลวิเคราะห์การใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ กรณีห้างสรรพสินค้า	205
ตารางที่ 5.9 ราคาต้นทุนเครื่องส่งลมเย็นและเครื่องเติมอากาศ สำหรับอาคารสำนักงาน	215
ตารางที่ 5.10 ราคาต้นทุนเครื่องส่งลมเย็นและเครื่องเติมอากาศ สำหรับอาคารโรงแรม	216
ตารางที่ 5.11 ราคาต้นทุนเครื่องส่งลมเย็นและเครื่องเติมอากาศ สำหรับห้างสรรพสินค้า	216
ตารางที่ 5.12 ผลวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบัน (Net present value) ของระบบเติมอากาศแบบอิสระ กรณีสำนักงาน	217
ตารางที่ 5.13 ผลวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบัน (Net present value) ของระบบเติมอากาศแบบอิสระ กรณีโรงแรม	218
ตารางที่ 5.14 ผลวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบัน (Net present value) ของระบบเติมอากาศแบบอิสระ กรณีห้างสรรพสินค้า	218
ตารางที่ 5.15 คาดการณ์การใช้พลังงานของอาคารขนาดกลางและใหญ่ประเภทต่างๆ (GWh/year) ใน 15 ปี	220
ตารางที่ 5.16 แบบจำลองการใช้พลังงานของอาคาร	221
ตารางที่ 5.17 การอนุรักษ์พลังงานของระบบ DOAS สำหรับอาคารสำนักงาน โรงแรม และห้างสรรพสินค้า	223
ตารางที่ 6.1 ระดับการยอมรับทางอุณหภูมิ	235
ตารางที่ 6.2 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยธรรมชาติผ่านแต่ละส่วนของร่างกาย	236
ตารางที่ 6.3 สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนผ่านร่างกาย	237
ตารางที่ 6.4 ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีและการพาความร้อนผ่านร่างกาย	237
ตารางที่ 6.5 ข้อจำกัดการใช้ค่าทำนายค่าการไหลเวียนความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ	239
ตารางที่ 6.6 ระดับสเกลของความรู้สึกสบายภายในห้องปรับอากาศ	240
ตารางที่ 6.7 อายุและการสวมเสื้อผ้าของผู้ที่ถูกสำรวจ	241
ตารางที่ 6.8 ค่าสถิติของสภาวะแวดล้อมภายในอาคารและการทำนายความสบายอุณหภูมิตาม ASHRAE standard 55	242
ตารางที่ 6.9 ค่าสถิติของดัชนีความสบายอุณหภูมิจากแบบสอบถาม	243
ตารางที่ 6.10 การกระจายของจำนวนการไหลเวียนความรู้สึกตามสเกล ASHRAE ของผู้ถูกสอบถาม	244

ตารางที่ 6.11 ภาระทำความเย็นของระบบปรับอากาศที่อุณหภูมิ 25oC และ 26oC และภาระการทำความเย็นที่ลดลงจากการปรับอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1oC (จาก 25oC เป็น 26oC) สำหรับอาคารสำนักงานตัวอย่าง	252
ตารางที่ 6.12 ภาระทำความเย็นของระบบปรับอากาศที่อุณหภูมิ 25oC และ 26oC และภาระการทำความเย็นที่ลดลงจากการปรับอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1oC (จาก 25oC เป็น 26oC) สำหรับสำนักงานตัวอย่าง	254
ตารางที่ 6.13 ภาระทำความเย็นของระบบปรับอากาศที่อุณหภูมิ 25oC และ 26oC และภาระการทำความเย็นที่ลดลงจากการปรับอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1oC (จาก 25oC เป็น 26oC) สำหรับอาคารสรรพสินค้าตัวอย่าง	256
ตารางที่ 6.14 การเปรียบเทียบภาระทำความเย็นของระบบปรับอากาศที่อัตราการรั่วของอากาศ 0.5 ACH และที่ 0.75 ACH สำหรับอาคารตัวอย่าง (อุณหภูมิอากาศภายในอาคารเท่ากับ 25°C)	258

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการวิจัย

การหมุนเวียนและระบายอากาศมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร การอยู่อาศัยและกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในอาคารมีการปลดปล่อยและสะสมมลพิษ อาทิ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สารเคมีที่ปลดปล่อยจากวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ภายในอาคาร ตลอดจนเชื้อโรคต่าง ๆ ที่มาจากธรรมชาติและที่ปลดปล่อยจากมนุษย์ รูปที่ 1.1 เป็นตัวอย่างที่คณะผู้วิจัยได้ตรวจวัดการสะสมของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องประชุมที่มีผู้ร่วมประชุมจำนวน 9 คนและไม่มีการติดตั้งระบบระบายอากาศ จะเห็นได้ว่าเพียงเวลา 40 นาที ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นถึง 1,000 ppm ซึ่งเป็นเกณฑ์สูงสุดตามมาตรฐาน ASHRAE 62.1-2010 และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและสูงถึงประมาณ 2,200ppm เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง 20 นาที การเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องประชุมนี้ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการลดลงของก๊าซออกซิเจน เนื่องจากการใช้อากาศของผู้ร่วมประชุมในการหายใจ การระบายอากาศโดยเปิดหน้าต่างในห้องประชุมนั้นทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับมาอยู่ในระดับที่ได้ตามมาตรฐาน การได้รับก๊าซออกซิเจนที่ไม่เพียงพอ และการได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณมากจะส่งผลโดยตรงต่อสุขภาพ ผู้ที่อาศัยภายใต้ภาวะที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกินมาตรฐานเป็นเวลานานอาจเกิดอาการวิงเวียนศีรษะ อ่อนล้า ขาดสมาธิในการทำงาน



รูปที่ 1.1 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สะสมในห้องประชุม

ตัวอย่างข้างต้นแสดงเฉพาะการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หากรวมถึงการสะสมของมลพิษอื่น ๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ฟORMALDEHYDE ไซลีน หรือสารระเหยอื่น ๆ จะเห็นได้ว่าการระบายอากาศโดยการนำอากาศใหม่ที่บริสุทธิ์กว่าเข้ามาหมุนเวียนภายในอาคารจึงเป็นเรื่องสำคัญและจำเป็นเพื่อคุณภาพอากาศที่ดีภายในอาคาร

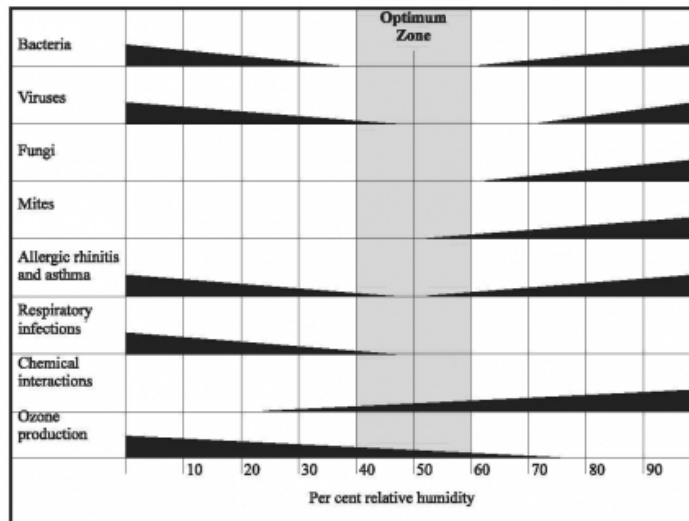
โดยทั่วไปการทำให้คุณภาพอากาศที่ดีเกิดขึ้นภายในอาคารจะกระทำโดยระบายอากาศส่วนหนึ่งออกจากอาคาร และขณะเดียวกันนำอากาศใหม่ภายนอกอาคารเข้ามาทดแทน สำหรับมาตรฐานในประเทศไทยได้มีการออกกฎหมายตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร โดยกฎกระทรวงฉบับที่ 33 (พ.ศ.2535) หมวดที่ 2 ข้อที่ 10 กำหนดให้การระบายอากาศในอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษที่มีการปรับภาวะอากาศด้วยระบบการปรับภาวะอากาศต้องมีการนำอากาศภายนอกเข้ามาในพื้นที่ปรับอากาศ หรือดูดอากาศจากภายในพื้นที่ปรับภาวะอากาศออกไปไม่น้อยกว่าค่าตามตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 อัตราการระบายอากาศในอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษตามกฎหมายควบคุมอาคาร

ลำดับ	สถานที่	ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง/ ตารางเมตร
1.	ห้างสรรพสินค้า (ทางเดินชมสินค้า)	2
2.	โรงงาน	2
3.	สำนักงาน	2
4.	สถานอาบอบนวด	2
5.	ชั้นติดต่อระหว่างอาคาร	2
6.	ห้องพักในโรงแรมหรืออาคารชุด	2
7.	ห้องปฏิบัติการ	2
8.	ร้านตัดผม	3
9.	สถานโบว์ลิ่ง	4
10.	โรงมหรสพ (บริเวณที่นั่งสำหรับคนดู)	4
11.	ห้องเรียน	4
12.	สถานบริหารร่างกาย	5
13.	ร้านเสริมสวย	5
14.	ห้องประชุม	6

สืบเนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในบริเวณใกล้แถบศูนย์สูตรมีภูมิอากาศร้อนชื้นเกือบทั้งปี การนำอากาศใหม่ภายนอกอาคารเพื่อสร้างคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ดีนั้น ย่อมส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศซึ่งมีสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 50-60 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดภายในอาคารปรับอากาศโดยทั่วไป ทั้งนี้เพราะอากาศใหม่ที่นำเข้มานั้นมีเอนทาลปี (Enthalpy) สูงเนื่องจากอุณหภูมิและความชื้นของอากาศที่สูงตามสภาพธรรมชาติ ซึ่งในที่สุดส่งผลให้การทำความเย็น (Cooling coil load) ของเครื่องปรับอากาศสูงขึ้นเพื่อสร้างสภาพสบายเชิงอุณหภูมิให้เกิดขึ้นภายในอาคารโดยการปรับอากาศให้มีอุณหภูมิในช่วง 25-27 เซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 50% – 55% สภาพอากาศดังกล่าวนอกจากจะสร้างสภาพสบายเชิงอุณหภูมิแล้ว

ยังเป็นสภาวะอากาศที่ไม่เอื้อต่อการการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียไวรัสเชื้อราหมัด ไรฝุ่น และอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 1.2



E.M. Sterling, Criteria for Human Exposure to Humidity in Occupied Buildings, 1985 ASHRAE

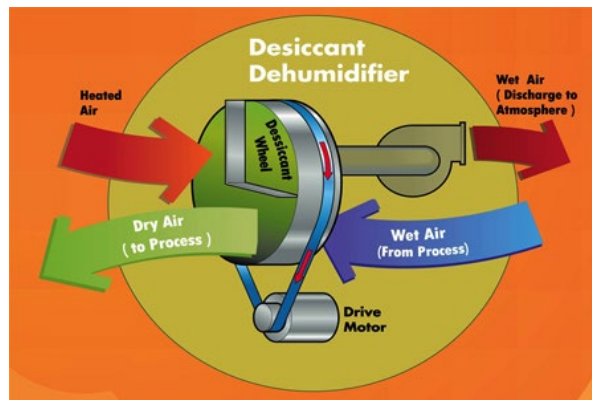
รูปที่ 1.2 ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส เชื้อราหมัด และไรฝุ่น

ปัจจุบันมีการพัฒนาวิธีการลดเอนทัลปีของอากาศใหม่หลายลักษณะ โดยหลักการแล้วทุกวิธีการมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณน้ำและอุณหภูมิของอากาศใหม่ก่อนที่นำมาแทนที่อากาศที่ระบายออกไป วิธีดูความชื้นอากาศที่มีการวิจัยและพัฒนาถึงขั้นประยุกต์ใช้งานได้ปัจจุบันประกอบด้วย 2 วิธีหลักๆ ได้แก่ (ระบบอื่นๆ อาจมีรายละเอียดแตกต่างกันบ้าง แต่อยู่บนพื้นฐานของ 2 ระบบนี้)

- ก. The Shaw Method of Air Conditioning (SMAC) เป็นวิธีการลดความชื้นอากาศภายนอกก่อนนำมาทดแทนอากาศภายในพื้นที่ปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่งซึ่งคิดค้นโดย Dr. Allan Shaw วิธีการนี้จะใช้อีวาโปเรเตอร์ 2 ตัวต่ออนุกรมกัน โดยอากาศภายนอกจะไหลผ่านอีวาโปเรเตอร์ตัวแรกที่มีน้ำเย็นประมาณ 15°C ไหลผ่าน อีวาโปเรเตอร์ตัวต่อไปจะใช้น้ำเย็น 7°C ไหลผ่านเพื่อลดอุณหภูมิ (และอัตราส่วนความชื้นของอากาศภายนอก ก่อนไหลไปผสมกับอากาศเย็นที่หมุนเวียนกลับจากพื้นที่ปรับอากาศ อากาศทั้งสองส่วนที่ผสมกันแล้วจะไหลต่อไปยังอีวาโปเรเตอร์ตัวที่สองเพื่อลดอุณหภูมิไปยังอุณหภูมิที่ต้องการในพื้นที่ปรับอากาศ)1) วิธีการของ SMAC สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในพื้นที่ปรับอากาศได้คงที่เนื่องจากการลดอุณหภูมิและความชื้น ของอากาศภายนอกให้ใกล้เคียงกับอากาศเย็นที่หมุนเวียนกลับจากพื้นที่ปรับอากาศทำให้การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นทำได้ง่ายขึ้น และการปรับอุณหภูมิของอีวาโปเรเตอร์ให้ทำงานที่อุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลต่อประสิทธิภาพ

การทำความเย็นที่ดีขึ้นในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น SMAC สามารถลดการใช้พลังงานในการปรับอากาศได้ 35-63%¹²

- ข. ระบบใช้สารดูดความชื้น – ระบบนี้ใช้วัสดุที่สามารถดูดความชื้นออกจากอากาศ (ดูError! Reference source not found.) โดยกระบวนการดูดความชื้นจะใช้อากาศซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์สูงไหลผ่านสารดูดความชื้นเพื่อดึงความชื้นออกโดยสารนี้จะดูดความชื้นทำการกักเก็บความชื้นไว้และถูกหมุนไปในส่วนที่มีอากาศซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าไหลผ่านเพื่อปล่อยความชื้นที่กักเก็บไว้และถูกกลับสู่สภาพเดิมโดยทั่วไปกระบวนการดูดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้นนี้จะต้องใช้พลังงานความร้อนเพื่อดึงความชื้นออกจากสารดูดความชื้นโดยอาจใช้แหล่งพลังงานได้แก่ก๊าซธรรมชาติไฟฟ้าความร้อนสูญเสียหรือจากแสงอาทิตย์ สารดูดความชื้นที่นิยมใช้กันได้แก่ Silica Gel, Activated Alumina, Natural and Synthetic Zeolites, Lithium Chloride, Titanium Silicate และ Synthetic Polymers เป็นต้น

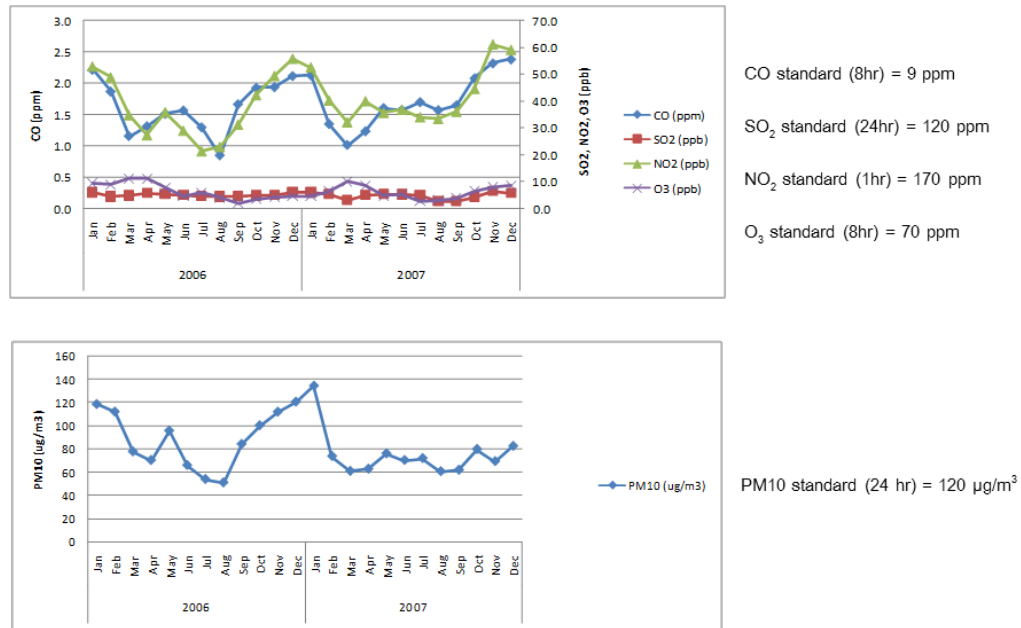


รูปที่ 1.3 ภาพจำลองระบบลดความชื้นในอากาศโดยใช้สารดูดความชื้น

นอกจากนี้การนำอากาศภายนอกเข้ามาในอาคารอาจเป็นการนำมลพิษทางอากาศจากภายนอกอาคารเข้ามาสู่อาคารอีกด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณพื้นที่ริมถนนที่มีการจราจรหนาแน่น จากข้อมูลการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ ที่บริเวณริมถนนในเขตดินแดงพบว่า ปัญหามลพิษทางอากาศหลักที่มักพบในบริเวณริมถนนคือฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM10) ที่มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศที่กำหนดไว้ให้มีค่าไม่เกิน 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ เป็นบางช่วงเวลา ขณะที่ปริมาณก๊าซมลพิษทางอากาศชนิดอื่น ยังอยู่ในค่ามาตรฐาน ดังแสดงในError! Reference source not found.

¹ <http://www.asiaesco.org/pdf/presentation/5-4.pdf>

² <http://www.thaiesco.org/file/file02072009/เทคโนโลยี%20SMAC%20-%20Goldmark.pdf>



รูปที่ 1.4 ปริมาณมลพิษทางอากาศบริเวณริมถนนในเขตดินแดงระหว่างปี 2549-2550

(รูปแบบ: ปริมาณก๊าซมลพิษทางอากาศ, รูปล่าง: ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก)

แม้ปัจจุบันมีการพัฒนาและผลิระบบและอุปกรณ์ลดอุณหภูมิ ดูดความชื้น และกำจัดฝุ่นละอองในบรรยากาศในระบบดูดอากาศเชิงพาณิชย์ แต่พบว่าอาคารส่วนใหญ่โดยเฉพาะอาคารขนาดกลางและขนาดเล็กมีการใช้ระบบดังกล่าวน้อยมาก ในบางอาคารอาจเลวร้ายถึงระดับที่ไม่มีการระบายอากาศเลย ซึ่งส่งผลให้มีความสิ้นเปลืองพลังงานในการปรับอากาศ และคุณภาพอากาศภายในอาคารอยู่ในระดับต่ำไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด

ภายใต้เงื่อนไขขอบเขต (Constraints) ที่ต้องมีการระบายอากาศเพื่อคุณภาพอากาศที่ดีและการสร้างสภาพสบายเชิงอุณหภูมิภายในอาคาร แต่การระบายอากาศต้องสิ้นเปลืองพลังงาน ดังนั้นการหาสภาวะที่เหมาะสม (Optimization) ในการระบายอากาศจึงเป็นเรื่องสำคัญ ประกอบกับเทคโนโลยีของระบบระบายอากาศมีแตกต่างกัน แต่แต่ละระบบมีข้อดีข้อด้อยแตกต่างกันอันส่งผลต่อประสิทธิภาพการระบายอากาศที่ต่างกัน ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญในการศึกษาวิจัยเพื่อสร้างความรู้ทั้งในการเลือก การออกแบบและการหาสภาวะเหมาะสมในการทำงาน (Operate) ของระบบระบายอากาศ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักที่จะวิเคราะห์และหาค่าประกอบของเครื่องเติมอากาศภายนอก (DOAS) ที่เหมาะสมกับอาคารปรับอากาศภายใต้ภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย โดยเครื่องเติมอากาศภายนอก (DOAS) จะต้องมีการระบายอากาศที่เพียงพอเพื่อคุณภาพอากาศที่ดีตามมาตรฐานการปรับอากาศและระบาย

อากาศของประเทศไทย เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์หลักข้างต้น วัตถุประสงค์ย่อยเชิงกิจกรรมของโครงการประกอบด้วย

- เพื่อตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในห้องปรับอากาศของอาคารประเภทต่าง ๆ
- เพื่อสำรวจรูปแบบและเทคโนโลยีการระบายอากาศภายในอาคารปรับอากาศประเภทต่างๆ
- เพื่อศึกษาเทคโนโลยีและองค์ประกอบต่างๆ ของเครื่องเติมอากาศภายนอกที่ถูกใช้ในระบบปรับอากาศภายในอาคารภายใต้สภาพภูมิอากาศและภูมิภาคที่ต่างกัน
- เพื่อประเมินลักษณะและประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องเติมอากาศที่นำมาศึกษาภายใต้สภาวะอากาศในเขตร้อนและชื้น
- เพื่อประเมินประสิทธิผลเชิงต้นทุนของเครื่องเติมอากาศที่มีองค์ประกอบภายในที่แตกต่างกันตลอดอายุการใช้งาน

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

การศึกษาในโครงการนี้ครอบคลุมการสำรวจตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคาร การศึกษาเทคโนโลยีการระบายอากาศภายในอาคาร และการศึกษาเพื่อหารูปแบบของระบบระบายอากาศที่เหมาะสมผ่านการทำแบบจำลองคณิตศาสตร์และวิเคราะห์การใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายตลอดอายุใช้งานของระบบปรับอากาศและระบายอากาศ

ขอบเขตการวิจัยของโครงการมีรายละเอียดดังนี้

- ระบบระบายอากาศที่ศึกษาเป็นระบบ Dedicated outdoor air system (DOAS)ที่มีการควบคุมความชื้นโดยการทำความเย็น (Refrigeration)เพื่อให้ในอากาศควบแน่นเมื่ออุณหภูมิอากาศต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew-point temperature) และการใช้สารดูดความชื้น (Desiccant dehumidification)
- ในโครงการนี้ คุณภาพอากาศในอาคารจะพิจารณาเฉพาะปัจจัยด้านอุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ฟอรัมาลดีไฮด์ และฝุ่นละอองขนาดเล็กเท่านั้น
- การศึกษาการระบายอากาศและคุณภาพอากาศในอาคารพิจารณาเฉพาะพื้นที่ปิดและมีการปรับอากาศ พื้นที่ที่ศึกษาไม่มีการระบายอากาศโดยธรรมชาติ
- การศึกษานี้พิจารณาความเหมาะสมของระบบระบายอากาศเฉพาะในด้านเทคนิคและประสิทธิผลเชิงต้นทุนเท่านั้น

- การสำรวจด้านการระบายอากาศและคุณภาพอากาศในอาคารจะคัดเลือกอาคารจำนวน 2-3 หลังสำหรับอาคารแต่ละประเภท (สำนักงาน, ห้างสรรพสินค้า, โรงพยาบาล) เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ความเหมาะสมของระบบ
- การสำรวจพยายามให้ครอบคลุมทั้งอาคารที่มีการติดตั้งและไม่มีการติดตั้ง (หรือติดตั้งแต่ไม่ใช้งาน) ระบบระบายอากาศ
- การวิเคราะห์การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศและระบายอากาศอาศัยการจำลองอาคารและระบบโดยโปรแกรม TRANSYS
- การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบปรับอากาศและระบายอากาศศึกษาภายใต้สภาพอากาศแบบร้อนชื้นโดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของกรุงเทพมหานครเท่านั้น

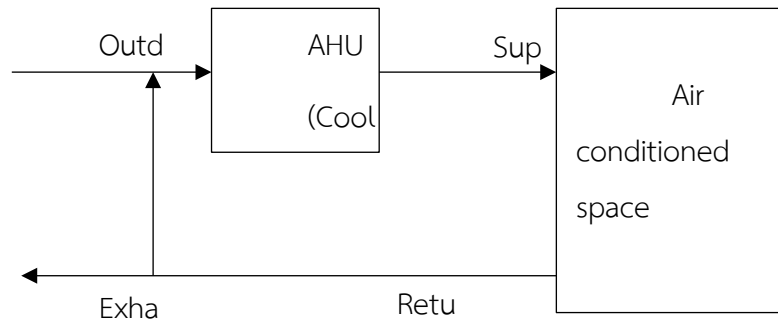
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลสำเร็จจากการวิจัยนี้จะสามารถพิจารณาได้ว่าเครื่องเติมอากาศภายนอก (DOAS) ประเภทใดที่เหมาะสมกับสภาวะอากาศร้อนชื้นของประเทศไทย โดยสามารถให้การประหยัดพลังงานและรวมถึงมีประสิทธิผลเชิงต้นทุนสูง

บทที่ 2 ทฤษฎี และวรรณกรรมวิจัย

อาคารที่อากาศมีคุณภาพดี ผู้ใช้อาคารรู้สึกสบาย มีสุขภาพแข็งแรง และทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องมีการระบายอากาศ (Ventilation) ที่เพียงพอ และการควบคุมความชื้นของอากาศในอาคาร (Air humidity control) ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ทั้งนี้ปัจจัยที่มีอิทธิพลอื่นๆ ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศ การหมุนเวียนอากาศ และการปนเปื้อนในอากาศ (เช่น CO₂ จุลินทรีย์ เชื้อรา ฯลฯ) [1]

ระบบปรับอากาศปกติที่ใช้ในอาคาร เครื่องส่งลมเย็น (Air handling unit: AHU) ซึ่งติดตั้งตามส่วนต่างๆ ของอาคาร จะทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิของอากาศในบริเวณปรับอากาศให้ได้ตามค่าของอุณหภูมิที่ตั้งไว้ (เช่น 25°C) ในรูปที่ 2.1 ซึ่งแสดงแผนภาพของระบบปรับอากาศปกติ (Conventional air-conditioning system) [2] อากาศจากภายนอก (Outdoor air) จะถูกผสมกับอากาศที่กลับมาจากพื้นที่ปรับอากาศ (Return air) ก่อนผ่านเข้าคอยล์เย็น (Cooling coil) ของเครื่อง AHU เพื่อลดอุณหภูมิ และจ่ายกลับไปยังบริเวณปรับอากาศอีกครั้ง



รูปที่ 2.1 การปรับอากาศแบบปกติ (Conventional air-conditioning)

ระบบปรับอากาศนี้ไม่สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในอาคาร แต่มีการควบแน่นน้ำเพื่อลดความชื้นในอากาศโดยคอยล์เย็นของ AHU ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศ การควบแน่นนี้ขึ้นกับสถานะอากาศภายนอก (อุณหภูมิ ความชื้น) สัดส่วนของภาระความร้อนสัมผัสของอาคารที่แปรเปลี่ยนตลอดเวลา และขึ้นกับลักษณะของคอยล์เย็นและอัตราการไหลของอากาศที่ถูกออกแบบไว้ [3] ผลการศึกษาหนึ่งแสดงให้เห็นว่า ในเขตศูนย์สูตรที่อากาศร้อนและความชื้นสูง อากาศภายในอาคารที่อุณหภูมิ 23-25°C จะมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 70-75% [4] ซึ่งผู้ใช้อาคารจึงอาจรู้สึกไม่สบายเท่าที่ควรจากอากาศที่ค่อนข้างชื้น และเนื่องจากคอยล์จำเป็นต้องควบแน่นน้ำ อากาศที่จ่าย (Supply air) ไปยังพื้นที่ปรับอากาศจึงมีอุณหภูมิ 10-12°C และความชื้นสัมพัทธ์ 90-95% ซึ่งสูงกว่าค่าแนะนำที่ไม่ควรเกิน 70% เพื่อป้องกันโรคระบบทางเดินหายใจ [5] คอยล์เย็นที่

เปียกขึ้นตลอดเวลาเป็นแหล่งสะสมและแพร่กระจายของจุลินทรีย์และเชื้อโรครภายในอาคารผ่านระบบส่งจ่ายลม ปัญหาเหล่านี้มักพบได้ในอาคารที่ใช้ระบบปรับอากาศปกติ และละเลยความสำคัญของการระบายอากาศและการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ นอกจากนี้ ยังพบว่าในอาคารบางแห่ง แม้จะมีการติดตั้งระบบเดิมอากาศ แต่ก็ไม่ได้เปิดใช้งาน เนื่องจากจะทำให้การปรับอากาศต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้น

ในปัจจุบัน หลายประเทศมีการปรับปรุงระเบียบบังคับด้านคุณภาพอากาศในอาคารให้เข้มงวดขึ้น กอปรกับความตระหนักถึงปัญหาโดยผู้ออกแบบ และประโยชน์ที่จะได้รับของผู้ใช้อาคาร ระบบปรับอากาศจึงต้องพัฒนาปรับเปลี่ยน เพื่อให้สามารถตอบสนองด้านคุณภาพอากาศ ผู้ใช้อาคารรู้สึกสบาย สอดคล้องกับเกณฑ์บังคับต่าง ๆ อีกทั้งสามารถช่วยในการอนุรักษ์พลังงาน

จากข้อด้อยของระบบปรับอากาศปกติและประเด็นด้านพลังงานข้างต้น การวิจัยการปรับอากาศสำหรับภูมิอากาศในเขตร้อนและชื้น ได้มุ่งเน้นที่การพัฒนาแนวคิดและวิธีการปรับอากาศที่มีการระบาย/เติมอากาศที่เพียงพอและสามารถควบคุมความชื้นของอากาศในอาคาร เพื่อให้อากาศมีคุณภาพดี ผู้ใช้อาคารรู้สึกสบาย และเกิดการอนุรักษ์พลังงาน [6-8]

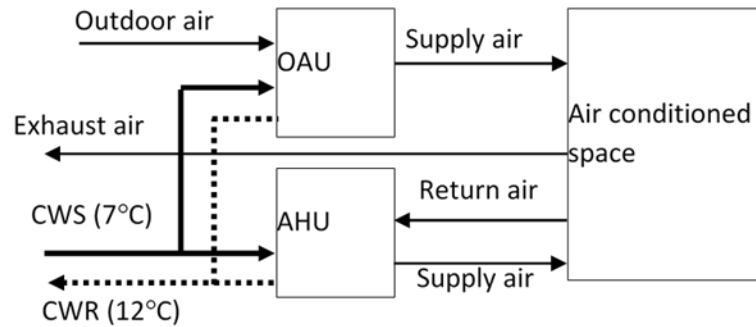
2.1 ระบบ Dedicated outdoor air system (DOAS)

ระบบ DOAS เป็นระบบที่ทำหน้าที่ลดความชื้นและอุณหภูมิอากาศที่เติมเข้าไปในหมุนเวียนอากาศของระบบปรับอากาศ โดยมีเครื่องเติมอากาศ (Outdoor air unit: OAU) ร่วมกับเครื่อง AHU เป็นระบบที่มีการวิจัยอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน เครื่อง OAU ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายนอกและมีความร้อนแฝงเป็นภาระหลัก ขณะที่เครื่อง AHU จะทำหน้าที่ปรับอากาศให้แก่อากาศที่หมุนเวียนภายในอาคาร ซึ่งภาระหลักเป็นความร้อนสัมผัส การแยกภาระความร้อนแฝง (Latent load) และความร้อนสัมผัส (Sensible load) ที่ค่อนข้างอิสระจากกัน ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพ และการควบคุมคุณภาพของอากาศจะทำได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับระบบปกติ ขณะเดียวกัน เครื่อง OAU มีศักยภาพสูงด้านการอนุรักษ์พลังงาน

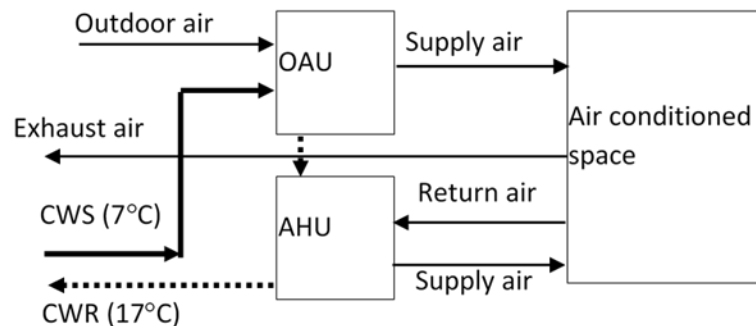
เมื่อพิจารณาจากวิธีการลดและควบคุมความชื้นที่เครื่อง OAU แล้ว การปรับอากาศลักษณะนี้อาจแบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ (1) กลุ่มที่ใช้คอยล์เย็น และ (2) กลุ่มที่ใช้สารดูดความชื้น ซึ่งในแต่ละกลุ่มจะมีเทคนิค/เทคโนโลยีหลากหลายที่สามารถประยุกต์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานเช่น รันอะราวด์คอยล์ (Coil around coil), ฮีทไปป์ (Heat pipe) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัสแบบหมุน (Sensible Wheel), วงล้อสารดูดความชื้น (Desiccant wheel) [9, 10]

รูปที่ 2.2 แสดงแผนภาพของระบบ DOAS ระบบนี้เครื่อง OAU จะใช้คอยล์เย็นในการควบคุมความชื้นและจัดการกับภาระความร้อนแฝงทั้งหมดของอาคาร (ทั้งอากาศภายนอกและอากาศหมุนเวียนภายในอาคาร) รวมถึงความร้อนสัมผัสบางส่วน of อาคาร เครื่อง AHU ของระบบจะจัดการกับความร้อนสัมผัสของอาคารในส่วน

ที่เหลือ และเนื่องจากเครื่อง OAU จัดการความร้อนแฝงทั้งหมดไปแล้ว ฉะนั้นที่เครื่อง AHU จึงไม่มีการควบแน่นของน้ำระบบนี้จึงมีปัญหการสะสมของจุลินทรีย์และเชื้อโรคในอาคารน้อยกว่าระบบปรับอากาศปกติ ระบบนี้ยังสามารถควบคุมความชื้นได้ง่ายขึ้นและมั่นใจได้ว่าปริมาณอากาศภายนอกจะถูกนำเข้าสู่ระบบเป็นไปตามมาตรฐาน



(ก) วงจรน้ำเย็นแบบที่ 1



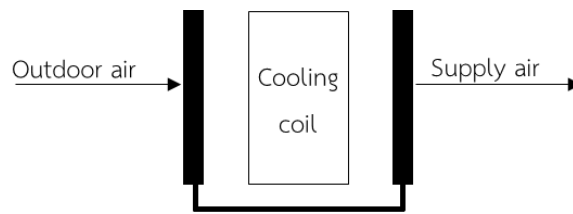
(ข) วงจรน้ำเย็นแบบที่ 2

รูปที่ 2.2 ระบบปรับอากาศแบบ Dedicated outdoor air system (DOAS)

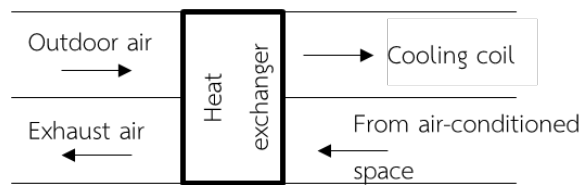
โดยปกติแล้ว น้ำเย็นที่อุณหภูมิ 7°C จากเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) จะถูกจ่ายให้กับเครื่อง OAU และ AHU โดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ก) อย่างไรก็ตาม งานวิจัยของ Lee, et al. ในฮ่องกง [11] ได้ปรับวิธีการจ่ายน้ำเย็น โดยน้ำอุณหภูมิ 7°C จะจ่ายให้เฉพาะกับเครื่อง OAU จากนั้นจึงจ่ายต่อให้เครื่อง AHU ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีการควบแน่นน้ำที่หน้าคอยล์ (และไม่จำเป็นต้องใช้น้ำเย็นที่อุณหภูมิต่ำ) ดังรูปที่ 2.2 (ข)

ผลจากการศึกษาของ Lee โดยแบบจำลองคณิตศาสตร์แสดงให้เห็นว่า การจ่ายน้ำเย็นตามวิธีที่สองสามารถลดการใช้พลังงานของปั๊มน้ำเย็นลงได้ประมาณ 50% จากการจ่ายน้ำเย็นให้ระบบที่ลดลงได้ และการใช้พลังงานโดยรวมของทั้งระบบลดลงประมาณ 50% เช่นกัน

Error! Reference source not found. แสดงการอนุรักษ์พลังงานที่เครื่อง OAU ของระบบปรับอากาศ LEE และ Zhang [12] ได้ศึกษาการใช้รั้นอะราวด์คอยล์ฮีตไปป์เพื่อพรีคูอากาศจากภายนอกและรีฮีตอากาศที่ออกจากคอยล์ตาม**Error! Reference source not found.** (ก) เพื่อลดภาระความเย็นที่เครื่อง OAU ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ศักยภาพในการลดภาระความเย็นขึ้นกับประสิทธิภาพของฮีตไปป์ซึ่งมีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นตรง การศึกษานี้อาศัยโปรแกรมวิเคราะห์พลังงาน HT2B และข้อมูลที่เป็นตัวแทนของอาคารสำนักงานจำนวน 10 แห่ง



(ก) การพรีคูอากาศด้วยรั้นอะราวด์คอยล์



(ข) การถ่ายโอนความร้อนอากาศภายนอกกับอากาศทิ้ง

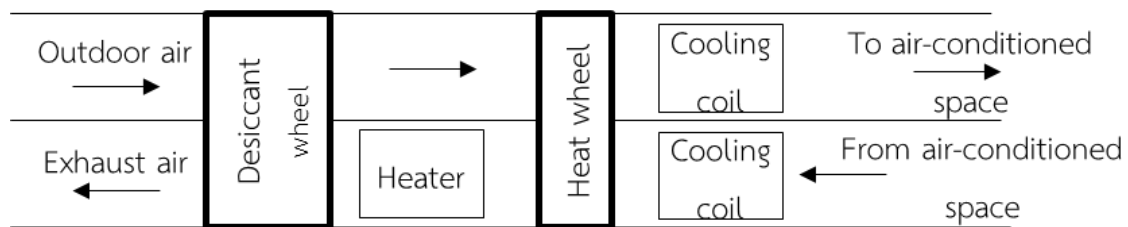
รูปที่ 2.3 การอนุรักษ์พลังงานที่เครื่อง OAU ในระบบ DOAS

Error! Reference source not found. (ข) แสดงการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อถ่ายโอนความร้อนระหว่างอากาศภายนอก (ร้อนและชื้น) และอากาศทิ้งจากอาคาร (เย็นและแห้ง) เพื่อลดภาระความเย็นของคอยล์ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนี้อาจเป็นวงล้อแลกเปลี่ยนความร้อน หรือฮีตไปป์ Ahmadzadehtalatapeh และ Yau [13] ได้ศึกษาการใช้ฮีตไปป์เพื่อลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในโรงพยาบาลในมาเลเซีย การวิจัยโดยใช้ซอฟต์แวร์ TRNSYS พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในโรงพยาบาลสามารถลดลงจาก 68.4% ลงเหลือ 51.1% ที่อุณหภูมิอากาศ 23°C ขณะเดียวกันสามารถลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศได้ โดยมีระยะเวลาคืนทุน 1.6 ปีการศึกษาการใช้ฮีตไปป์กับระบบปรับอากาศของห้องสมุดให้ผลในลักษณะเดียวกัน [14]

2.2 ระบบ DOAS ที่ใช้สารดูดความชื้น

ที่ได้กล่าวมาข้างต้นเป็นระบบ DOAS ที่ใช้คอยล์เย็นในการลดเอนทัลปีของอากาศ นอกจากนี้ยังมีระบบ DOAS ที่เครื่อง OAU ใช้เทคโนโลยีของสารดูดความชื้น (desiccant technology) แทนคอยล์เย็น รูปที่ 9 แสดงแผนภาพของเครื่อง OAU ที่ประกอบด้วยวงล้อสารดูดความชื้น (Desiccant wheel) และวงล้อแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat wheel) เช่นเดียวกับระบบ DOAS ซึ่งแยกการจัดการความร้อนแฝงและความร้อนสัมผัสให้เป็นอิสระจากกัน

ในError! Reference source not found. เมื่ออากาศจากภายนอก (อุณหภูมิและความชื้นสูง) เคลื่อนผ่านวงล้อสารดูดความชื้น อากาศจะมีความชื้นลดลงแต่จะอุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งเป็นผลจากกระบวนการดูดซับไอน้ำของสารดูดความชื้น อย่างไรก็ตาม เมื่ออากาศนี้เคลื่อนผ่านวงล้อแลกเปลี่ยนความร้อน อากาศจะมีความชื้นลดลง (และความชื้นต่ำด้วย) เนื่องจากได้ถ่ายโอนความร้อนให้กับอากาศทั้งจากอาคารซึ่งยังมีอุณหภูมิต่ำอยู่ อากาศภายนอกที่ผ่านวงล้อแลกเปลี่ยนความร้อนนี้ยังต้องลดอุณหภูมิลงอีกครั้งด้วยคอยล์เย็นเพื่อให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของอากาศในอาคาร กระบวนการข้างต้นนี้เรียกว่ากระบวนการ Dehumidification



รูปที่ 2.4 การลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้น

ในอีกด้านหนึ่ง อากาศทั้งจากอาคารที่ผ่านวงล้อแลกเปลี่ยนความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น และจะถูกให้ความร้อนซ้ำอีกครั้งด้วยฮีตเตอร์ เพื่อใช้ไล่ความชื้นออกจากวงล้อสารดูดความชื้น สำหรับการนำกลับไปใช้ใหม่ กระบวนการในส่วนนี้เรียกว่า กระบวนการ Regeneration จากการวิจัยพบว่าอุณหภูมิอากาศ 80°C เพียงพอสำหรับกระบวนการ Regeneration [15] ซึ่งอุณหภูมิระดับนี้สามารถใช้ความร้อนทั้งที่มีในอาคาร เช่น โรงแรม โรงพยาบาล (ซึ่งจะมีการใช้หม้อไอน้ำ) หรืออาจใช้ความร้อนจากรังสีอาทิตย์

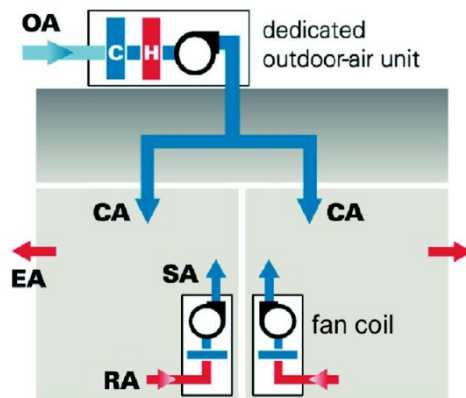
ประสิทธิภาพของวงล้อสารดูดความชื้นขึ้นกับหลายปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วของกระแสอากาศในกระบวนการลดความชื้นและกระบวนการรีเจนเนอเรชัน [16, 17] ดังนั้น ในการประยุกต์ใช้วงล้อดูดความชื้นเพื่อบำบัดอากาศในการปรับอากาศ จึงจำเป็นต้องเข้าใจลักษณะและการทำงานของวงล้อสารดูดความชื้น [18, 19]

2.3 การเติมอากาศจากเครื่องเติมอากาศ

ระบบปรับอากาศที่มีเครื่องเติมอากาศแบบอิสระ (DOAS) สามารถออกแบบให้เติมอากาศจากภายนอกผ่านเครื่องเติมอากาศได้ 2 วิธี คือ การเติมอากาศเข้าสู่พื้นที่โดยตรงและการเติมอากาศไปที่เครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่ [20 - 22]

2.3.1 การเติมอากาศภายนอกเข้าสู่พื้นที่โดยตรง

ระบบเติมอากาศแบบอิสระในError! Reference source not found. จะมีเครื่องเติมอากาศทำหน้าที่ปรับอากาศภายนอกที่นำมาระบายอากาศส่งผ่านท่อลมและหัวจ่ายเข้าสู่พื้นที่โดยตรง ในขณะที่การปรับอากาศในพื้นที่จะมีอุปกรณ์ที่แยกเฉพาะ เช่น ฮีตปั๊ม เครื่องปรับอากาศชนิดติดผนัง หรือ คอยล์เย็น เป็นต้น ข้อดีและข้อด้อยของการเติมอากาศผ่านเครื่องเติมอากาศภายนอกเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศโดยตรงแสดงดัง



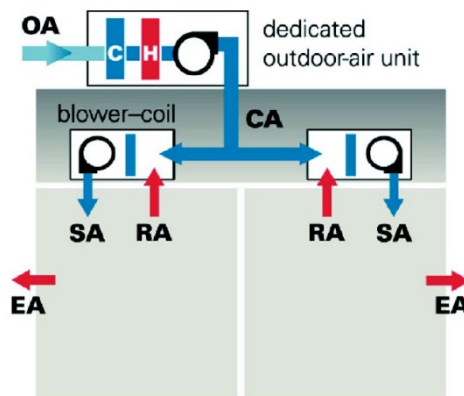
รูปที่ 2.5 ระบบปรับอากาศแบบ DOAS ที่จ่ายอากาศเข้าสู่พื้นที่โดยตรง [22]

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อด้อยของการเติมอากาศเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศโดยตรง

ข้อดี	ข้อด้อย
1. การแยกระบบระบายอากาศและอากาศหมุนเวียนออกจากกัน ทำให้สามารถใช้พัดลมขนาดเล็กช่วยลดพลังงานที่ใช้กับพัดลมในระบบ	1. ต้องเดินท่อลมที่ใช้ระบายอากาศและหัวจ่ายขนานไปกับท่ออากาศหมุนเวียนซึ่งอาจเพิ่มค่าใช้จ่ายของการติดตั้งระบบ
2. การจ่ายอากาศที่เย็นและแห้งเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศสามารถช่วยลดภาระความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงของเครื่องส่งลมเย็นพื้นที่ได้ ทำให้เครื่องมีขนาดเล็กลง	2. การแยกหัวจ่ายระหว่างอากาศภายนอกที่ผ่านการปรับอากาศมาแล้วและอากาศหมุนเวียน อาจทำให้เกิดการผสมกันได้อย่างสมบูรณ์

2.3.2 การเติมอากาศไปที่เครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่

ในระบบนี้ เครื่องเติมอากาศจะทำหน้าที่ปรับอากาศภายนอกที่นำมาระบายอากาศแล้วจ่ายอากาศเข้าไปผสมกับอากาศหมุนเวียนและนำเข้าสู่เครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่ เพื่อจ่ายอากาศที่ผสมแล้วกลับสู่พื้นที่ปรับอากาศ ระบบนี้แสดงดังError! Reference source not found. และข้อดีและข้อด้อยของการเติมอากาศผ่านเครื่องเติมอากาศเข้าสู่เครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่แสดงดังตารางที่ 2. 1



รูปที่ 2.6 ระบบปรับอากาศแบบ DOAS ที่จ่ายอากาศเข้าสู่เครื่องปรับอากาศในแต่ละพื้นที่ [22]

ตารางที่ 2. 1 ข้อดีและข้อเสียของการเติมอากาศเข้าสู่เครื่องปรับอากาศในแต่ละพื้นที่

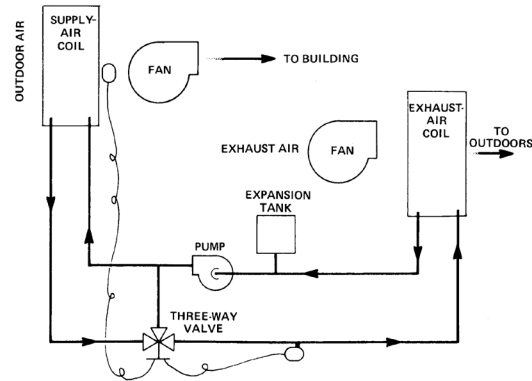
ข้อดี	ข้อเสีย
1. สามารถใช้ท่อลมและหัวจ่ายร่วมกันระหว่างอากาศหมุนเวียนและอากาศที่นำมาระบายอากาศ อาจช่วยลดค่าใช้จ่ายเริ่มต้นสำหรับระบบท่อ	1. เครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่ต้องทำงานตลอดเพื่อการระบายอากาศในพื้นที่
2. การรวมอากาศที่นำมาระบายอากาศและอากาศหมุนเวียนเข้าด้วยกัน แล้วจ่ายไปที่หัวจ่ายเดียวกัน จะช่วยให้ง่ายต่อการผสมอากาศอย่างสมบูรณ์	2. เสียประโยชน์ที่ได้รับจากการปรับอากาศด้วยเครื่องเติมอากาศภายนอก เพราะ อากาศเย็นและแห้งจากเครื่องเติมอากาศไม่ถูกส่งเข้าพื้นที่ปรับอากาศ ดังนั้น ภาระความร้อนสัมผัสในพื้นที่ดังกล่าวจะไม่เปลี่ยนแปลง

2.4 อุปกรณ์ประกอบสำหรับเครื่องเติมอากาศ

อุปกรณ์หลักสำหรับเครื่องเติมอากาศที่ใช้อยู่ทั่วไป คือ คอยล์น้ำเย็น ซึ่งทำหน้าที่ลดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายนอกก่อนจ่ายเข้าสู่ระบบด้วยรูปแบบการจ่ายอากาศในลักษณะต่าง ๆ และเพื่อพัฒนาให้เครื่องเติมอากาศให้มีศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงานและทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของทั้งระบบปรับอากาศดีขึ้น จึงมีการนำอุปกรณ์แลกเปลี่ยนพลังงานชนิดต่าง ๆ มาติดตั้งรวมในเครื่องเติมอากาศ [23]

2.4.1 รันอะราวด์คอยล์ (Runaround Coil)

รันอะราวด์คอยล์ (Runaround coil) ประกอบด้วยคอยล์น้ำเย็นที่วางอยู่ระหว่างกระแสของอากาศจ่ายและอากาศที่ทิ้งจากอาคาร คอยล์จะเชื่อมต่อกับเป็นวงจรปิดที่มีการบรรจุด้วยของไหลถ่ายโอนความร้อน (น้ำและสารละลายกันแข็งตัว) ระบบท่อนี้จะเชื่อมต่อเข้ากับปั๊มแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 รันอะราวด์คอยล์ (Runaround Coil) [23]

2.4.1.1 คุณลักษณะ

รันอะราวด์คอยล์มีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูงและเหมาะในงานอุตสาหกรรม ระบบสามารถถ่ายเทความร้อนได้ทันที ถึงสำหรับการขยายตัว (Expansion tank) จำเป็นสำหรับระบบนี้ เพื่อให้ของไหลในวงจรสามารถขยายและหดตัวได้ หากเลือกใช้ถังสำหรับการขยายตัวแบบปิด (Closed expansion tank) ในระบบที่ใช้เอทิลีนไกลคอลจะทำให้การเกิดออกซิเดชันน้อยที่สุด

2.4.1.2 โครงสร้าง

การเลือกวัสดุที่ใช้เป็นโครงสร้างของรันอะราวด์คอยล์จะต้องเลือกคอยล์ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและสภาวะการดำเนินงานของเครื่องมือ ปัจจัยที่สำคัญในการเลือกคอยล์ คือ อุณหภูมิการดำเนินงาน ความดันลม การกัดกร่อนและคุณสมบัติของอากาศที่มาแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างกัน หากต้องใช้งานรันอะราวด์คอยล์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส จะต้องเลือกคอยล์ที่เชื่อมต่อกับครีบบางอย่าง นอกจากนั้นผลกระทบจากการควบแน่นก๊าซและปัจจัยด้านลบอื่นๆ ยังมีความสำคัญในการเลือกโครงสร้างและการเคลือบคอยล์ให้เหมาะสมกับการใช้งานด้วย

2.4.1.3 ของไหลถ่ายเทความร้อน (Thermal Transfer Fluids)

ของไหลที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะขึ้นอยู่กับนำไปใช้งานและอุณหภูมิระหว่างกระแสอากาศทั้งสอง โดยทั่วไปแล้ว เอทิลีนไกลคอลจะถูกนำมาใช้เป็นสารป้องกันการแข็งตัวของน้ำที่อยู่ในสารละลาย โดยบริษัทผู้ผลิตคอยล์มักจะแนะนำชนิดของสารละลายที่เหมาะสมกับการใช้งานมาด้วย

2.4.1.4 ประสิทธิภาพในการทำงาน

รันอะราวด์คอยล์ไม่สามารถถ่ายเทน้ำที่อยู่ในอากาศจากกระแสอากาศหนึ่งไปสู่อีกกระแสอากาศหนึ่ง อย่างไรก็ตาม การระเหยเป็นไอทางอ้อมที่สามารถลดอุณหภูมิของอากาศที่ถูกทิ้งจากอาคารได้ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยลดภาระในการทำความเย็น ค่าประสิทธิภาพในการทำงานของรันอะราวด์คอยล์จะอยู่ในช่วง 45 ถึง 65

เปอร์เซ็นต์ แต่ระบบที่มีประสิทธิภาพสูงสุดไม่จำเป็นต้องประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากที่สุด โดยทั่วไปแล้วประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนสัมผัสในรั้นอะราร์ดคอยล์จะมีค่าไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศภายนอก แต่การควบคุมขนาดในการทำความเย็นจะทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนสัมผัสมีค่าลดลง

2.4.1.5 การบำรุงรักษา

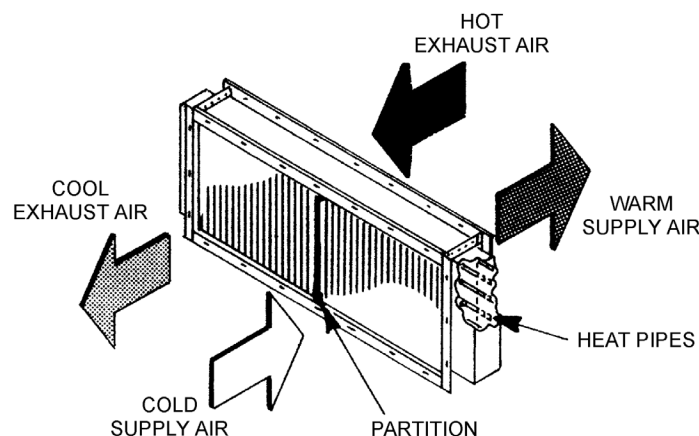
รั้นอะราร์ดคอยล์ต้องการการบำรุงรักษาเพียงเล็กน้อยเท่านั้น รั้นอะราร์ดคอยล์มีส่วนที่เคลื่อนเฉพาะที่ปั๊มและวาล์วควบคุมแบบสามทางเท่านั้น อย่างไรก็ตาม ในการดำเนินการที่สถานะที่เหมาะสม อากาศจะต้องผ่านการกรองมาก่อน พื้นผิวของคอยล์จะต้องสะอาดและต้องมีการซ่อมบำรุงปั๊มและวาล์วอยู่เสมอ อีกทั้งของไหลที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนต้องมีการเติมหรือเปลี่ยนใหม่อย่างสม่ำเสมอตามช่วงเวลาที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ

2.4.1.6 การปนเปื้อนระหว่างกระแอากาศ (Cross-Contaminant)

เนื่องจากการแบ่งแยกกระแอากาศทั้งสองส่วนออกจากกันอย่างสมบูรณ์ ปัญหาการปนเปื้อนระหว่างกระแอากาศที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนและอากาศที่ถูกปล่อยทิ้งจากตัวอาคารจะไม่เกิดขึ้น

2.4.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์ (Heat pipe heat exchangers)

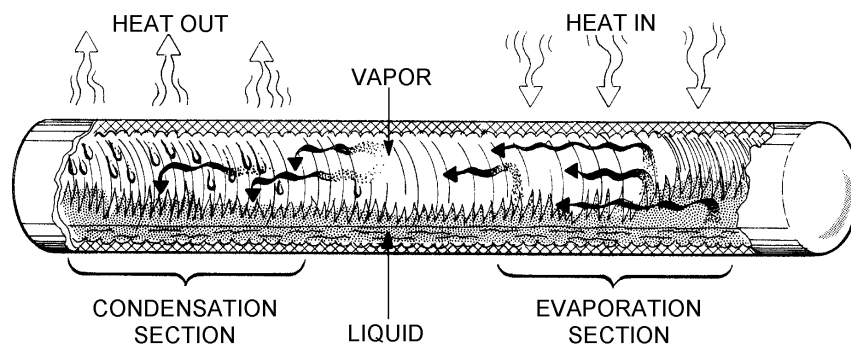
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์ (Heat pipe heat exchangers) เป็นอุปกรณ์ที่ดึงความร้อนกลับมาใช้งานได้ในปริมาณมากๆ โครงสร้างภายนอกมีลักษณะเหมือนกับคอยล์ไอน้ำ แต่ต่างตรงท่อที่อยู่ภายในไม่มีการเชื่อมต่อกัน และท่อที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนถูกแบ่งเป็นส่วนของการระเหยเป็นไอและส่วนของการควบแน่น ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์ (Heat Pipe Heat Exchangers) [23]

อากาศร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านส่วนระเหยเป็นไอ ขณะที่อากาศเย็นจะเคลื่อนที่ผ่านส่วนควบแน่น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนสัมผัส แต่การควบแน่นภายในครีบบจะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนแฝงด้วยส่วนหนึ่ง ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการดึงความร้อนกลับดียิ่งขึ้น

ฮีตไปป์ซึ่งแสดงใน**Error! Reference source not found.** ประกอบด้วยแผ่นตะแกรงซ้อนเป็นท่ออยู่ภายในเรียกว่า วิก (wick) ภายในท่อจะทำให้เป็นสุญญากาศแล้วบรรจุด้วยของไหลที่เหมาะสม จากนั้นจึงปิดผนึกแบบถาวรของไหลที่บรรจุภายในฮีตไปป์มักเป็นสารทำความเย็น แต่สารจำพวกฟลูออโรคาร์บอน (fluorocarbons) น้ำ และสารประกอบอื่นๆ ก็สามารถนำไปบรรจุในฮีตไปป์ได้ในกรณีที่ระบบต้องการทำอุณหภูมิที่ต่างไปจากที่สารทำความเย็นทำได้



รูปที่ 2.9 ฮีตไปป์ (Heat pipe tube) [23]

2.4.2.1 หลักการทำงาน

อากาศร้อนจะเคลื่อนที่เข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ส่วนของการระเหยเป็นไอ เพื่อให้ของไหลในฮีตไปป์ระเหย จากนั้น ความแตกต่างของความดันจะผลักดันให้ไอของของไหลเคลื่อนไปสู่ส่วนควบแน่นของฮีตไปป์ ซึ่งทำให้ไอของของไหลควบแน่นและปลดปล่อยพลังงานความร้อนแฝงจากการกลายเป็นไอ จากนั้นไอของของไหลที่ควบแน่นแล้วจะเคลื่อนที่ผ่านวิกไปที่ผิวของฮีตไปป์ แล้วเคลื่อนกลับไปสู่ส่วนการระเหยเป็นไอในฮีตไปป์อีกครั้งนับเป็นหนึ่งรอบการทำงาน ดังนั้น ของไหลภายในฮีตไปป์จะทำงานในระบบปิดของการกลายเป็นไอและการควบแน่น โดยจะทำงานต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ด้วยแรงผลักดันของความแตกต่างของอุณหภูมิภายใน กระบวนการถ่ายเทพลังงานในฮีตไปป์มักเป็นแบบอุณหภูมิคงที่ (Isothermal) แต่ความจริงแล้วที่บริเวณผิวท่อที่วิกและที่ตัวกลางของของไหล อุณหภูมิจะลดลงเล็กน้อย ความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนของฮีตไปป์ขึ้นอยู่กับ การออกแบบวิก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ ชนิดของของไหลที่บรรจุอยู่ในฮีตไปป์ และลักษณะการวางฮีตไปป์

2.4.2.2 โครงสร้าง

ในระบบปรับอากาศทั่วไปจะใช้ทองแดงหรืออะลูมิเนียมในการทำฮีตไปป์และใช้อะลูมิเนียมทำครีบ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์ที่ใช้งานกับอากาศทั้งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 220 องศาเซลเซียส มักใช้อะลูมิเนียมในการทำท่อและครีบ อาจมีการเคลือบสารป้องกันการกัดกร่อนที่มีราคาไม่สูงที่ผิวอะลูมิเนียมแทนการใช้โลหะที่มีราคาแพง โดยสารเคลือบจะมีผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อนของฮีตไปป์เพียงเล็กน้อย

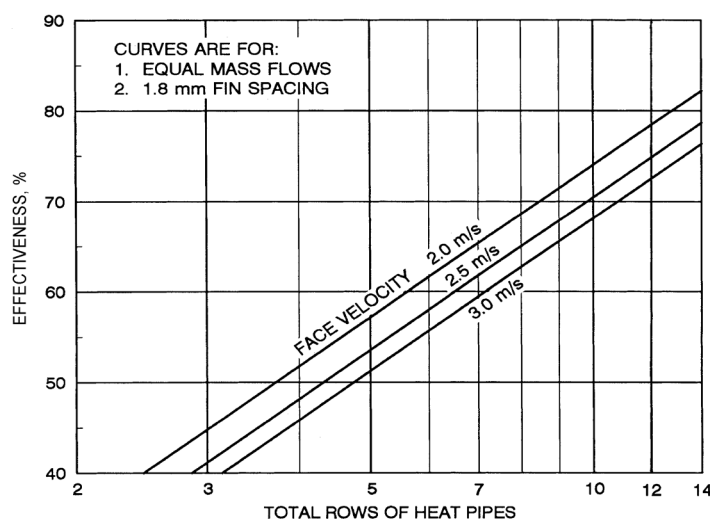
ในกรณีที่ใช้งานกับอากาศทั้งที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 220 องศาเซลเซียส มักใช้เหล็กในการทำท่อและครีบแต่จะมีการเคลือบอะลูมิเนียมเพื่อป้องกันการเกิดสนิม สำหรับระบบปรับอากาศอื่นๆ ที่มีลักษณะเฉพาะ การนำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์มาใช้งานจะต้องได้รับการออกแบบพิเศษ โดยมีความแตกต่างจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตามปกติที่วัสดุโครงสร้างและชนิดของของไหลที่บรรจุในฮีตไปป์

2.4.2.3 ของไหลถ่ายเทความร้อน (Thermal Transfer Fluids)

สิ่งสำคัญในการใช้งานระยะยาวของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์ คือ การเลือกชนิดของของไหลที่บรรจุในฮีตไปป์ให้มีความเหมาะสม ของไหลที่บรรจุในฮีตไปป์ควรมีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอและค่าแรงตึงผิวที่สูงโดยมีค่าความหนืดน้อยในสภาวะทำงาน อีกทั้งยังต้องมีเสถียรภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิทำงาน นอกจากนี้ ของไหลที่เลือกต้องไม่สลายตัวในช่วงอุณหภูมิทำงาน เพราะอาจทำให้เกิดก๊าซที่ไม่สามารถควบแน่นได้ ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแยกลง

2.4.2.4 ประสิทธิภาพ

ความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนของฮีตไปป์ขึ้นอยู่กับ การออกแบบและการจัดวางฮีตไปป์ รูปที่ 2.10 แสดงค่าประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์ ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วผ่านคอยล์กับจำนวนแถวของฮีตไปป์



รูปที่ 2.10 ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์ [23]

จากรูปที่ 2.10 พบว่า เมื่อจำนวนแถวฮีตไปป์มีมากขึ้น ค่าประสิทธิผลจะมากขึ้นด้วยเช่นกัน แต่หากเพิ่มความเร็วของอากาศที่เข้าสู่คอยล์จะทำให้ประสิทธิผลลดลง ค่าประสิทธิผลของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์ที่ให้อากาศไหลสวนทางกันจะขึ้นอยู่กับจำนวนแถวของฮีตไปป์ทั้งหมดเท่านั้น เช่น ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีฮีตไปป์สองท่อมาต่ออนุกรมกัน จะมีค่าเท่ากับค่าประสิทธิผลของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีฮีตไปป์เพียงท่อเดียว หากทั้งสองกรณีมีจำนวนแถวฮีตไปป์เท่ากัน แต่การใช้ท่อมาต่ออนุกรมกันก็ยังเป็นที่ยอมรับในกรณีที่ต้องการความสะดวกในการใช้งาน การทำความสะอาด และการบำรุงรักษา

ความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนของฮีตไปป์มีค่าเป็นสัดส่วนยกกำลังสองกับเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในของท่อ เช่น ฮีตไปป์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 25 มิลลิเมตรจะสามารถถ่ายเทความร้อนได้เป็น 2.5 เท่าของฮีตไปป์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 16 มิลลิเมตร เนื่องจาก ฮีตไปป์ที่มีความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางภายในมากจะมีกระแสาอากาศไหลผ่านได้มากกว่าทำให้ถ่ายเทความร้อนได้มากกว่า

ขีดจำกัดในการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องมือแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์ไม่ขึ้นกับความยาวของท่อ ยกเว้นหากฮีตไปป์สั้นมากๆ เช่น ฮีตไปป์ที่มีท่อความยาว 1 เมตรจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับท่อที่มีความยาว 2 เมตร หากมีความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน เนื่องจากท่อยาว 2 เมตรจะมีพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนเป็น 2 เท่าของท่อยาว 1 เมตรทำให้ท่อยาว 2 เมตรมีการแลกเปลี่ยนความร้อนไปถึงจุดขีดความสามารถของท่อได้เร็วกว่า ดังนั้น การเพิ่มความยาวของท่อไม่ช่วยให้ค่าประสิทธิผลเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นหากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของฮีตไปป์สามารถทำได้โดยการปรับการจัดวางท่อหรือการเพิ่มจำนวนแถวของท่อ แต่ให้ท่อสั้นลง เพื่อให้ได้พื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนเท่าเดิมแต่เพิ่มประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบ

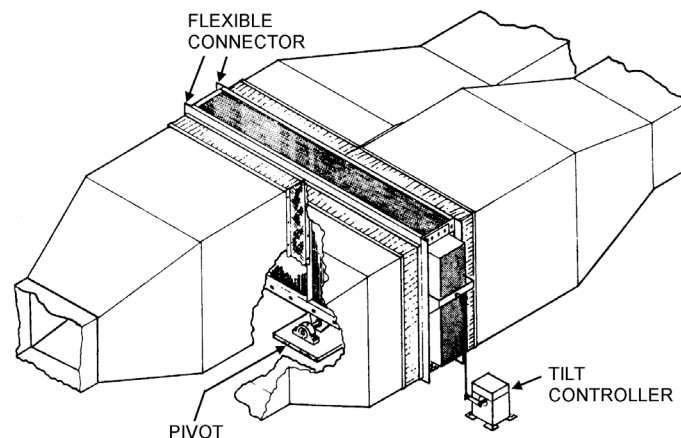
การออกแบบครีบบและช่องว่างภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะต้องอยู่บนพื้นฐานว่า กระแสาอากาศที่มาแลกเปลี่ยนภายในเครื่องมือสะอาดหรือไม่ เพราะจะส่งผลถึงการทำความสะอาดและการบำรุงรักษาครีบบและช่องว่างอย่างมาก ดังนั้น การออกแบบนอกจากจะต้องคำนึงถึงค่าความดันลมที่ยอมรับได้และจะต้องคำนึงถึงกรณีที่มีความสกปรกเกิดขึ้นที่ฝั่งรับอากาศทั้งจากตัวอาคารให้มีความสะดวกต่อการทำความสะอาดและบำรุงรักษาด้วย

2.4.2.5 การควบคุม

การเปลี่ยนแปลงความเอียงของฮีตไปป์จะเป็นตัวควบคุมปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์ การทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยให้ฮีตไปป์ฝั่งที่ร้อนกว่าอยู่ต่ำกว่า (หรือสูงกว่า) เส้นแนวนอนจะช่วยเพิ่ม (หรือลด) ปริมาณไอของไหลควบแน่นที่เคลื่อนที่กลับไปสู่ปลายท่ออีกฝั่งที่มี

การระเหยกลายเป็นไอ ความสามารถที่กล่าวมาข้างต้นนี้สามารถนำไปใช้เพื่อปรับค่าประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตปั๊ม

ในการนำการควบคุมที่กล่าวข้างต้นไปใช้งานจริงนั้น ตัวควบคุมความเอียงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะทำงานโดยมีการติดตั้งจุดหมุนไปที่กึ่งกลางของตัวเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แล้วเชื่อมต่อเข้ากับตัวควบคุมอุณหภูมิที่ด้านใดด้านหนึ่งของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนดัง**Error! Reference source not found.** มีแผ่นเชื่อมต่อที่มีความยืดหยุ่น (Flexible connector) ที่ติดอยู่กับช่องรับอากาศ ซึ่งจะยอมให้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถเอียงได้เล็กน้อยอย่างอิสระ (เอียงได้เองมากที่สุด 6 องศา)



รูปที่ 2.11 อุปกรณ์ควบคุมในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตปั๊ม [23]

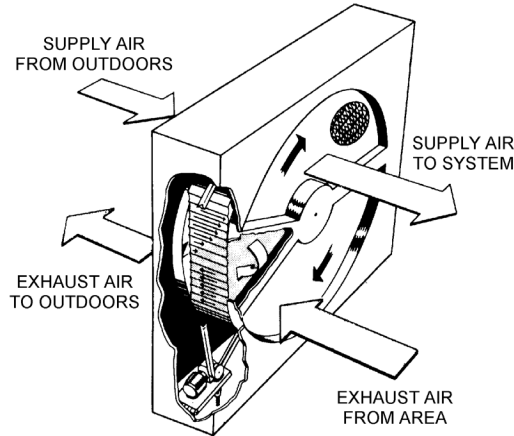
ความจำเป็นในการติดตั้งตัวควบคุมความเอียงมีเหตุผล 3 ข้อ ได้แก่

- เพื่อเปลี่ยนลักษณะการทำงานจากการใช้งานกับอากาศทิ้งที่มีอุณหภูมิสูงมาเป็นอากาศทิ้งที่มีอุณหภูมิต่ำ (คือ การกลับทิศในการแลกเปลี่ยนความร้อน) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ
- เพื่อรักษาประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้เหมาะสมจะได้รักษาอุณหภูมิของอากาศที่ต้องการได้ หลีกเลี่ยงการทำความร้อนมากเกินไป
- เพื่อลดประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ป้องกันการเกิดการแข็งตัว ในกรณีที่อุณหภูมิภายนอกมีค่าต่ำ การลดประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะทำให้อากาศที่ออกจากเครื่องมีอุณหภูมิอุ่นกว่า โดยอุณหภูมินี้จะมีค่ามากกว่าอุณหภูมิการแข็งตัว

2.4.3 เครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน (Rotary air-to-air energy exchanger)

เครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน (Rotary air-to-air energy exchanger) หรือ Rotary enthalpy wheel เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานที่มีท่อทรงกระบอกหมุนได้บรรจุด้วยตัวกลางที่สามารถถ่ายเทอากาศได้และมีพื้นที่ผิวภายในขนาดใหญ่ เครื่องแลกเปลี่ยนจะถูกแบ่งเป็นสองส่วนเพื่อรับกระแสอากาศที่ใช้แลกเปลี่ยนพลังงาน

เช่น ระหว่างอากาศที่เติมจากภายนอกกับอากาศที่ถูกปล่อยทิ้งโดยทิศทางการไหลของกระแสอากาศสวนทางกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.10 เครื่องแลกเปลี่ยนสามารถเลือกให้ถ่ายเทได้เพียงความร้อนสัมผัสหรืออาจถ่ายเทความร้อนทั้งหมด (ความร้อนสัมผัสรวมกับความร้อนแฝง) ขึ้นอยู่กับตัวกลางที่เลือกใช้



รูปที่ 2.12 เครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานอากาศแบบหมุน (Rotary air-to-air energy exchanger) [23]

ความร้อนสัมผัสจะถูกถ่ายเทไปเก็บไว้ในตัวกลางของเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงาน ซึ่งจะเก็บความร้อนจากกระแสอากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจากนั้นจะปล่อยไปสู่กระแสอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ส่วนความร้อนแฝงที่มีการถ่ายเทผ่านตัวกลางมีสองรูปแบบ คือ ความร้อนแฝงจากการควบแน่นน้ำที่อยู่ในกระแสอากาศที่มีสัดส่วนความชื้นสูง (อาจเกิดเนื่องจากอุณหภูมิของตัวกลางในเครื่องแลกเปลี่ยนมีค่าต่ำกว่าจุดน้ำค้าง) หรือความร้อนแฝงอีกรูปแบบหนึ่ง ได้แก่ ความร้อนแฝงจากการกลายเป็นไอของไอน้ำเข้าสู่กระแสอากาศที่มีสัดส่วนความชื้นต่ำ ดังนั้นอากาศที่เติมจากภายนอกจะถูกทำให้แห้งขึ้น ในขณะที่อากาศระบายทิ้งจะถูกทำให้มีความชื้นสูงขึ้นก่อนที่จะระบายออกจากอาคารต่อไป

ในการถ่ายเทความร้อนทั้งหมด (ความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง) จะถูกถ่ายเทอย่างทันทีทันใดเนื่องจาก กระแสอากาศที่ไหลสวนทางกัน โดยเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยทำให้เครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบนี้ใช้พื้นที่ในการทำงานน้อยและมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทสูง

2.4.3.1 โครงสร้าง

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเลือกวัสดุในการทำเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน (Rotary air-to-air energy exchanger) ทั้งส่วนของโครงสร้างภายนอก ส่วนที่มีการหมุน และตัวกลางในการแลกเปลี่ยนพลังงาน ได้แก่ ความปนเปื้อนของอากาศ จุดน้ำค้าง อุณหภูมิของอากาศที่ถูกปล่อยทิ้งเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนและคุณสมบัติของอากาศที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนพลังงาน

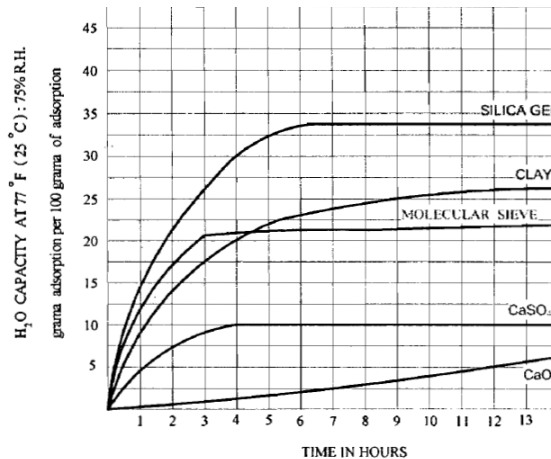
อะลูมิเนียม เหล็ก และโพลิเมอร์เป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมผลิตเป็นโครงสร้างหลัก โครงสร้างภายนอกและส่วนที่มีการหมุนในระบบที่มีการถ่ายเททั่วไป ส่วนตัวกลางที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนพลังงานนิยมใช้โลหะ แร่ธาตุ หรือวัสดุสังเคราะห์ที่สามารถใช้งานในการไหลแบบสุมและการไหลแบบมีทิศทางแน่นอนได้ดี

2.4.3.2 ตัวกลางที่ใช้ในการไหลแบบไร้ทิศทาง

ตัวกลางในการไหลแบบนี้ผลิตโดยใช้ลวดถักไปกับผ้าขนสัตว์หรือถักไปบนตะแกรงเพื่อให้ได้ชั้นของตัวกลางที่มีรูปแบบตามต้องการ ตะแกรงอะลูมิเนียมจะถูกถักออกมาเป็นรูปคล้ายพวย ซึ่งนิยมใช้ในระบบการระบายอากาศ ส่วนตะแกรงสแตนเลสสตีลจะถูกใช้ในระบบที่มีอุณหภูมิสูงและมีการกัดกร่อนเกิดขึ้นในขณะใช้งาน ตัวกลางที่กล่าวถึงข้างต้นเหมาะสมที่จะนำไปใช้กับอากาศที่สะอาดและผ่านการกรองมาก่อน ตัวกลางที่ใช้ในการไหลแบบสุมต้องมีพื้นที่ผิวมากกว่าตัวกลางที่ใช้ในการไหลแบบมีทิศทางแน่นอนเพื่อให้ได้ปริมาณอากาศและความดันลมตามที่ต้องการ

2.4.3.3 ตัวกลางที่ใช้ในการไหลแบบมีทิศทางแน่นอน

ตัวกลางที่ใช้ในการไหลแบบนี้มีรูปแบบการจัดเรียงมากมายหลายรูปแบบ แต่แบบที่นิยมใช้กันทั่วไปจะประกอบด้วยช่องอากาศขนาดเล็ก (1.5 ถึง 2.0 มิลลิเมตร) วางขนานกับทิศทางการไหลของอากาศ ประสิทธิภาพของช่องให้อากาศผ่านจะมีค่าใกล้เคียงกันไม่ว่ารูปแบบของช่องจะเป็นอย่างไร (เช่น สามเหลี่ยม แปดเหลี่ยม) แผ่นพอลิอะลูมิเนียม กระดาษ พลาสติก และวัสดุสังเคราะห์มักถูกใช้เป็นตัวกลางในระบบที่มีอุณหภูมิไม่สูง ส่วนสแตนเลสสตีลและเซรามิกจะนำมาใช้ในระบบที่มีอุณหภูมิสูงและมีการกัดกร่อนระหว่างการใช้งาน พื้นที่ผิวของตัวกลางที่สัมผัสกับกระแสอากาศจะมีค่าระหว่าง 300 ถึงมากกว่า 3300 m^2/m^3 ขึ้นกับชนิดของตัวกลางและการจัดเรียงทางกายภาพ ตัวกลางสามารถแบ่งได้ตามความสามารถในการถ่ายเทความร้อนสัมผัสอย่างเดียวหรือสามารถถ่ายเทพลังงานได้ทั้งหมด ตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนสัมผัสอย่างเดียวมักทำด้วยอะลูมิเนียม ทองแดง และสแตนเลสสตีล ส่วนตัวกลางในการถ่ายเทพลังงานทั้งหมดจะทำด้วยวัสดุหลายชนิดร่วมกับสารที่ทำให้แห้ง (desiccant) เช่น ซีโอไลต์ โพลิเมอร์สังเคราะห์ ซิลิกาเจล หรืออะลูมิเนียมออกไซด์ ซึ่งจะทำให้ตัวกลางชนิดนี้คุณสมบัติในการถ่ายเทน้ำในอากาศในปริมาณที่แตกต่างกันแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน [23]

2.4.3.4 การควบคุม

การควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนสามารถทำได้ 2 วิธี วิธีการแรก คือ การควบคุมอากาศที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนพลังงาน โดยอากาศที่ใช้แลกเปลี่ยนพลังงานที่เข้าสู่ส่วนหมุนจะถูกวัดอุณหภูมิขาออกด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ปริมาณอากาศจะถูกปรับเปลี่ยนเพื่อให้ได้อุณหภูมิของอากาศที่ใช้แลกเปลี่ยนตามต้องการ วิธีการที่สองเป็นการควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนโดยการปรับความเร็วรอบในการหมุนของส่วนหมุน ซึ่งหากส่วนหมุนมีความเร็วในการหมุนมากก็จะสามารถถ่ายเทพลังงานได้มากขึ้น

2.4.3.5 การบำรุงรักษา

การบำรุงรักษาเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนควรทำตามคำแนะนำของผู้ผลิต โดยทั่วไป สามารถทำได้โดยการทำความสะอาดตัวกลางที่ใช้แลกเปลี่ยนพลังงานเมื่อเกิดคราบ ผุ่นหรือมีวัสดุแปลกปลอมไปติด การบำรุงรักษามอเตอร์ต้องทำตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตอย่างเคร่งครัด มอเตอร์ที่ใช้ควบคุมความเร็วจำเป็นต้องมีการตรวจสอบและบำรุงรักษาบ่อยครั้งกว่ามอเตอร์แบบอื่น กลไกในการสับเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าจะต้องตรวจสอบโดยการเปิดปิดเป็นระยะและการทดสอบการตัดกระแสไฟฟ้า นอกจากนี้ต้องตรวจสอบล้อการหมุนอย่างสม่ำเสมอเพื่อดูว่าสายพานและโซ่รับแรงยังสามารถใช้งานได้ดีอยู่และต้องมีการสำรองและการเปลี่ยนชิ้นส่วนในเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานตามระยะเวลาที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ

2.4.3.6 การปนเปื้อนระหว่างกระแสอากาศ (Cross -Contaminant)

การปนเปื้อนระหว่างกระแสอากาศ (Cross-contaminant) หรือการผสมกันระหว่างอากาศที่ใช้แลกเปลี่ยนพลังงานและอากาศที่ถูกปล่อยทิ้งออกมา เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานที่มีการหมุนทุกรูปแบบ โดยเกิดขึ้นเนื่องจากกลไกสองส่วน คือ การปนเปื้อนผ่านตัวกลางที่ใช้แลกเปลี่ยน (Carryover) และการรั่วไหล

การปนเปื้อนผ่านตัวกลางที่ใช้แลกเปลี่ยน (Carryover) เกิดขึ้นเมื่ออากาศที่ติดอยู่ในตัวกลางที่มีการหมุนถูกพาไปผสมกับกระแสอากาศอีกฝั่งของตัวกลาง ส่วนการรั่วไหลเกิดขึ้น เนื่องจากความแตกต่างของความดันระหว่างกระแสอากาศทั้งสองทำให้อากาศฝั่งที่มีความดันสูงรั่วไหลไปสู่กระแสอากาศที่มีความดันต่ำกว่า การปนเปื้อนระหว่างกระแสอากาศสามารถลดลงได้เมื่อติดตั้งเครื่องเป่าลมเพื่อเพิ่มความดันให้กับอากาศที่ถูกปล่อยทิ้ง ส่วนการลดการปนเปื้อนผ่านตัวกลางที่ใช้แลกเปลี่ยนที่เกิดเมื่ออากาศที่ถูกปล่อยทิ้งไปปนเปื้อนในอากาศที่นำมาแลกเปลี่ยนจะทำได้โดยการติดตั้งส่วนปล่อยออกบรรยากาศ (Purge section) ซึ่งหากติดตั้งส่วนนี้เพิ่มเข้าไปจะลดการปนเปื้อนระหว่างกระแสอากาศให้เหลือเพียง 0.1 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณการปนเปื้อนผ่านตัวกลางโดยไม่มีการติดตั้งส่วนปล่อยออกบรรยากาศจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วรอบในการหมุนของเครื่องมือและอัตราส่วนรูพรุนของตัวกลาง ส่วนเครื่องเป่าลมที่ติดตั้งเพื่อเพิ่มความดันให้กับอากาศที่ถูกปล่อยทิ้งจะถูกติดตั้งอยู่ที่ทางออกของเครื่องแลกเปลี่ยนการกำหนดขนาดของเครื่องเป่าลมต้องคำนึงถึงปริมาณการรั่วไหล การปล่อยออกสู่บรรยากาศ และการปนเปื้อนผ่านตัวกลางของกระแสอากาศ

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัยและแผนการดำเนินงาน

บทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนหลักได้แก่ การสำรวจคุณภาพอากาศภายในอาคารปรับอากาศประเภทต่าง และการศึกษาวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงประสิทธิภาพพลังงานและเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบเติมอากาศประเภทต่างๆ

3.1 การตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคาร

การตรวจวัดคุณภาพอากาศในอาคารต่างๆ เป็นส่วนหนึ่งของกิจกรรมหลักภายใต้โครงการ “การวิจัยและพัฒนาและการศึกษาเปรียบเทียบระบบหมุนเวียนและระบายอากาศประสิทธิภาพพลังงานสูงเพื่อสร้างคุณภาพอากาศ และสภาพสบายเชิงอุณหภูมิภายในอาคาร” ทั้งนี้แนวทางการตรวจวัดคุณภาพอากาศได้แสดงไว้ดังนี้

3.1.1 แนวทางการศึกษา

การศึกษาคุณภาพอากาศในอาคารในประเทศไทยเป็นการสำรวจและตรวจวัดคุณภาพของอากาศโดยใช้เครื่องมือตรวจวัดสภาพของอากาศเบื้องต้นในห้องที่มีลักษณะการใช้งานต่างๆ (เช่น ห้องทำงาน ห้องพัก โถงพักคอย พื้นที่สาธารณะภายในอาคาร ฯลฯ) ในอาคารพาณิชย์และอาคารสาธารณะ (ซึ่งจำแนกตามเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานอาคาร, Building Energy Code) ที่มีการใช้ระบบปรับอากาศแบบส่วนกลาง (Central air conditioning system) และแบบแยก (Split type) โดยได้กำหนดจำนวนอาคารที่จะเข้าสำรวจรวมทั้งสิ้น 15 อาคารประกอบด้วย

- อาคารสำนักงาน จำนวน 3 อาคาร
- สถานศึกษา จำนวน 3 อาคาร
- ห้างสรรพสินค้า จำนวน 3 อาคาร
- โรงพยาบาล จำนวน 3 อาคาร และ
- โรงแรม จำนวน 3 อาคาร

การสำรวจสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนหลักด้วยกัน คือ (1) การสำรวจระบบปรับอากาศ (2) การสำรวจคุณภาพอากาศภายในอาคารแบบเบื้องต้น (Screening) และ (3) การตรวจวัดโดยละเอียดเฉพาะพื้นที่ที่สนใจ (Intensive monitoring)

การสำรวจระบบปรับอากาศ: เป็นการสำรวจระบบการระบายอากาศและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบส่วนกลางเบื้องต้น และนำเสนอปัญหาของระบบปรับอากาศดังกล่าว ทั้งนี้พารามิเตอร์ที่จะทำการศึกษา ประกอบไปด้วย

- ขนาดของเครื่อง AHU
- ปริมาณอากาศเติมเข้าอาคาร
- อุณหภูมิและความชื้นของอากาศจ่ายจากระบบระบายอากาศ
- คุณภาพอากาศภายนอกที่จุดเติมอากาศเข้าอาคาร หรือ พื้นที่ใกล้เคียง (คาร์บอนมอนนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ฟอร์มาลดีไฮด์ และฝุ่นละอองขนาดเล็ก)
- ภาระของการระบายอากาศ
- แนวทางการจ่ายอากาศสู่พื้นที่ต่างๆ

การสำรวจคุณภาพอากาศภายในอาคารแบบเบื้องต้น: เป็นการสำรวจพื้นที่ห้องต่างๆภายในอาคาร ตลอดจนทำการสำรวจคุณภาพอากาศภายในอาคารแบบเบื้องต้น (Grab sampling) เฉพาะห้องที่มีการจ่ายอากาศจากระบบปรับอากาศที่สำรวจในส่วนแรก ทั้งนี้การสำรวจในส่วนนี้จะมุ่งเป้าไปที่ห้องที่มีคุณลักษณะดังต่อไปนี้

- ช่องทางเดิน
- ห้องที่มีขนาดใหญ่ มีผู้คนใช้งานมากตลอดเวลา
- ห้องที่มีขนาดเล็ก มีผู้คนใช้งานมากตลอดเวลา
- ห้องที่มีขนาดใหญ่ มีผู้คนมาใช้งานน้อย
- ห้องที่มีขนาดเล็ก มีผู้คนเข้ามาใช้งานน้อย
- ห้องที่มีการใช้งานเป็นพิเศษ เช่นห้องถ่ายเอกสาร เป็นต้น

ทั้งนี้การสำรวจจะทำการตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ตลอดจนมีการจดบันทึกข้อมูลทั้งหมดภายในห้อง โดยจะทำการสำรวจทั้งหมดเป็นจำนวน 10 ห้องต่อ 1 อาคารเป็นอย่างน้อย พารามิเตอร์ที่จำเป็น และข้อมูลที่จดบันทึกได้แสดงไว้ดัง

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัด

พารามิเตอร์ทางคุณภาพอากาศ	ข้อมูลประกอบ
คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)	จำนวนผู้ใช้งาน
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	ขนาดของห้อง (กว้าง×ยาว×สูง)
ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	เฟอร์นิเจอร์ และอุปกรณ์ประกอบภายในห้อง
ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM _{2.5})	จำนวนช่องเปิดต่างๆ (ประตู หน้าต่าง)
อุณหภูมิ	จำนวนช่องจ่ายอากาศ และดูดอากาศกลับ
ความชื้น	กิจกรรมต่างๆภายในห้อง
ความเร็วในการไหลของอากาศ	

การตรวจวัดโดยละเอียดเฉพาะพื้นที่ที่สนใจ: เป็นการสำรวจพื้นที่โดยละเอียดในห้องที่สนใจ โดยจะต้องเป็นห้องที่มีแนวโน้มการเกิดปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคาร จากการสำรวจเบื้องต้นในหัวข้อที่ผ่านมา โดยจะทำการเก็บข้อมูลดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 เช่นกัน แต่จะทำการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมต่างๆ ภายในห้อง ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศภายในห้องที่ทำการสำรวจนั้น ทั้งนี้ทางทีมงานจะทำการเก็บตัวอย่างคุณภาพอากาศเพียงห้องเดียวต่อ 1 อาคาร

การตรวจวัดในแต่ละพื้นที่จะดำเนินการอย่างน้อย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศภายในห้องที่สัมพันธ์กับการใช้ห้อง เช่น จำนวนผู้ที่อยู่ในห้อง กิจกรรมและลักษณะการใช้ห้องและอื่นๆ ทั้งนี้นอกเหนือจากการตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือแล้ว การสำรวจจะมีการสัมภาษณ์ความคิดเห็นเกี่ยวกับสภาพอากาศในอาคารของผู้ใช้อาคารและสัมภาษณ์ผู้ดูแลอาคารในประเด็นด้านระบบปรับอากาศและการระบายอากาศ

3.2 การศึกษาวิเคราะห์ระบบเติมอากาศ

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการศึกษาระบบเติมอากาศ ที่จะทำให้ทราบถึงองค์ประกอบของเครื่องเติมอากาศที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย การดำเนินงานศึกษาสามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน คือ

ขั้นที่ 1 การกำหนดอาคารตัวอย่าง

ขั้นที่ 2 การกำหนดองค์ประกอบของเครื่องเติมอากาศภายนอก

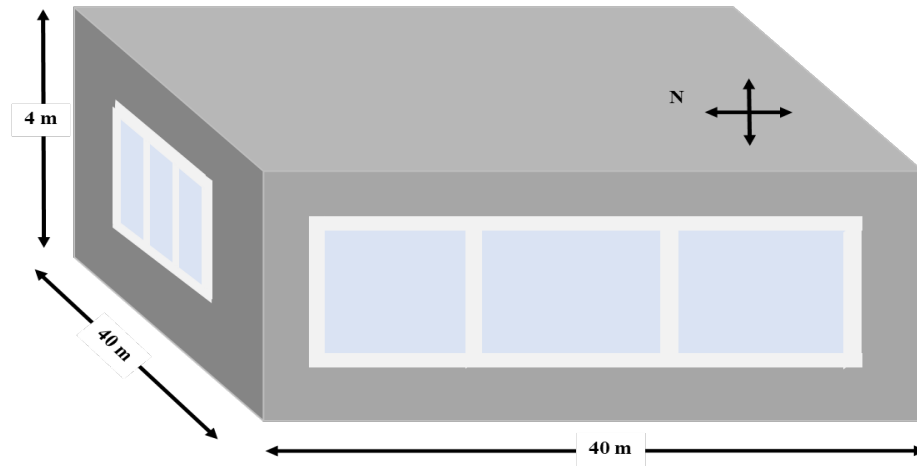
ขั้นที่ 3 การจำลองระบบด้วยโปรแกรม TRNSYS

ขั้นที่ 4 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงต้นทุน

3.2.1 การกำหนดอาคารตัวอย่าง

อาคารตัวอย่างที่นำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่ อาคารสำนักงาน อาคาร
ห้างสรรพสินค้า และอาคารโรงแรม ซึ่งมีความสูง 10 ชั้น โดยแต่ละชั้นของอาคารจะมีรูปร่างและขนาด
เหมือนกันดังแสดงใน Error! Reference source not found. อย่างไรก็ตาม แต่ละอาคารมีผู้ใช้งานและรูปแบบ
ของการใช้งานที่แตกต่างกัน

แสดงค่าพารามิเตอร์ของอาคารที่กำหนดขึ้นสำหรับการวิเคราะห์ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเป็นค่าของผนังก่ออิฐหนา 5 cm. ฉาบปูนสองด้าน ส่วนค่าสมบัติของกระจกที่ใช้เป็นของกระจกสะท้อนความร้อนที่ใช้กันในอาคารส่วนใหญ่



รูปที่ 3.1 แบบจำลองอาคารตัวอย่าง

ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของอาคารแต่ละประเภท

พารามิเตอร์	ประเภท		
	สำนักงาน	ห้างสรรพสินค้า	โรงแรม
กรอบอาคาร			
ค่าสัมประสิทธิ์ส่งผ่านความร้อนของหลังคา (W/m ² .K)	0.589		
ค่าสัมประสิทธิ์ส่งผ่านความร้อนของผนังทึบ (W/m ² .K)	2.965		
ค่าสัมประสิทธิ์ส่งผ่านความร้อนของพื้น (W/m ² .K)	3.448		
กระจก			
อัตราส่วนกระจกต่อผนัง (WWR)	0.35	0.15	0.35
ค่าสัมประสิทธิ์ส่งผ่านความร้อน (W/m ² .K)	5.73		
ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนที่ได้จากแสงอาทิตย์	0.53		
การระบายอากาศ			
อัตราการไหลของอากาศต่อจำนวนคน (CFM/person)	5.0	7.5	5.0
อัตราการไหลของอากาศต่อพื้นที่ (CFM/ft ²)	0.06	0.06	0.06
ภาระทำความเย็นภายในอาคาร			
ความหนาแน่นของคนในพื้นที่ (person/100 m ²)	10	30	10
ภาระความร้อนสัมผัสต่อคน (W/person)	75	90	65
ภาระความร้อนแฝงต่อคน (W/person)	75	95	55
กำลังไฟฟ้าของการส่องสว่างต่อพื้นที่ (W/m ²)	10	19	13

กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (W/m ²)	12	17	14
--	----	----	----

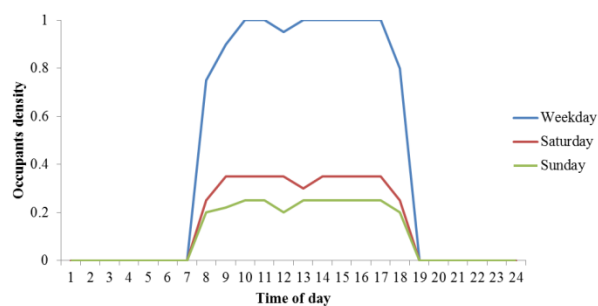
ระบบไฟฟ้าส่องสว่างกำหนดให้ใช้หลอดแอลอีดีที่สามารถให้ความสว่างบนระนาบทำงาน (Workplan) ที่ 500 lux สำหรับอาคารสำนักงานและโรงแรม และที่ 800 lux สำหรับห้างสรรพสินค้า ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างของแต่ละอาคารแสดงไว้ในตารางที่ 3.1 ซึ่งพบว่าค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานสมรรถนะพลังงานอาคารของประเทศไทย เนื่องจากเกณฑ์ที่ใช้อยู่ยังอิงกับหลอดฟลูออเรสเซนต์และบัลลาสต์แกนเหล็กชนิดสูญเสียความร้อนต่ำ

จากตารางจะเห็นว่ามีการกำหนดอัตราการเติมอากาศภายนอกต่อคนที่ 5.0 CFM สำหรับอาคารสำนักงานและโรงแรม และที่ 7.5 CFM สำหรับห้างสรรพสินค้า และอัตราการเติมอากาศภายนอกต่อพื้นที่ที่ 0.06 CFM/ft² สำหรับอาคารทุกประเภท ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ขั้นต่ำตามมาตรฐานการระบายอากาศ ASHREA 62.1: Ventilation for acceptable indoor air quality สำหรับค่าความหนาแน่นของจำนวนคนกำหนดให้ต่างกันไปในแต่ละอาคาร เช่น 10 คนต่อตารางเมตร สำหรับอาคารสำนักงาน และ 30 คนต่อตารางเมตรสำหรับห้างสรรพสินค้า

ในส่วนของการระบความร้อนของผู้ใช้อาคารกำหนดให้ต่างกันตามกิจกรรมที่เกิดขึ้นในอาคาร

3.2.1.1 อาคารสำนักงาน

สำหรับอาคารสำนักงานจะมีการใช้งาน 6 วันต่อสัปดาห์ แบ่งเป็น ช่วงวันทำงานจันทร์-ศุกร์ และช่วงวันเสาร์ โดยระดับความหนาแน่นของผู้ใช้งานแสดงในรูปที่ 3.2 ในการวิเคราะห์นี้กำหนดให้ระบบแสงสว่างและเครื่องจักรอุปกรณ์ของอาคารทำงานตลอดเวลาทำการของอาคาร (8.00-18.00 น.)

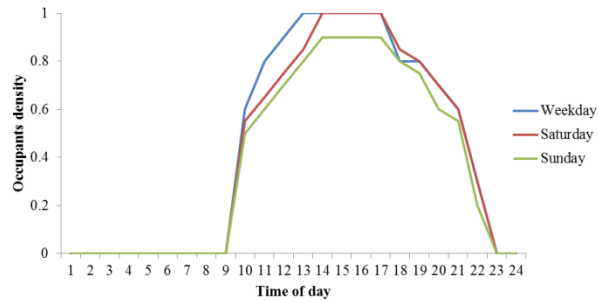


รูปที่ 3.2 ระดับความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารสำนักงาน

3.2.1.2 อาคารห้างสรรพสินค้า

การใช้งานของอาคารสรรพสินค้าแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเช่นกัน คือ วันทำงานวันจันทร์-ศุกร์ และช่วงวันเสาร์ อาทิตย์ การใช้งานของอาคารประเภทห้างสรรพสินค้าจะมีระดับค่อนข้างหนาแน่นในช่วงเย็นของในวัน

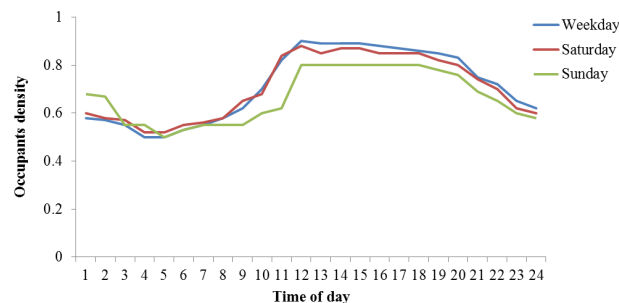
ทำงานและหนาแน่นตลอดวันในวันหยุดสอดคล้องกับระดับความหนาแน่นของผู้ใช้งานแสดงในรูปที่ 3.3 โดยระบบแสงสว่างและเครื่องจักรอุปกรณ์ภายในอาคารจะเปิดใช้งานตลอดเวลาเปิดและปิดทำการของห้างสรรพสินค้า (10.00-22.00 น.)



รูปที่ 3.3 ระดับความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารห้างสรรพสินค้า

3.2.1.3 อาคารโรงแรม

ในกรณีโรงแรม การใช้งานของอาคารจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ วันจันทร์-ศุกร์หรือวันทำงานและวันเสาร์อาทิตย์ โดยระดับความหนาแน่นของผู้ใช้งานแสดงในรูปที่ 3.4 สำหรับการใช้งานของระบบแสงสว่างและของเครื่องมือและอุปกรณ์ภายในอาคารจะเปิดใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง



รูปที่ 3.4 ระดับความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารโรงแรม

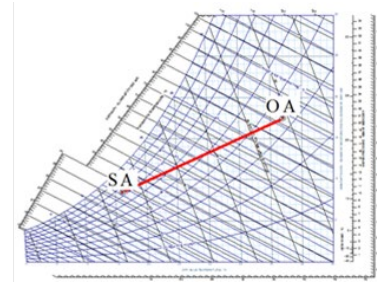
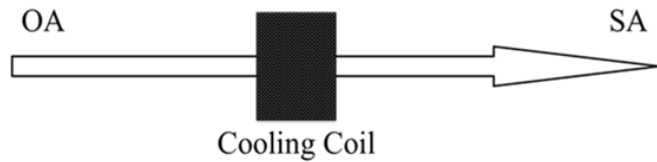
3.2.2 การกำหนดองค์ประกอบของเครื่องเติมอากาศ

ในงานวิจัยนี้กำหนดเครื่องเติมอากาศที่จะศึกษาไว้ 5 แบบ โดยในแต่ละแบบจะเป็นการประกอบคอยล์เย็นเข้ากับอุปกรณ์ต่างๆ ตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2

การประกอบคอยล์เย็นกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดต่างๆ มีวัตถุประสงค์เพื่อการประหยัดพลังงานและด้วยองค์ประกอบภายในของระบบเครื่องเติมอากาศที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการระบายอากาศและการใช้พลังงานที่แตกต่างกันด้วย โดยเครื่องเติมอากาศทั้ง 5 รูปแบบมีหลักการทำงานดังต่อไปนี้

3.2.2.1 รูปแบบที่ 1: คอยล์เย็น (CC)

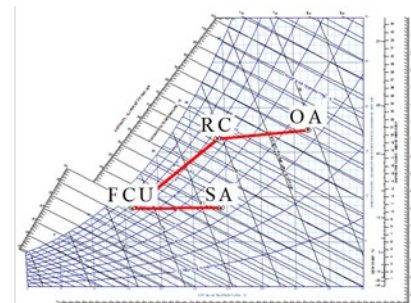
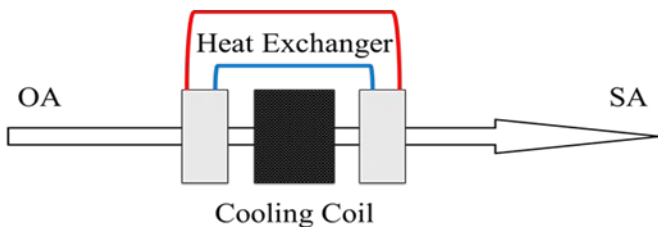
เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้มีเฉพาะคอยล์เย็นเพียงอย่างเดียว อากาศภายนอกจะผ่านคอยล์เย็นและถูกทำให้เย็นและแห้งจนได้สภาวะตามที่ต้องการ เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็น

3.2.2.2 รูปแบบที่ 2: คอยล์เย็นร่วมกับรั้นอะราร์ดคอยล์ (RC)

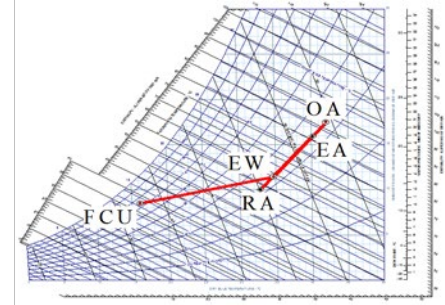
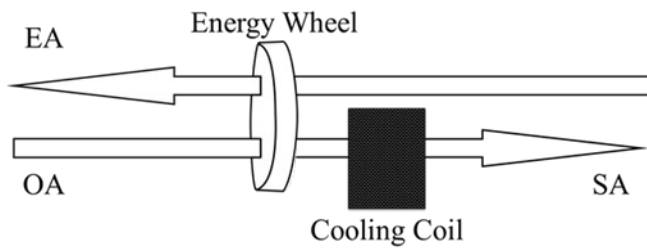
เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้มีการใช้รั้นอะราร์ดคอยล์ร่วมเข้าไปกับคอยล์เย็น อากาศภายนอกจะไหลผ่านด้านอิวาโปรเตอร์ของรั้นอะราร์ดคอยล์ทำให้อากาศเย็นลงก่อนที่จะเข้าสู่คอยล์เย็น จากนั้นจะให้ความร้อนซ้ำกับอากาศหลังจากออกจากคอยล์เย็น (ด้านคอนเดนเซอร์ของรั้นอะราร์ดคอยล์) เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้จะมีอุณหภูมิของลมจ่ายที่ออกมาสูงกว่ารูปแบบที่ 1 ระบบปรับอากาศรูปแบบนี้แสดงดังError! Reference source not found.



รูปที่ 3.6 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับรั้นอะราร์ดคอยล์

3.2.2.3 รูปแบบที่ 3: คอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน

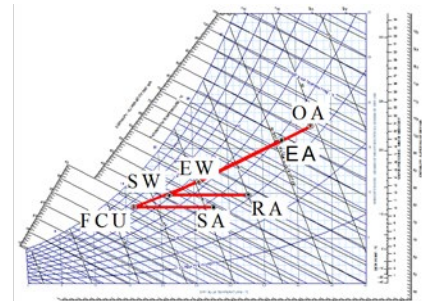
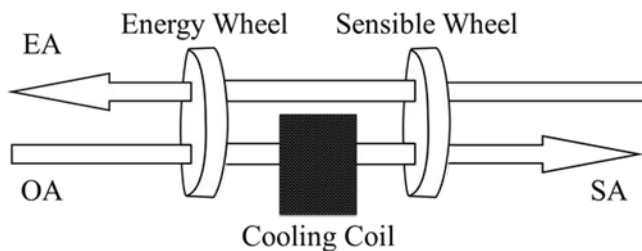
เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้มีการนำเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนมาใช้ร่วมกับคอยล์เย็น โดยเครื่องดังกล่าวจะแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างอากาศที่ระบายทิ้งออกจากอาคาร ซึ่งมีอุณหภูมิและความชื้นที่ต่ำกว่ากับอากาศภายนอกที่มีทิศทางการไหลสวนทางกันก่อนที่จะเข้าสู่คอยล์เย็น ระบบปรับอากาศรูปแบบนี้แสดงดังError! Reference source not found.



รูปที่ 3.7 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน

3.2.2.4 รูปแบบที่ 4: คอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน

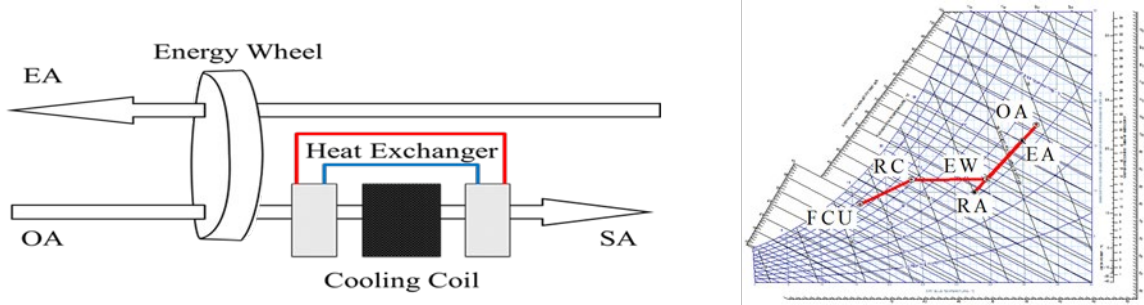
เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้เป็นการนำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัสแบบหมุนมาใช้ร่วมกับเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 3 โดยจะนำอากาศที่ระบายออกจากอาคารมาช่วยเพิ่มอุณหภูมิของลมจ่ายจากเครื่องเติมอากาศ นอกจากนี้จะทำให้อุณหภูมิของอากาศระบายทิ้งต่ำลงก่อนที่จะเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนพลังงานสูงขึ้น ระบบปรับอากาศรูปแบบนี้แสดงดัง Error! Reference source not found.



รูปที่ 3.8 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน

3.2.2.5 รูปแบบที่ 5: คอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและรั้นอะราวต์คอยล์

เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้เป็นการรวมองค์ประกอบของเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 และรูปแบบที่ 3 เข้าด้วยกัน กล่าวคือ มีการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนมาลดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายนอก จากนั้นจะถูกทำให้เย็นลงอีกครั้งก่อนที่จะเข้าสู่คอยล์เย็นและให้ความร้อนซ้ำ ระบบปรับอากาศรูปแบบนี้แสดงดัง Error! Reference source not found.



รูปที่ 3.9 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและรั่นอะราวด์คอยล์

3.2.3 การจำลองระบบด้วยโปรแกรมTRNSYS

โปรแกรมที่นำมาวิเคราะห์ระบบปรับอากาศและระบายอากาศในอาคารประเภทต่างๆ คือโปรแกรม TRNSYS ย่อมาจาก “TRaNsient SYstem Simulation Program” เป็นเครื่องมือช่วยในการจำลองระบบต่างๆ พัฒนาโดยมหาวิทยาลัยวิสคอนซิน สหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ทำการศึกษาวิจัยทางด้านพลังงานโดยเฉพาะ สำหรับโปรแกรม TRNSYS ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แบ่งตามลักษณะการทำงานได้ 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 TRNBuil Programs เป็นโปรแกรมน้อยๆที่ใช้ในการสร้างแบบบ้านหรือแบบอาคารจำลองที่ต้องการTRNBuil สามารถแก้ไขหรือเพิ่มเติมเพิ่มข้อมูลจากที่กำหนดไว้ได้และสามารถเลือกค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการนำเสนอได้อย่างครบถ้วน เช่น อุณหภูมิห้อง ค่าดัชนีความสบายเชิงอุณหภูมิ (PMV) เป็นต้น

ส่วนที่ 2 คือ Trnsys Simulation Studio เป็นโปรแกรมหลักในการประมวลผลและสร้างรูปแบบของระบบต่างๆตามที่ต้องการ ใน Trnsys Studio มีรูปแบบโมเดลมาตรฐานเกี่ยวกับระบบด้านต่างๆ เช่น ด้านพลังงาน ความร้อน ไฟฟ้า ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ รวมถึงระบบทำความเย็นและระบายอากาศซึ่งเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ด้วย

ในการศึกษานี้ เครื่องเติมอากาศภายนอกที่ถูกออกแบบไว้ในหัวข้อ 3.2.2 จะถูกนำมาจำลองระบบการทำงานร่วมกับเครื่องปรับอากาศในแต่ละพื้นที่ของอาคารตัวอย่างประเภทต่างๆตามหัวข้อ 3.2.1 ในรูปแบบขนานด้วยโปรแกรมจำลองการใช้พลังงาน TRNSYS โดยใช้ข้อมูล ลักษณะอาคาร การใช้งาน และรูปแบบของเครื่องเติมอากาศที่ได้ออกแบบไว้รวมถึงข้อมูลสภาพอากาศของกรุงเทพมหานครตลอด 1 ปีดังที่กล่าวถึงในหัวข้อ 2.1 เพื่อหาค่าการใช้พลังงานตลอดทั้งปีรวมถึงประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมของระบบและค่าพารามิเตอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ เช่น อุณหภูมิเข้าและขาออกของเครื่องเป่าลมเย็น เครื่องเติมอากาศภายนอก ความชื้นของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆในระบบ เป็นต้น สำหรับรูปแบบโมเดลมาตรฐานที่ใช้ในการจำลองระบบแสดงดังตารางที่ 3.2 โดยแผนผังของระบบต่างๆที่โมเดลด้วยโปรแกรม TRNSYS แสดงในภาคผนวก ก

ตารางที่ 3.3 รูปแบบโมเดลมาตรฐานที่ใช้ในการจำลอง

อุปกรณ์	รหัสโมเดล	ฟังก์ชัน
คอยล์เย็น	Type 752	เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้ความเย็นให้กับอากาศที่ไหลผ่านคอยล์ ซึ่งภายในบรรจุด้วยสารทำความเย็น
รั้นอะราร์ดคอยล์	Type 689	เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับถ่ายเทความร้อนสัมผัสจากกระแสอากาศหนึ่งไปสู่อีกกระแสอากาศหนึ่ง อย่างไรก็ตามบางลักษณะๆการใช้งานกระแสอากาศทั้งสองอาจเป็นกระแสอากาศเดียวกันได้
เครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน	Type 667	เป็นอุปกรณ์ที่มีกระแสอากาศสองกระแสไหลสวนทางกัน ซึ่งทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนทั้งหมด (ความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง) ระหว่างสองกระแสอากาศผ่านตัวกลาง
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัสแบบหมุน	Type 760	เป็นอุปกรณ์ที่มีลักษณะเหมือนกันกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนต่างกันที่ตัวกลางที่ใช้สามารถถ่ายเทได้เฉพาะความร้อนสัมผัสเท่านั้น
อาคารจำลอง	Type 56	เป็นโปรแกรมย่อยที่ใช้ในการสร้างแบบอาคารจำลอง (TRNBuil Programs)
ข้อมูลสภาพอากาศ	Type 99	เป็นส่วนหนึ่งของ Trnsys Simulation Studio มีหน้าที่ในการอ่านข้อมูลสภาพอากาศและประมวลผลเป็นรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบอาคารจำลองในทิศต่างๆ

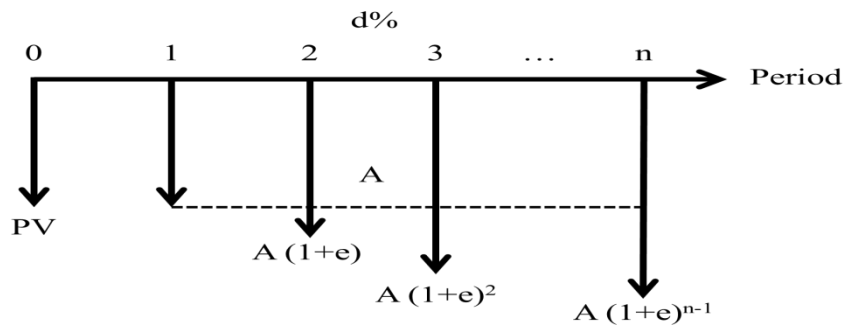
3.2.4 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงต้นทุน

วิศวกรหรือผู้บริหารมักเป็นผู้มีอำนาจในการตัดสินใจลงทุนในโครงการใดๆเสมอ เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเป็นหนึ่งในเครื่องมือที่ช่วยในการวิเคราะห์โครงการใดโครงการหนึ่งได้อย่างถูกต้องโดยการประเมินค่าสิ่งที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งเกี่ยวข้องกับปัจจัย 3 ประการ คือ 1) กระแสเงินสด 2) เวลาที่เกิดขึ้น และ 3) อัตราดอกเบี้ย เนื่องจาก เป็นการประมาณค่าสิ่งที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต ดังนั้นสิ่งที่เกิดขึ้นจริงอาจเหมือนหรือไม่เหมือนกับสิ่งที่คาดการณ์ไว้และเพื่อความแม่นยำยิ่งขึ้นอาจมีการนำปัจจัยอื่นๆมาวิเคราะห์ร่วมด้วย เช่น การอัตรา

เพิ่มขึ้นของมูลค่าและความไวต่อการเปลี่ยนแปลง โดยในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการพื้นฐานที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ทางเลือกในงานวิจัยนี้ ได้แก่ วิธีมูลค่าปัจจุบันและวิธีมูลค่ารายปีที่มีการเพิ่มขึ้นของมูลค่า

3.2.4.1 วิธีมูลค่าปัจจุบัน

การวิเคราะห์โครงการหรือทางเลือกต่างๆ จะนำรายรับและรายจ่ายที่เกิดขึ้นของแต่ละทางเลือกตลอดระยะเวลาโครงการมาคำนวณเป็นมูลค่าเทียบเท่าปัจจุบันสุทธิ (Net-Present Value) วิธีการนี้เริ่มต้นจากการเขียนแผนผังกระแสเงินสดที่มีการเพิ่มขึ้นของมูลค่า (Cash-flow diagram) ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แผนผังกระแสเงินสด

โดยที่

PV คือ มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน

A คือ มูลค่าที่เกิดขึ้นเท่าๆ กันในทุกช่วงเวลา

d คือ อัตราดอกเบี้ย

e คือ อัตราการเพิ่มขึ้นของมูลค่า

n คือ ช่วงระยะเวลา (Period)

รูปที่ 3.10 เป็นแผนผังแสดงรายละเอียดของรายรับและจ่ายเงินของโครงการ เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการมองภาพรวมของกระแสเงินสดทั้งหมด เมื่อเขียนแผนผังกระแสเงินสดของแต่ละโครงการหรือแต่ละทางเลือกที่กำลังพิจารณาแล้ว จึงทำการหามูลค่าเทียบเท่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของแต่ละทางเลือก โดยใช้ค่าแฟกเตอร์เปรียบเทียบกับมูลค่าเทียบเท่าปัจจุบันที่เรียกว่า “Uniform Present Value Factor Modified For Price Escalation: UPV*” ดังสมการที่ 3.1

$$PV = A \left(\frac{1+e}{d-e} \right) \left(1 - \frac{(1+e)^n}{(1+d)^n} \right) \quad (3.1)$$

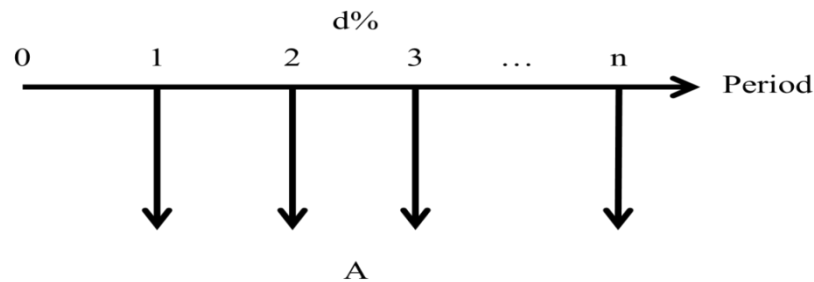
3.2.4.2 วิธีมูลค่ารายปี

การวิเคราะห์มูลค่ารายปี (Annual Worth) เป็นการนำเอารายรับรายจ่ายที่เกิดขึ้นของแต่ละทางเลือก ตลอดระยะเวลาโครงการมาคำนวณเป็นมูลค่ารายปี การวิเคราะห์ด้วยวิธีมูลค่ารายปีรวมกับการวิเคราะห์ด้วยวิธีมูลค่าปัจจุบัน จะทำให้การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ง่ายขึ้น โดยการนำมูลค่าเทียบเท่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มากระจายเป็นมูลค่ารายปีดังรูปที่ 3.16 โดยใช้ส่วนกลับของค่าแฟกเตอร์เปรียบเทียบกับมูลค่าปัจจุบันที่เรียกว่า “Uniform Present Value Factor: UPV” ดังสมการที่ 3.2

$$PV = \left(\frac{d(1+d)^n}{(1+d)^n - 1} \right) \quad (3.2)$$

และ

$$UPV = \left(\frac{(1+d)^n - 1}{d(1+d)^n} \right) \quad (3.3)$$



รูปที่ 3.11 แผนผังกระแสเงินสดมูลค่ารายปี

หลักการในการเปรียบเทียบมูลค่าเทียบเท่าปัจจุบันสุทธิและมูลค่ารายปีของแต่ละทางเลือก จะเลือกทางเลือกหรือโครงการที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดเป็นทางเลือกหรือโครงการที่เหมาะสม

บทที่ 4 ผลการศึกษาการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคาร

เนื้อหาภายในบทนี้ จะได้กล่าวถึงผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศในอาคารต่างๆ ประกอบด้วย (ก) อาคารสำนักงาน (ข) สถานศึกษา (ค) ห้างสรรพสินค้า (ง) โรงพยาบาล และ (จ) โรงแรม จำนวนประเภทละ 3 อาคาร รวมทั้งสิ้น 15 อาคาร

การสำรวจคุณภาพอากาศภายในอาคารแบ่งเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ การสำรวจแบบเบื้องต้น และการตรวจวัดโดยละเอียด สำหรับการตรวจวัดแบบเบื้องต้นจะเป็นการสำรวจพื้นที่ห้องต่างๆภายในอาคาร ตลอดจนทำการสำรวจคุณภาพอากาศภายในอาคารแบบเบื้องต้น (Grab sampling) เฉพาะห้องที่มีการจ่ายอากาศจากระบบปรับอากาศที่สำรวจในส่วนแรก โดยจะทำการตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ตลอดจนมีการจดบันทึกข้อมูลทั้งหมดภายในห้อง โดยจะทำการสำรวจทั้งหมดเป็นจำนวน 10 ห้องต่อ 1 อาคารเป็นอย่างน้อย พารามิเตอร์ที่จำเป็น และข้อมูลที่จดบันทึกได้แสดงไว้ดังตารางที่ 4. 1

ตารางที่ 4. 1 พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัด

พารามิเตอร์ทางคุณภาพอากาศ	ข้อมูลประกอบ
คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)	จำนวนผู้ใช้งาน
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	ขนาดของห้อง (กว้าง×ยาว×สูง)
ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	เฟอร์นิเจอร์ และอุปกรณ์ประกอบภายในห้อง
ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM _{2.5})	จำนวนช่องเปิดต่างๆ (ประตู หน้าต่าง)
อุณหภูมิ	จำนวนช่องจ่ายอากาศ และดูดอากาศกลับ
ความชื้น	กิจกรรมต่างๆภายในห้อง
ความเร็วในการไหลของอากาศ	

ส่วนการตรวจวัดโดยละเอียดเฉพาะพื้นที่ที่สนใจ เป็นการสำรวจพื้นที่โดยละเอียดในห้องที่สนใจ โดยจะต้องเป็นห้องที่มีแนวโน้มการเกิดปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคาร จากการสำรวจเบื้องต้น โดยจะทำการเก็บข้อมูลดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 4. 1 เช่นกัน แต่จะทำการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องอย่างน้อย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศภายในห้องที่สัมพันธ์กับการใช้ห้อง เช่น จำนวนผู้ที่อยู่ในห้อง กิจกรรมและลักษณะการใช้ห้องและอื่นๆ

ผลการศึกษาและสำรวจคุณภาพอากาศของอาคารทั้ง 15 อาคาร จะได้แสดงในหัวข้อ 4.1 และมีการสรุปผลการศึกษาไว้ในหัวข้อ 4.2

4.1 ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคาร

4.1.1 อาคารประเภทสถานศึกษา

4.1.1.1 อาคารสถานศึกษาที่ 1

4.1.1.1.1 สถานที่ตั้ง

สถานศึกษาตั้งอยู่ใน จังหวัดปทุมธานี โดยมีด้านทิศตะวันออก และทิศใต้ติดกับถนนทางหลวงขนาดใหญ่ที่มีการจราจรหนาแน่นตลอดทั้งวัน พื้นที่โดยรอบเป็นพื้นที่นาข้าว และมีชุมชนขนาดเล็กอยู่เป็นกลุ่ม มีความหนาแน่นของประชากรน้อย อาคารและสิ่งปลูกสร้างโดยรอบมีลักษณะไม่สูงมาก มีอาคารสูงอยู่เป็นปริมาณไม่มาก ไม่ก่อให้เกิดการสะสมตัวของมลพิษทางอากาศภายนอกอาคาร คุณภาพอากาศโดยรวมของพื้นที่อยู่ในเกณฑ์ดี

4.1.1.1.2 ลักษณะทั่วไปของอาคารและการระบายอากาศ

อาคารโดยทั่วไป เป็นอาคารที่สูงไม่เกิน 4 ชั้น โดยแบ่งอาคารออกเป็น อาคารโรงแรม อาคารเรียน อาคารที่พักอาศัยของนักศึกษา อาคารห้องสมุด อาคารโรงอาหาร อาคารซ่อมบำรุง และอาคารสำนักงานต่างๆ ทั้งนี้ อาคารทั้งหมดไม่มีการออกแบบระบบระบายอากาศเชิงกล (Mechanical Ventilation) ใดๆ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากอาคารแต่ละอาคารตั้งอยู่ห่างกันทำให้พื้นที่ส่วนใหญ่อากาศเข้าถึง อาจมีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ หากมีการเปิดหน้าต่าง

4.1.1.1.3 การแบ่งพื้นที่ในการศึกษา

ในการศึกษานี้ทางทีมงานได้แบ่งพื้นที่การศึกษาตามลักษณะการใช้งานของพื้นที่ ออกเป็น 4 ส่วนหลักด้วยกันคือ (1) ห้อง Conference (2) โรงแรม (3) อาคารเรียน และ (4) อาคารอื่นๆ เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของสถานศึกษา ทั้งนี้ในอาคารอื่นๆ ประกอบไปด้วย ห้อง Computer Laboratory โรงอาหาร ห้องสมุด ห้อง Chiller และ อาคาร Workshop

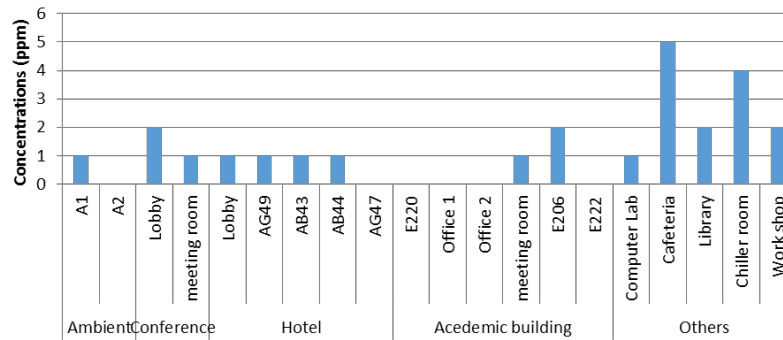
4.1.1.1.4 ข้อมูลระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศส่วนใหญ่เป็นแบบ Split Type ตามแต่ขนาดของพื้นที่ อย่างไรก็ตามสำหรับอาคารเรียนที่ทำการตรวจวัดและอาคารห้องสมุด ใช้ระบบปรับอากาศแบบ Chiller โดยมีท่อน้ำเย็นจ่ายออกมาจากห้อง Chiller ไปยัง Fan Coil Unit ต่างๆของแต่ละห้อง ทั้งนี้แต่ละห้องจะสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในห้องได้ ผ่าน Thermostat อย่างไรก็ตามห้องทั้งหมดที่ใช้ระบบปรับอากาศจากส่วนกลาง ไม่มีติดตั้งระบบระบายอากาศใดๆทั้งสิ้น

4.1.1.1.5 คุณภาพอากาศในอาคาร

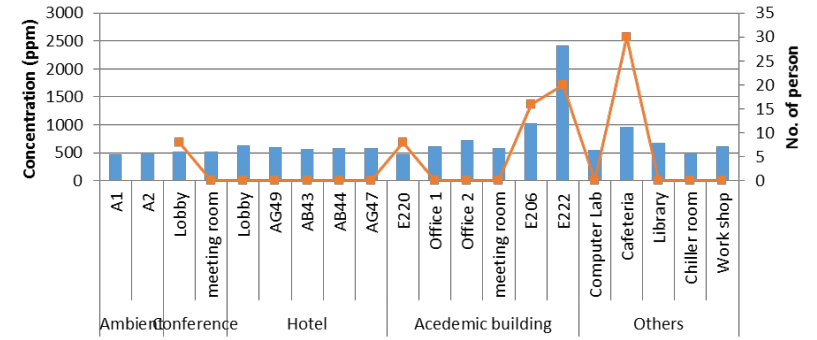
การตรวจวัดคุณภาพอากาศในอาคาร แบบเบื้องต้น ได้ทำการตรวจวัดทั้งหมด 18 พื้นที่ด้วยกัน ทั้งนี้ผลของการตรวจวัดได้แสดงไว้ดังError! Reference source not found.

CO



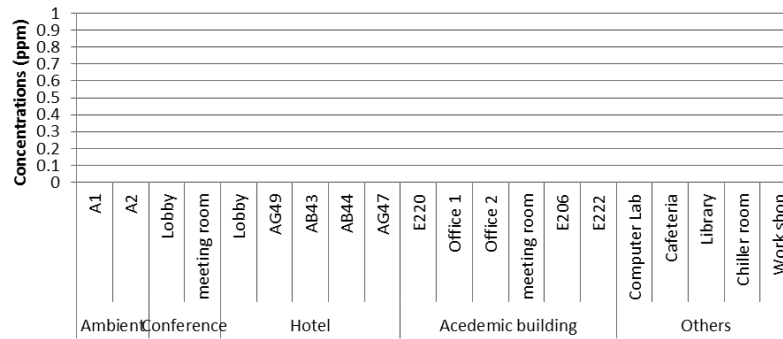
(ก) ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์

CO2

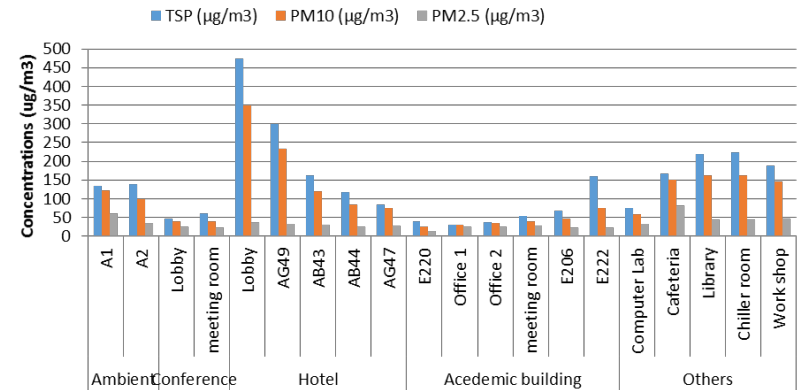


(ข) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Formaldehyde



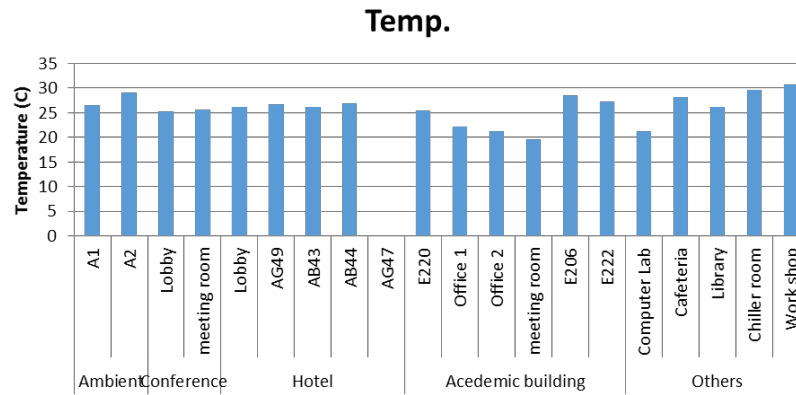
(ค) ฟอรัมาลดีไฮด์



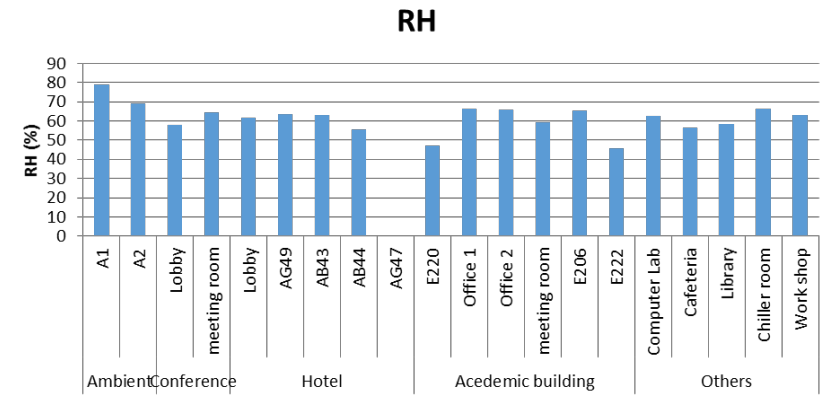
(จ) ฝุ่นละอองขนาดเล็ก

รูปที่ 4.1 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารศึกษาที่ 1

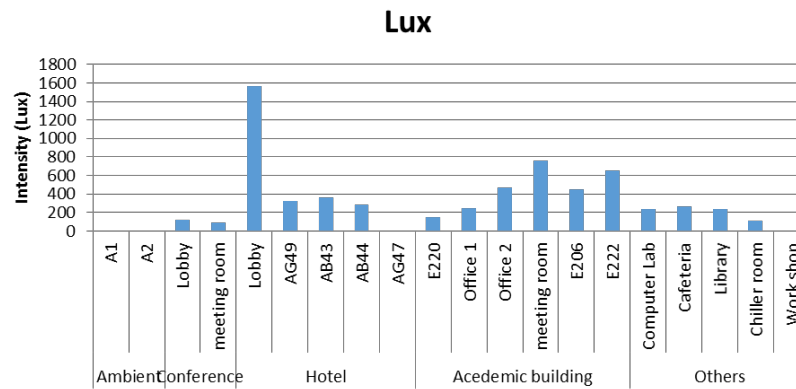
เอกสารปกปิด ห้ามเผยแพร่ก่อนได้รับอนุญาต



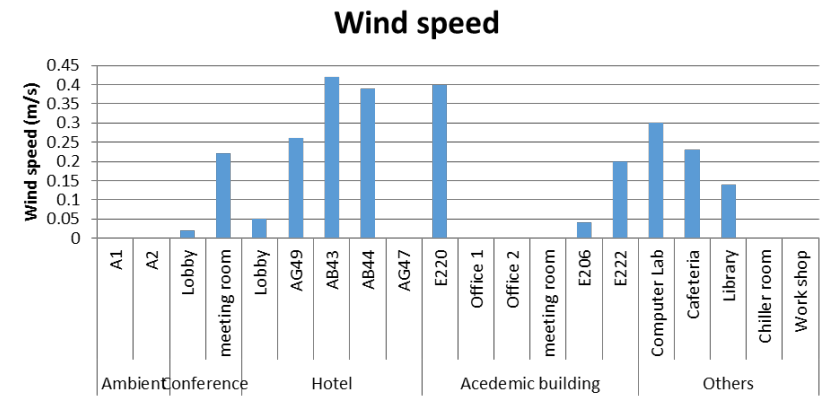
(จ) อุณหภูมิอากาศ



(ฉ) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ



(ช) ความสว่าง



(ซ) อัตราเร็วของอากาศ

รูปที่ 4.1 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารศึกษาที่ 1 (ต่อ)

จากการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ พบก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ในบางพื้นที่ แต่ยังคงอยู่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน อย่างไรก็ตามพบว่าในพื้นที่โรงอาหาร และห้อง Chiller มีปริมาณสูง เนื่องจากการทำกับข้าว และการทำงานของเครื่องยนต์ในพื้นที่ดังกล่าว ตามลำดับ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่ มีปริมาณที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานโดยส่วนใหญ่ ทั้งนี้พบว่ามีห้องเรียนที่มีค่าคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าค่าที่กำหนด เนื่องจากทำการตรวจวัดหลังจากการเรียน นอกจากนี้โรงอาหารยังเป็นอีกแห่งที่มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูง แต่ยังไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

ผลการตรวจวัดสารฟอร์มัลดีไฮด์ พบว่าไม่มีสารดังกล่าว เนื่องจากห้องทั้งหมดที่ทำการตรวจวัดไม่มีเฟอร์นิเจอร์ใหม่ หรือการตกแต่งใหม่

การตรวจวัดฝุ่นละอองในอากาศ พบว่า โรงแรมเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณฝุ่นละอองมากที่สุด และมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานในบางพื้นที่ นอกจากนี้ยังพบว่าห้องสมุดยังมีปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กเกินกว่าค่ามาตรฐานเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าว มีการใช้พรมที่พื้น และมีการทำความสะอาดน้อย อย่างไรก็ตามยังพบว่าในโรงอาหารยังมีฝุ่นสูงกว่ามาตรฐานเล็กน้อย โดยฝุ่นละอองดังกล่าวอาจเกิดมาจากการทำกับข้าวในพื้นที่ สำหรับในพื้นที่ทำงานพบว่าในห้องสำนักงานมีปริมาณฝุ่นละอองที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานเป็นอย่างมาก

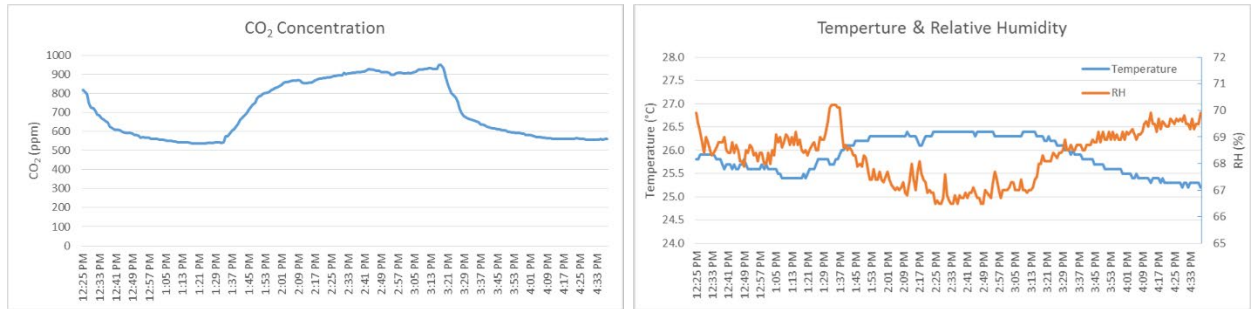
อุณหภูมิในห้องต่างๆ ส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ปกติ อย่างไรก็ตามในห้องเรียน และโรงอาหารมีค่าสูงกว่าปกติ เนื่องจากมีผู้ใช้งานในพื้นที่ดังกล่าวเป็นปริมาณมาก นอกจากนี้ในห้อง Chiller และ Workshop พบว่ามีอุณหภูมิสูงเช่นกัน เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวไม่มีระบบปรับอากาศ และมีการแลกเปลี่ยนอากาศกับภายนอกตลอดเวลา ทั้งนี้พบว่าในห้องทำงาน และห้องประชุมมีอุณหภูมิที่ต่ำ โดยมีทิศทางเดียวกันกันความชื้นของห้องที่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มีเพียงห้อง E220 และ E222 ที่มีความชื้นต่ำกว่าห้องอื่น แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

แสงในพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นแสงจากธรรมชาติ ผ่านทางช่องแสงต่างๆ อย่างไรก็ตามพบว่าบางพื้นที่เช่นห้องพักของโรงแรม ห้อง Computer Lab โรงอาหาร และ Office 1 มีปริมาณแสงน้อยเนื่องจากไม่มีช่องแสง หรือมีช่องแสงน้อย

ความเร็วลมภายในห้องมีค่าสูง มีอากาศถ่ายเทดี แต่พบว่าในห้อง office 1 และ 2 มีการเคลื่อนที่ของอากาศน้อย

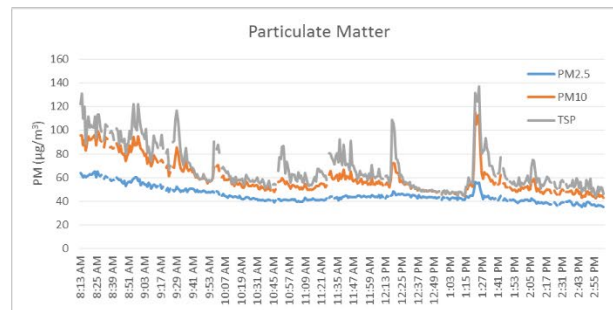
4.1.1.1.6 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในอาคาร

จากการสำรวจเบื้องต้นในหัวข้อที่ 5 ทางทีมงานได้เลือกทำการศึกษา การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในอาคารโดยละเอียด ในพื้นที่ของห้อง Conference ที่มีผู้ใช้งานห้องดังกล่าวตลอดทั้งวัน ทั้งนี้ห้องดังกล่าวนี้ติดกับสระว่ายน้ำ เป็นห้องกระจก 2 ชั้น ใช้ระบบปรับอากาศแบบ Split type มีผู้ใช้งานภายในห้องดังกล่าวอยู่ประมาณ 10 คน ผลการตรวจวัด ได้แสดงไว้ ดังError! Reference source not found.



(ก) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

(ข) อุณหภูมิ และความชื้น



(ค) ฝุ่นละออง

รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในระยะเวลา 8 ชั่วโมง ภายในห้องประชุม

จากผลการศึกษาพบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีการสะสมตัวสูงขึ้นในช่วงบ่าย เนื่องจากมีผู้ใช้งานในพื้นที่เป็นจำนวนมาก โดยมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงอย่างรวดเร็วตั้งแต่ 13:30 ถึง 14:00 จากนั้นจะเริ่มคงที่จนถึงเวลาประมาณ 15:20 และปรับตัวลดลง เนื่องจากผู้ใช้งานได้ออกจากห้อง โดยจากการตรวจวัดพบว่าอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์มีค่าอยู่ที่ 26 ± 0.5 องศา และ 68.5 ± 1.5 % ตามลำดับ ซึ่งมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ฝุ่นละอองมีค่าแปรปรวนสูงในช่วงที่มีผู้ใช้งานห้องประชุมในช่วงเวลา 8:15 ถึง 12:15 และ 13:15 ถึง 15:20 เนื่องจากกิจกรรมต่างๆที่ได้ทำในระหว่างการตรวจวัดคุณภาพอากาศ และยังพบว่าในช่วงเวลาพักเที่ยงนั้นค่าของฝุ่นละอองทั้งหมดจะมีค่าคงที่อยู่ที่ประมาณ $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$

4.1.1.2 อาคารสถานศึกษาที่ 2

4.1.1.2.1 สถานที่ตั้ง

อาคารสถานศึกษาตั้งอยู่ บริเวณ ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กทม.โดยบริเวณรอบด้านติดกับ ถนนทางหลวงขนาดใหญ่ที่มีการจราจรหนาแน่นตลอดทั้งวัน โดยรอบข้างเป็นพื้นที่ชุมชน และย่านธุรกิจต่างๆ จึงมีความหนาแน่นของประชากรสูง

4.1.1.2.2 ลักษณะทั่วไปของอาคารและการระบายอากาศ

ลักษณะอาคาร เป็นอาคารที่สูง ภายในอาคารไม่มีการออกแบบระบบระบายอากาศเชิงกล (Mechanical Ventilation) มีการใช้ AHU ร่วมกับการใช้ระบบระบายอากาศแบบ Split type โดยมีการแบ่งระบบระบายอากาศเพื่อให้เหมาะกับ ห้องประเภทต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น ห้องประชุม ห้องเรียนขนาดใหญ่

4.1.1.2.3 การแบ่งพื้นที่ในการศึกษา

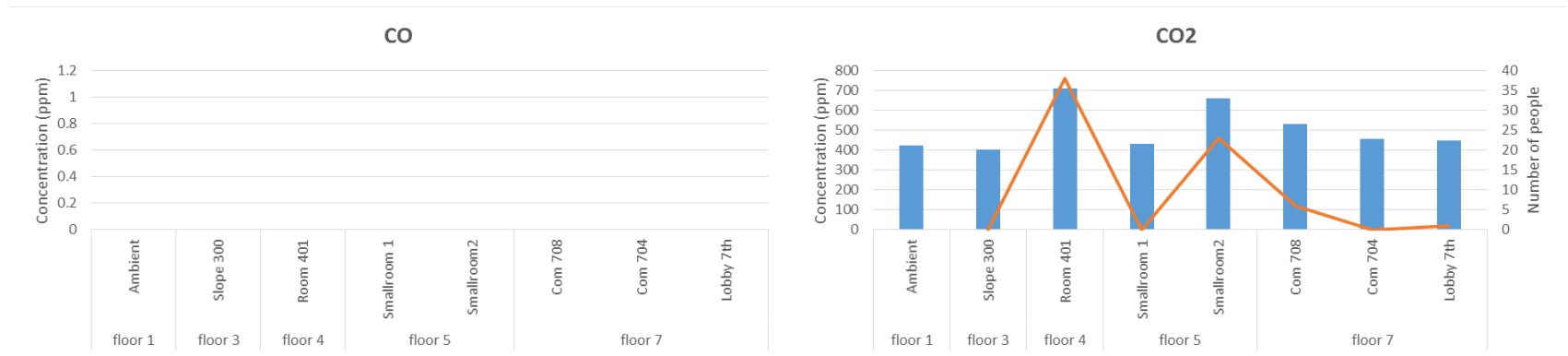
ในการศึกษานี้ทางทีมงานได้ทำการตรวจวัดตามพื้นที่การใช้งานรูปแบบต่างอันประกอบไปด้วย ห้องเรียน ขนาดเล็ก ขนาดกลาง ขนาดใหญ่ และห้องเรียน คอมพิวเตอร์

4.1.1.2.4 ข้อมูลระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศของอาคารทั้ง 2 อาคาร เป็นระบบปรับอากาศแบบ Split type ภายในส่วนห้องเรียน ขนาดกลางและเล็ก โดยห้องเรียนขนาดใหญ่จะใช้ AHU ในการปรับอากาศ อย่างไรก็ตามอาคารดังกล่าวมีการระบายอากาศ อยู่เล็กน้อย โดยอาศัยเพียงการรั่วของอากาศภายนอกที่เข้าสู่อาคารเพียงอย่างเดียวในการดึง Fresh air

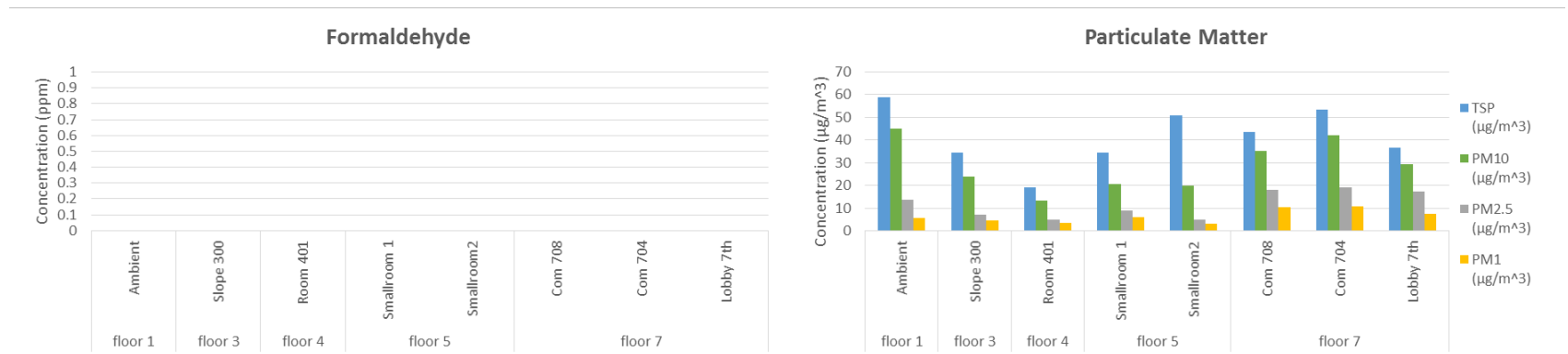
4.1.1.2.5 คุณภาพอากาศในอาคาร

การตรวจวัดคุณภาพอากาศในอาคารแบบเบื้องต้น ได้ทำการตรวจวัดทั้งหมด 8 พื้นที่ด้วยกัน ทั้งนี้ผลของการตรวจวัดได้แสดงไว้ดังError! Reference source not found.



(ก) ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์

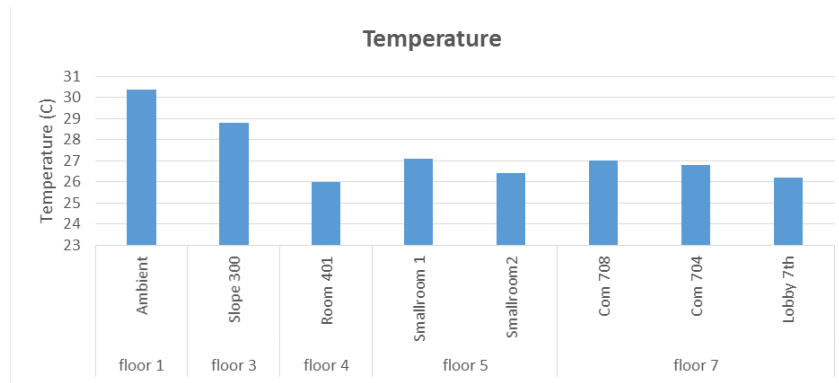
(ข) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



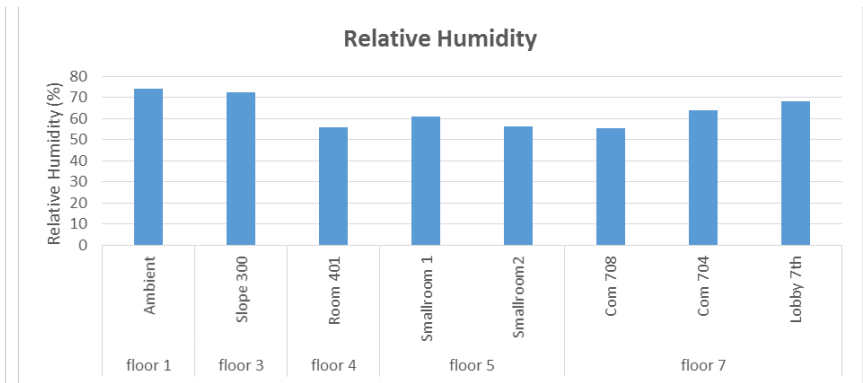
(ค) ฟอรัมาลดีไฮด์

(จ) ฝุ่นละอองขนาดเล็ก

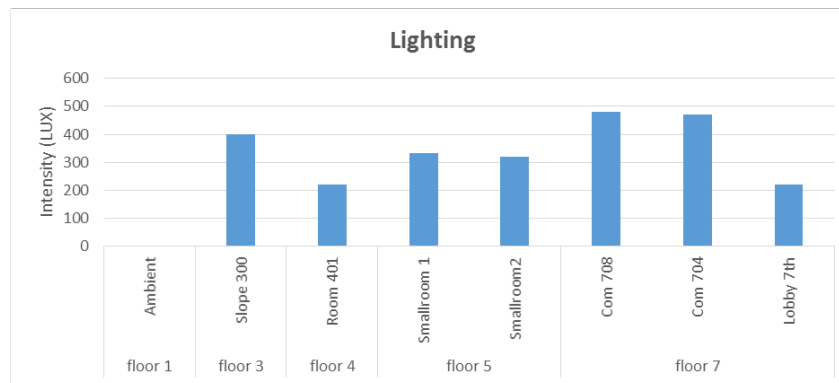
รูปที่ 4.3 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารศึกษาที่ 2



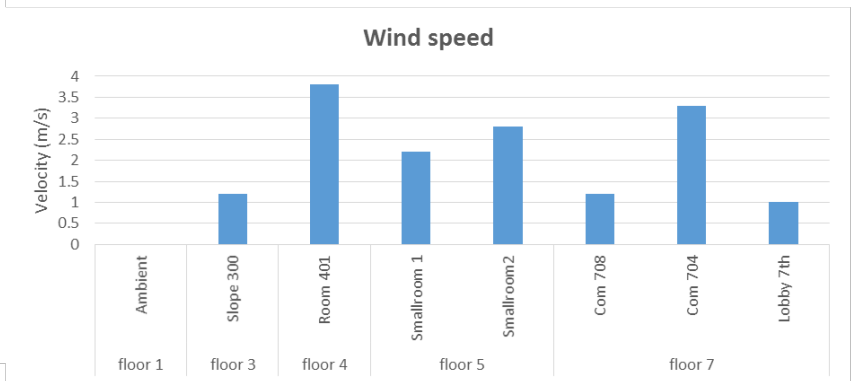
(จ) อุณหภูมิอากาศ



(ด) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ



(ข) ความสว่าง



(ง) อัตราเร็วของอากาศ

รูปที่ 4.3 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารศึกษาที่ 2 (ต่อ)

จากการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ พบว่าไม่มีพื้นที่ใดมีก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เลย

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคารสถานศึกษาแห่งนี้ มีปริมาณที่ต่ำกว่ามาตรฐาน โดยพบว่าในบางพื้นที่ที่มีผู้ใช้จะเห็นได้ว่า มีค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าส่วนที่ไม่มีคนใช้งาน

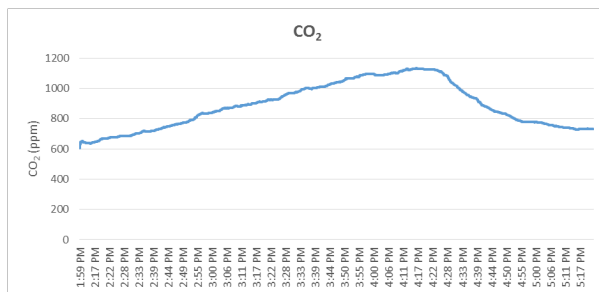
ผลการตรวจวัดสารฟอร์มัลดีไฮด์ พบว่าไม่มีการตรวจพบสารดังกล่าว ทั้งนี้อาจเพราะอาคารดังกล่าวได้สร้างมานานแล้ว อีกทั้งยังไม่มีมีการปรับปรุงตกแต่งใหม่

การตรวจวัดฝุ่นละอองในอากาศ พบว่า ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่ตรวจวัดได้มีค่าผ่านมาตรฐานทั้งหมดทุกพื้นที่ที่เข้าสำรวจ

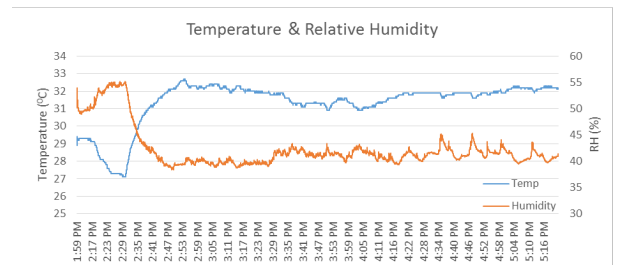
ค่าความเข้มแสงส่วนใหญ่มีค่าเป็นไปตามเกณฑ์ แต่จะพบว่าในบริเวณชั้น 7 นั้นมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับตัวอื่นๆ อันเนื่องมาจากชั้น 7 เป็นชั้นที่ประกอบด้วยส่วนของโรงภาพยนตร์

4.1.1.2.6 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในอาคาร

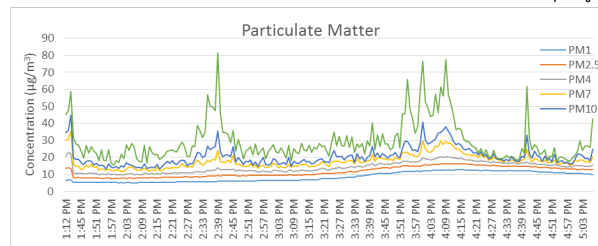
จากการสำรวจเบื้องต้นในหัวข้อที่ 5 ทางทีมงานได้เลือกทำการศึกษา การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในอาคารโดยละเอียดในห้องเรียน ประเภทห้องเรียนขนาดกลาง ที่มีนักศึกษาประมาณ 28 คน (รวมผู้สอน) ซึ่งภายในห้องประกอบด้วยเครื่องปรับอากาศขนาด 8000 BTU จำนวน 4 ตัว และมีการติดพัดลมระบายอากาศ ได้ทำการตรวจวัดเป็นจำนวน 1 คาบวิชาเรียน โดยผลการตรวจวัดได้แสดงไว้ดังError! Reference source not found.



(ก) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



(ข) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ



(ค) ฝุ่นละออง

รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศ ภายในห้องเรียน

จากผลการศึกษาพบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีการสะสมเพิ่มขึ้นอย่างมาก ในระยะเวลา 3 ชม. โดยใน ส่วนของความเข้มข้นของฝุ่นละอองมีค่าแปรปรวนสูงในช่วงต้นคาบและท้ายคาบเนื่องจากการเคลื่อนที่ของผู้ใช้งาน ห้องเรียนดังกล่าว

4.1.1.3 อาคารสถานศึกษาที่ 3

4.1.1.3.1 สถานที่ตั้ง

สถานศึกษาตั้งอยู่ในเขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร โดยมีด้านทิศตะวันออก และทิศใต้ติดกับถนนขนาดกลางที่มีการจราจรหนาแน่นตลอดทั้งวัน พื้นที่โดยรอบเป็นพื้นที่ชุมชน ทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ มีความหนาแน่นของประชากรน้อย อาคารและสิ่งปลูกสร้างโดยรอบมีลักษณะสูง เป็นอาคารพาณิชย์ คุณภาพอากาศโดยรวมของพื้นที่อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง

4.1.1.3.2 ลักษณะทั่วไปของอาคารและการระบายอากาศ

อาคารโดยทั่วไปเป็นอาคารที่สูง โดยมีจำนวนชั้นที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้อาคารหลักสามารถแบ่งออกได้เป็น อาคารอธิการ อาคารเรียน ห้องสมุด และอาคารสำนักงาน อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ไม่ได้รวมถึงอาคารโรงอาหาร เนื่องจากเป็นอาคารเปิด ไม่มีระบบปรับอากาศ อาคารโดยส่วนใหญ่ใช้การระบายอากาศผ่านพัดลมระบายอากาศเป็นบางห้อง สำหรับอาคารอธิการที่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศแบบส่วนกลาง มีการเปิดช่องเปิดในห้อง AHU เพื่อให้ Fresh Air เข้าสู่ตัวอาคารผ่านความต่างของแรงดันภายในห้อง

4.1.1.3.3 การแบ่งพื้นที่ในการศึกษา

ในการศึกษานี้ทางทีมงานได้แบ่งพื้นที่การศึกษาตามลักษณะการใช้งานของพื้นที่ ออกเป็น 4 ส่วนหลักด้วยกันคือ (1) ห้องเรียน (2) ห้องสมุด (3) สำนักงาน และ (4) อาคารอธิการ เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของสถานศึกษา

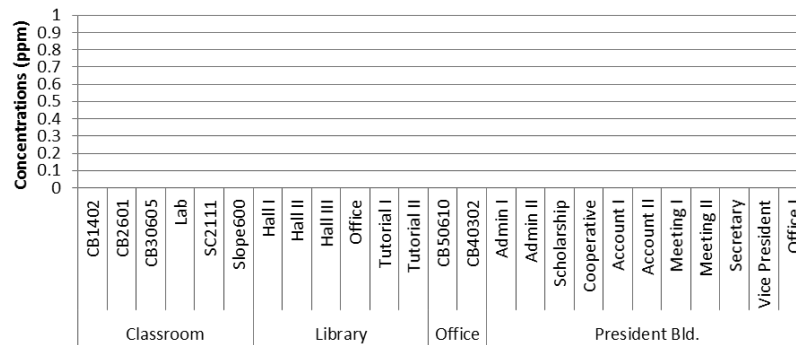
4.1.1.3.4 ข้อมูลระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศส่วนใหญ่ เป็นแบบ Split Type ตามแต่ขนาดของพื้นที่ อย่างไรก็ตามสำหรับอาคารอธิการและห้องสมุด ที่เป็นอาคารขนาดใหญ่ มีการติดตั้งระบบปรับอากาศแบบส่วนกลาง โดยมีห้อง AHU จำนวน 2 ห้องในแต่ละชั้น การระบายอากาศของห้องที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบ Split Type มักมีการติดตั้งพัดลมระบายอากาศขนาดเล็ก ในแต่ละห้อง ขณะที่อาคารอธิการและห้องสมุด ที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบส่วนกลางจะมีช่องเปิดขนาดเล็กอยู่ในห้อง AHU เพื่อนำอากาศภายนอกเข้ามาบางส่วน

4.1.1.3.5 คุณภาพอากาศในอาคาร

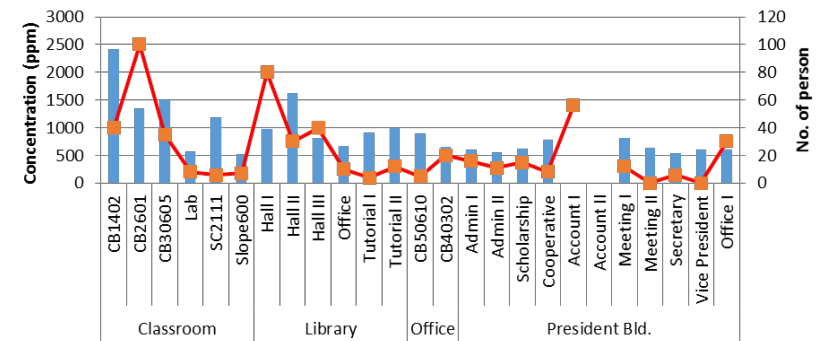
การตรวจวัดคุณภาพอากาศในอาคารแบบเบื้องต้น ได้ทำการตรวจวัดทั้งหมด 25 พื้นที่ด้วยกัน ทั้งนี้ผลของการตรวจวัดได้แสดงไว้ดัง

CO



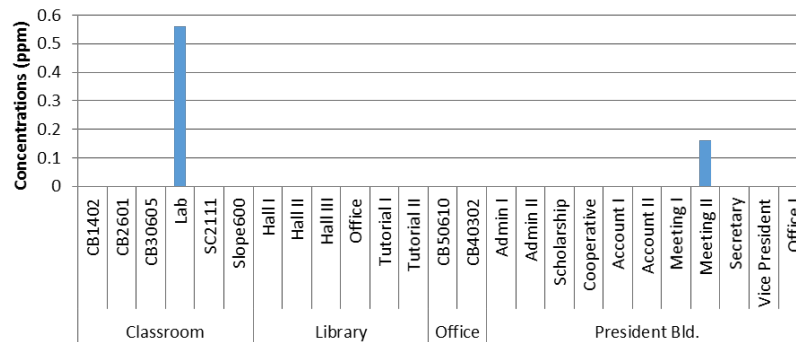
(ก) ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์

CO2

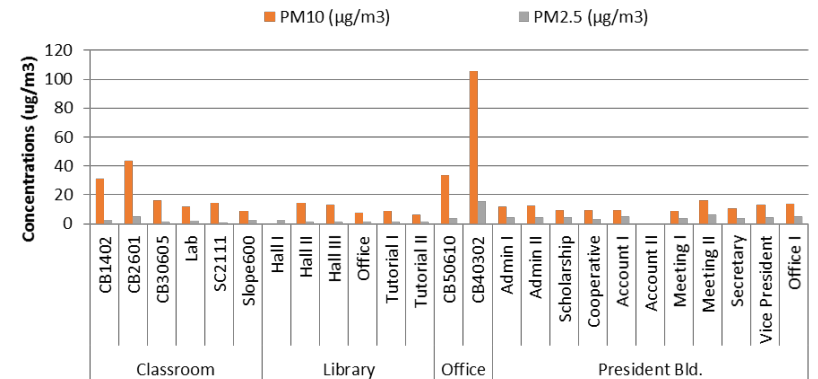


(ข) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Formaldehyde

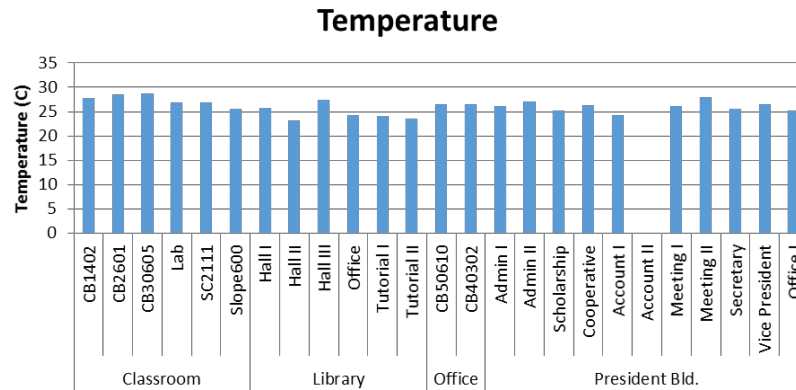


(ค) ฟอรัมาลดีไฮด์

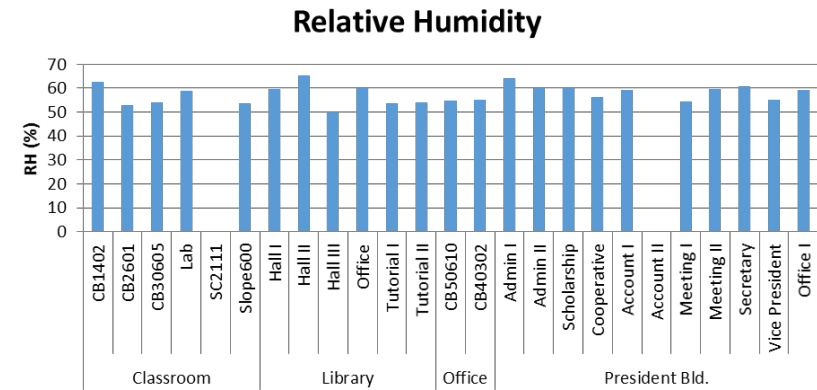


(จ) ฝุ่นละอองขนาดเล็ก

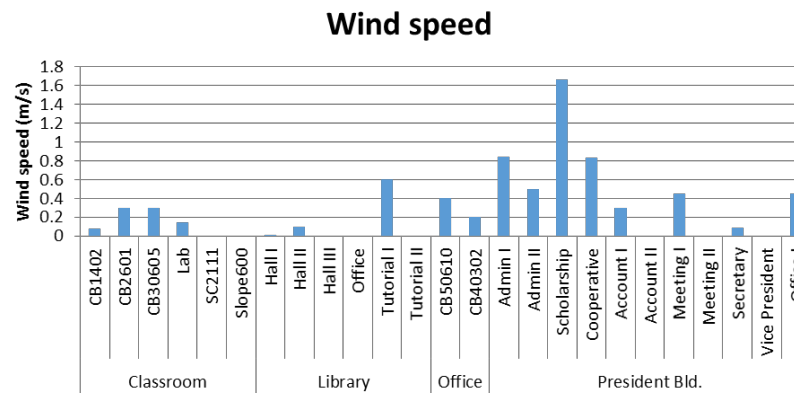
รูปที่ 4.5 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารศึกษาที่ 3



(จ) อุณหภูมิอากาศ



(ฉ) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ



(ช) อัตราเร็วของอากาศ

รูปที่ 4.5 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารศึกษาที่ 3 (ต่อ)

จากการสำรวจคุณภาพอากาศภายในอาคารเรียน อันประกอบไปด้วย อาคารเรียนของอาคารเรียนรวม 1-5 อาคารเรียนของคณะวิทยาศาสตร์ และห้องสมุด โดยได้ทำการเข้าสำรวจผลสำรวจคุณภาพอากาศในห้องเรียนต่างๆ โดยการสำรวจส่วนใหญ่เป็นการเข้าสำรวจหลังจากที่มีการใช้งานของห้องในการทำการเรียนการสอน (ห้อง CB1402 CB2601 CB30605 และ SC2111) ที่มีการใช้ระบบปรับอากาศแบบแยก (Split type) โดยพบว่ามีภาระสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายหลังการใช้งานสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้โดย American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) ที่กำหนดไว้ที่ 1,000 ppm (รูปที่ 1) ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่าห้องเรียนดังกล่าวมีการระบายอากาศที่ต่ำ นอกจากนี้จากการสำรวจยังพบว่าห้องเรียนทั้ง 3 มีผู้ที่เข้ามาใช้บริการมาก (พื้นที่ต่อคนน้อย) (ห้อง SC2111 ไม่สามารถตรวจนับจำนวนคนได้เนื่องจากได้เข้าสำรวจหลังจากที่นักศึกษาออกไปแล้ว) และไม่มีการระบายอากาศใดๆ ส่งผลให้เกิดการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของผู้ใช้งาน อย่างไรก็ตาม และ Slope 600 ที่มีการใช้ระบบปรับอากาศแบบส่วนกลาง พบว่ามีค่าคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ แต่การสำรวจดังกล่าวเป็นการสำรวจขณะที่ไม่มีผู้ใช้งาน และไม่มีการเปิดระบบปรับอากาศสำหรับการตรวจวัดในห้องสำนักงาน และห้องปฏิบัติการภายในอาคารเรียน พบว่ายังมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่ามาตรฐาน เนื่องจากมีพื้นที่ต่อคนสูง (มีผู้ใช้งานห้องน้อย) ส่วนการสำรวจในห้องสมุดพบว่าอาคารขนาดใหญ่ที่เปิดโล่ง ใช้ระบบปรับอากาศจากส่วนกลาง โดยพบว่ามีภาระสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อย ยกเว้น Hall II ที่มีผู้ใช้งานมาก ถึงแม้ว่าจะมีพื้นที่ต่อคนสูง แต่ผู้ใช้งานส่วนใหญ่อยู่รวมเป็นกลุ่มใกล้กับจุดตรวจวัด จึงทำให้เกิดการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่าเกณฑ์ของ ASHRAE จากการประเมินเบื้องต้นพบว่าหากมีพื้นที่ต่อคนน้อยกว่า 5 ตร.ม. จะมีความเสี่ยงที่จะเกิดการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

สำหรับฝุ่นละอองขนาดเล็กมีปริมาณน้อยมากในห้องที่ทำการสำรวจและมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ($PM_{10} = 120 \mu g/m^3$; $PM_{2.5} = 50 \mu g/m^3$) อย่างไรก็ตามทางทีมงานพบว่ามีปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กเป็นปริมาณสูง ในบริเวณห้องทำงาน CB40302 เนื่องจากช่วงเวลาการตรวจวัดกำลังมีการก่อสร้างปรับปรุงพื้นที่ ที่บริเวณด้านหน้าของห้องทำงาน แต่ยังมีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ (ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน) นอกจากนี้จากการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายนอกอาคารยังพบว่าอากาศภายนอกอาคารในช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัดนั้นยังมีค่าที่ต่ำใกล้เคียงกับที่ตรวจวัดได้ในอาคาร

จากการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในทุกห้อง ไม่พบก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในห้องทั้งหมดที่ทำการสำรวจ

การตรวจวัดสาร formaldehyde พบว่า ไม่มีสาร formaldehyde ในห้องเรียน และห้องสมุดของสถานศึกษา เนื่องจากเป็นอาคารเก่าและไม่มีเฟอร์นิเจอร์ชนิดใดที่อาจก่อให้เกิดสาร formaldehyde จากการสำรวจพบสาร formaldehyde เฉพาะในห้องปฏิบัติการเคมีที่มีการเก็บสารเคมีไว้ในห้องปฏิบัติการที่มีการใช้

เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มีการเก็บสารเคมีต่างๆไว้ในห้องดังกล่าว และไม่มีการระบายอากาศใดๆ โดยมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้โดย World Health Organization (WHO) ที่ 0.08 ppm (0.1 mg/m³) ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจของผู้ใช้งานในห้องปฏิบัติการได้

อุณหภูมิและความชื้นของอาคารในห้องสมุดอยู่ในเกณฑ์ปกติ โดยพบว่าในห้องเรียน Tutorial ที่มีห้องขนาดเล็ก มีอุณหภูมิและความชื้นที่ต่ำกว่าพื้นที่ทั่วไป อาจเกิดจากการกั้นห้องภายหลัง โดยที่ไม่มีการปรับระบบการกระจายอากาศให้เหมาะสมกับพื้นที่ที่มีการปรับปรุงใหม่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพบว่า ในห้อง Tutorial มีความเร็วลมที่สูงจากการจ่ายอากาศเย็นลงมาจากในห้องขนาดเล็ก

การสำรวจระบบปรับอากาศในห้องเรียนและห้องสมุดพบว่าทั้งระบบปรับอากาศแบบส่วนกลางและระบบปรับอากาศแบบแยกในห้องต่างๆ มีการระบายอากาศน้อยมาก โดยระบบปรับอากาศแบบส่วนกลางไม่ได้มีการออกแบบระบบการเติม fresh air แต่ใช้ความต่างของแรงดันในห้อง AHU ในการดึงอากาศสะอาดจากภายนอกอาคารเข้ามา ทั้งนี้ผลการสำรวจคุณภาพอากาศของห้อง AHU จะนำเสนอในรายงานฉบับต่อไป ส่วนในห้องที่มีระบบปรับอากาศแบบแยกนั้น ส่วนใหญ่ไม่มีการระบายอากาศ มีเพียงบางห้องที่มีการติดตั้งพัดลมดูดอากาศขนาดเล็ก ที่มีการดูดอากาศจากภายในห้องออกไปบางส่วน

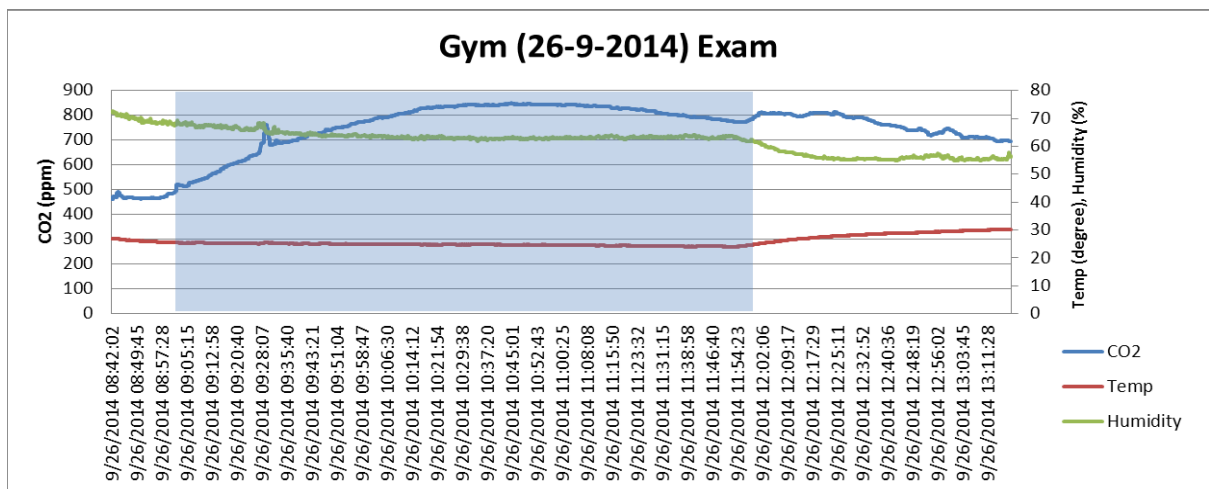
จากการสำรวจคุณภาพอากาศเมื่อวันที่ 22 กันยายน 2557 ในตึกอธิการบดีพบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มีผู้ใช้งานต่อพื้นที่น้อย ระบบปรับอากาศเป็นระบบปรับอากาศส่วนกลางที่ไม่มีการ intake fresh air เข้ามา โดย fresh air ทั้งหมดมาจากการเปิดประตู และการรั่วไหลเข้ามาในห้องเสียส่วนใหญ่ ระบบปัจจุบันเป็นการใช้ความต่างของแรงดันในห้อง AHU ในการดึงอากาศจากภายนอกอาคารมาในห้อง AHU ผ่านช่องเปิดขนาด 60x60 cm² อย่างไรก็ตามพบว่าช่องดังกล่าวถูกปิดเนื่องจากมีนกมาทำรังในทุกชั้นที่มีการเข้าสำรวจ

ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในระดับต่ำ มีเพียงห้องประชุมที่มีค่าสูงเล็กน้อย เนื่องจากเข้าสำรวจในช่วงที่มีการประชุม (ยังมีปริมาณพื้นที่ต่อคนสูงอยู่) สำหรับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กพบว่าอยู่ในเกณฑ์ต่ำมากเช่นกัน (รูปที่ 2) แต่พบสาร formaldehyde ในห้องประชุมใหม่ ที่เพิ่งก่อสร้างเสร็จ และมีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐานที่ 0.08 ppm (0.1 mg/m³) ไม่พบก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์สะสมในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา ส่วนทางด้านอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วมอยู่ในเกณฑ์ปกติ จากการเข้าสำรวจพบว่าอาคารดังกล่าวมีปัญหาทางด้านการ renovate พื้นที่ที่มีการกั้นพื้นที่เป็นห้องต่างๆส่งผลให้บางพื้นที่มีปัญหาเรื่องการระบายอากาศที่ไม่เพียงพอ ตลอดจนการจ่ายอากาศเย็นที่ไม่เหมาะสม อย่างไรก็ตามปัญหานี้ยังมีน้อยเนื่องจากมีผู้ใช้งานต่อพื้นที่น้อยอยู่

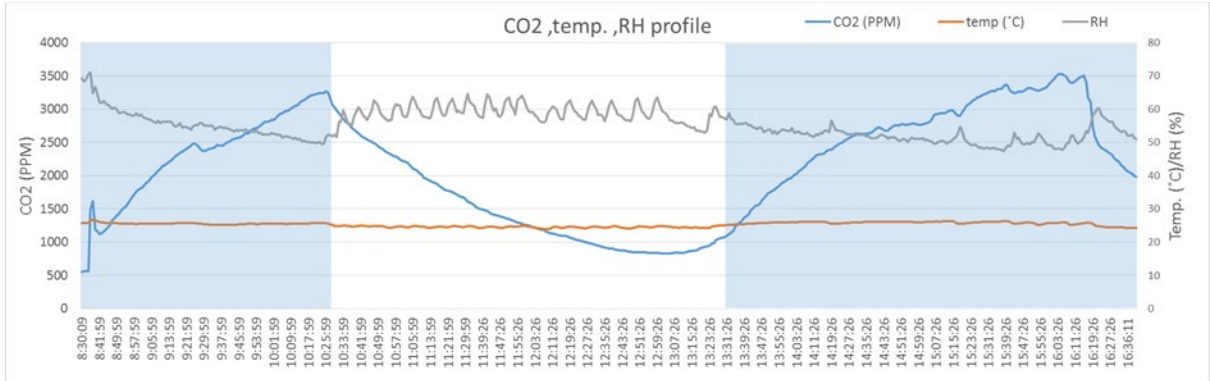
การสำรวจห้อง AHU ของอาคารอธิการบดีนั้นพบว่าห้อง AHU มักมีการเก็บของไว้ในจำนวนมาก และมีผู้เข้าไปอยู่ในห้องดังกล่าว การตรวจวัดคุณภาพอากาศเบื้องต้นในห้องดังกล่าวพบว่าอยู่ในเกณฑ์ดี

4.1.1.3.6 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในอาคาร

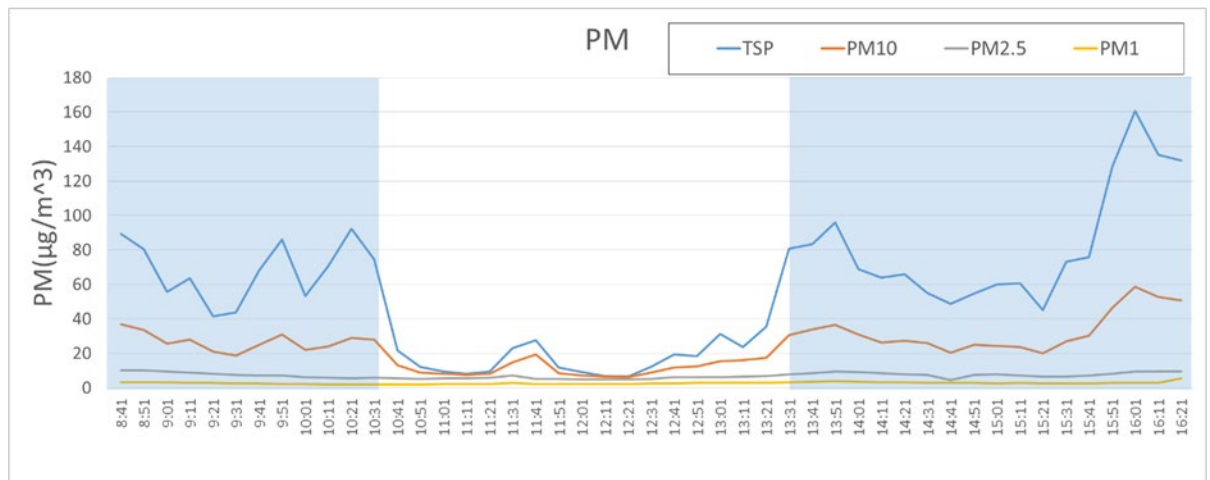
จากการสำรวจเบื้องต้นในหัวข้อที่ 5 ทางทีมงานได้เลือกทำการศึกษา การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในอาคารโดยละเอียด ในโรงยิมที่ใช้เป็นห้องสอบของนักศึกษาปริญญาตรีจำนวนประมาณ 1,000 คน และในห้องเรียน CB1402 ที่มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสมมากที่สุด เมื่อวันที่ 9 ตุลาคม 2557 ทั้งนี้โรงยิมใช้ระบบปรับอากาศแบบส่วนกลาง ที่มีการระบายอากาศผ่านช่องเปิดต่างๆ ขณะที่ห้องเรียนใช้ระบบปรับอากาศแบบ Split type มิได้มีการระบายอากาศใดๆ ผลการตรวจวัดได้แสดงไว้ ดังError! Reference source not found. และ Error! Reference source not found.



รูปที่ 4.6 คุณภาพอากาศในโรงยิมที่มีการจัดการสอบ (สีฟ้าเป็นช่วงเวลาที่มีผู้ใช้งานห้อง)



(ก) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ



(ข) ฝุ่นละออง

รูปที่ 4.7 คุณภาพอากาศในห้อง CB1402 (สีฟ้าเป็นช่วงเวลาที่มิผู้ใช้งานห้อง)

ทีมงานสำรวจได้ทำการสำรวจเบื้องต้น โดยทำการเก็บข้อมูลคุณภาพอากาศแบบต่อเนื่องระยะยาวในโรงยิมที่ใช้เป็นห้องสอบของนักศึกษาปริญญาตรีจำนวนประมาณ 1,000 คน จากการสำรวจพบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องหลังจากนักศึกษาเข้ามาสอบ (9:00) และจะลดลงเมื่อนักศึกษาเริ่มออกจากห้องดังกล่าว และมีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยของคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อนักศึกษาออกจากห้องสอบทั้งหมด (12:00) เนื่องจากมีนักศึกษาเดินผ่านเครื่องตรวจวัดเป็นจำนวนมาก อุณหภูมิและความชื้นในห้องจะลดลงหลัง 9:00 เนื่องจากมีการเปิดระบบปรับอากาศส่วนกลาง และอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นหลังจากที่มีการปิดระบบในตอนเที่ยง สำหรับการตรวจวัดสารมลพิษอื่นๆ พบว่าฝุ่นละอองขนาดเล็กมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน และไม่พบสาร formaldehyde และ CO ในตลอดช่วงการสำรวจ ความเร็วลม ณ จุดที่นั่งสอบมีค่าคงที่ที่ 0.2 m/s ในขณะที่

พบว่าด้านข้างของโรงยิมมีค่าความเร็วลมเท่ากับศูนย์ สำหรับระบบปรับอากาศในโรงยิมนั้นพบว่าปริมาณอากาศสะอาดเข้ามาได้จำนวนมาก เนื่องจากเป็นโรงยิมที่ดัดแปลงให้มีระบบปรับอากาศ และมีการนำผ้าใบปิดช่องเปิดต่างๆ เท่านั้น

การตรวจวัดอย่างต่อเนื่อง 8 ชั่วโมงในห้องเรียน CB1402 (ห้องที่มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสมมากที่สุด) เมื่อวันที่ 10 ตุลาคม 2557 พบว่ามีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสมอยู่ 2 ช่วงเวลา คือช่วงเช้า (8:00 – 10:30) และบ่าย (13:30-16:30) ที่มีการเรียนการสอน และมีผู้เข้าใช้งานห้องดังกล่าวประมาณ 40 คน (65.5 ตร.ม.) ผลการศึกษาแสดงไว้ดังรูปที่ 5 จากการประเมินพบว่าในห้องดังกล่าวหากมีการเรียนการสอนที่มีผู้ใช้งานเต็มห้อง (40 คน) จะเกิดการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยมีอัตราการเกิดขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 600 ppm ต่อคนต่อตร.ม. (ประเมินจากการคำนวณ) มีอัตราการรั่วของอากาศ (Infiltration) เข้าสู่ห้องที่ 447 CFM (759 m³/hr) และมีการแลกเปลี่ยนอากาศโดยธรรมชาติที่ 2.6 Air Change Rate ต่อชั่วโมง

4.1.2 อาคารประเภทห้างสรรพสินค้า

4.1.2.1 อาคารห้างสรรพสินค้าที่ 1

4.1.2.1.1 สถานที่ตั้ง

ห้างสรรพสินค้าตั้งอยู่ในเขตบางขุนเทียน จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยมีด้านทิศตะวันออก ติดกับถนนทางหลวงขนาดใหญ่ที่มีการจราจรหนาแน่นตลอดทั้งวัน พื้นที่โดยรอบของห้างสรรพสินค้าเป็นพื้นที่ชุมชน และโรงงาน มีความหนาแน่นของประชากรน้อย อาคารและสิ่งปลูกสร้างโดยรอบมีลักษณะเป็นอาคารไม่สูง คุณภาพอากาศโดยรวมของพื้นที่อยู่ในเกณฑ์ดี

4.1.2.1.2 ลักษณะทั่วไปของอาคารและการระบายอากาศ

ลักษณะอาคารเป็นอาคารที่สูงจำนวน 4 ชั้น ภายในอาคารไม่มีการออกแบบระบบระบายอากาศเชิงกล (Mechanical Ventilation) แต่อย่างใด

4.1.2.1.3 การแบ่งพื้นที่ในการศึกษา

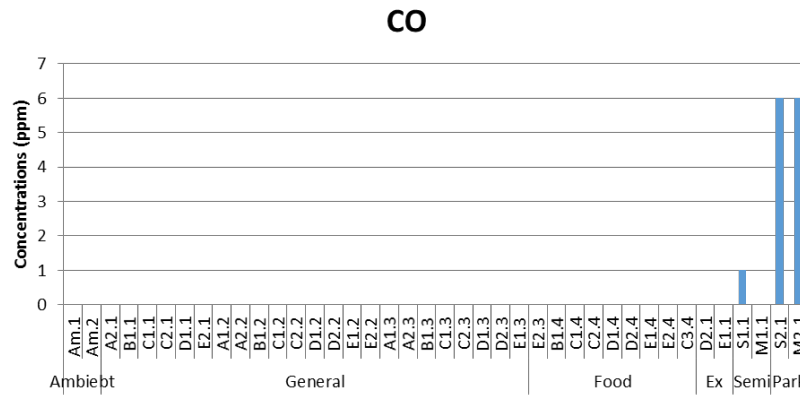
ในการศึกษานี้ทางทีมงานได้แบ่งพื้นที่การศึกษาตามลักษณะการใช้งานของพื้นที่ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 5 ส่วนหลักด้วยกันคือ (1) พื้นที่ทั่วไป (2) พื้นที่สวนอาหาร (3) พื้นที่แสดงสินค้าส่วนกลาง (4) พื้นที่รอยต่อระหว่างอาคารและลานจอดรถ และ (5) ลานจอดรถ ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของอาคารห้างสรรพสินค้า

4.1.2.1.4 ข้อมูลระบบปรับอากาศ

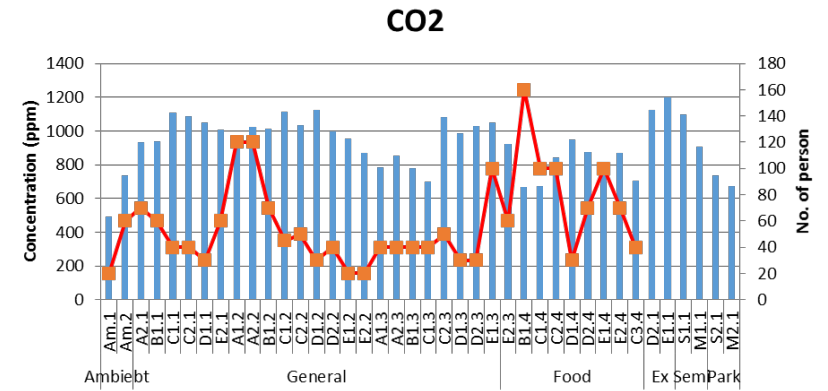
ระบบปรับอากาศเป็นระบบปรับอากาศแบบส่วนกลาง แต่ไม่มีการติดตั้งระบบระบายอากาศแต่อย่างใด

4.1.2.1.5 คุณภาพอากาศในอาคาร

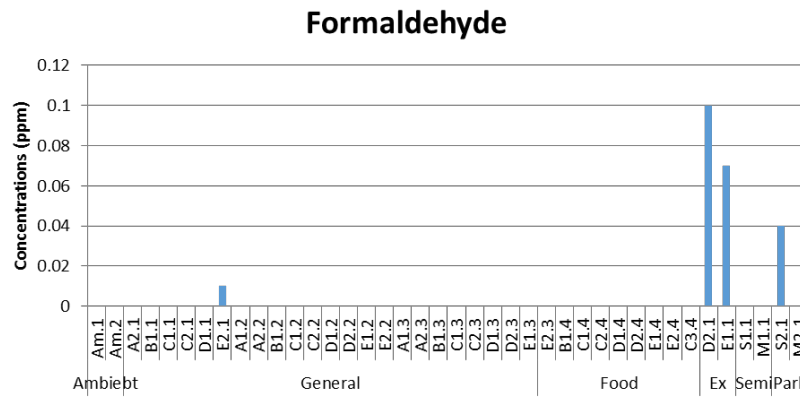
การตรวจวัดคุณภาพอากาศในอาคารของห้างสรรพสินค้า แบบเบื้องต้น ได้ทำการตรวจวัดทั้งหมด 40 พื้นที่ด้วยกัน ทั้งนี้ผลของการตรวจวัดได้แสดงไว้ดังError! Reference source not found.



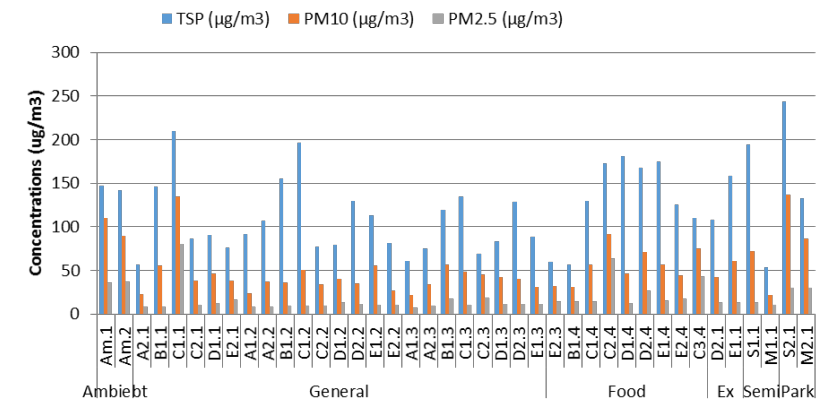
(ก) ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์



(ข) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

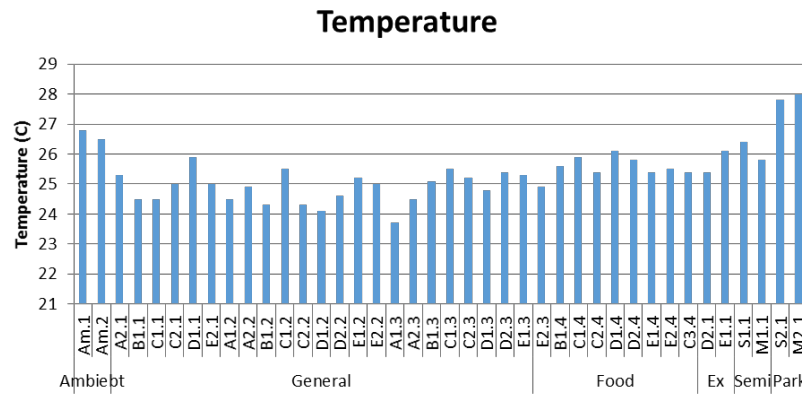


(ค) ฟอรัมาลดีไฮด์

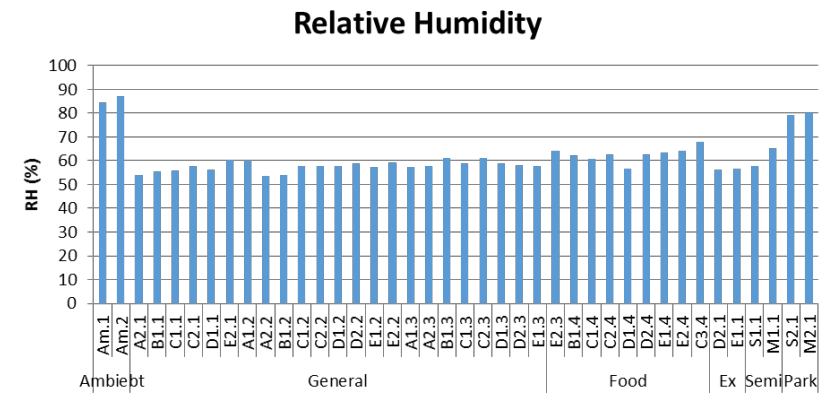


(จ) ฝุ่นละอองขนาดเล็ก

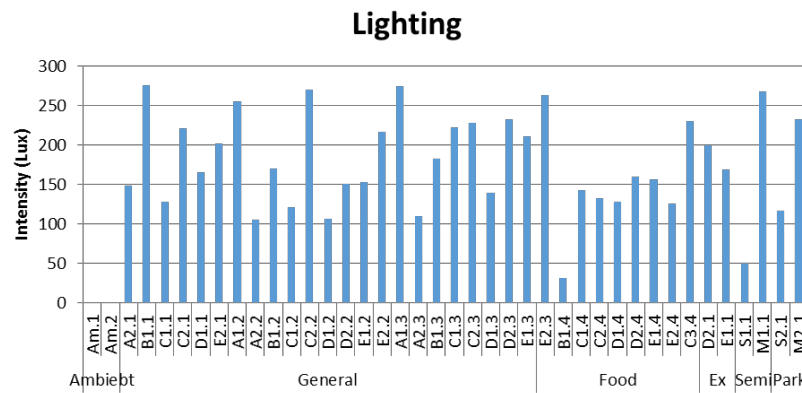
รูปที่ 4.8 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารห้างสรรพสินค้าที่ 1



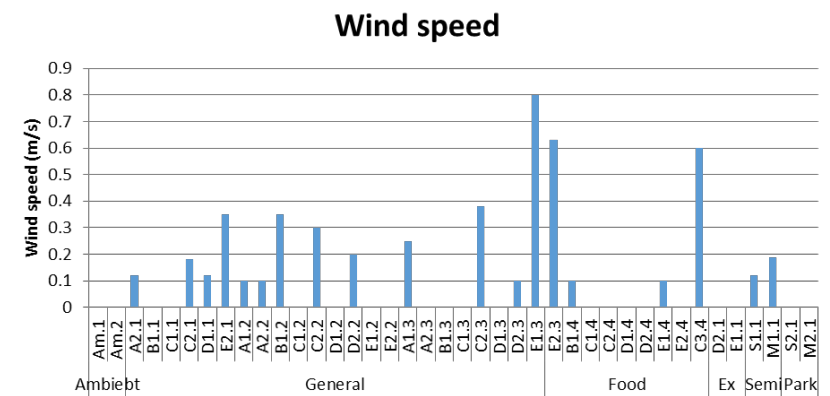
(จ) อุณหภูมิอากาศ



(ฉ) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ



(ช) ความสว่าง



(ซ) อัตราเร็วของอากาศ

รูปที่ 4.8 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารห้างสรรพสินค้าที่ 1 (ต่อ)

จากการสำรวจพบว่ามีภาระสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เล็กน้อยในพื้นที่ทั่วไป (General Area) โดยเฉพาะในพื้นที่โซนกลางของอาคาร (C และ D) ซึ่งมีความสัมพันธ์กันของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กับ ปริมาณคนที่ใช้บริการของพื้นที่ สำหรับในส่วนอื่นๆของอาคาร คือ พื้นที่ศูนย์อาหาร และพื้นที่รอยต่อระหว่างลานจอดรถและอาคารนั้นมีค่าคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่าเกณฑ์ เนื่องจากมีผู้ใช้บริการน้อยในช่วงระยะเวลาการตรวจวัด ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สะสมสูงที่สุด พบที่ส่วนแสดงสินค้าชั้น 1 ที่มีผู้เข้ามาใช้บริการเป็นจำนวนมาก (มากกว่า 100 คน) อย่างไรก็ตาม ทางทีมตรวจวัดไม่สามารถประเมินจำนวนคนระหว่างการตรวจวัดได้อย่างชัดเจน ในพื้นที่ศูนย์อาหาร พื้นที่รอยต่อระหว่างลานจอดรถ และส่วนแสดงสินค้าชั้น 1 เนื่องจากมีผู้เข้ามาใช้บริการเป็นจำนวนมากในพื้นที่

ปริมาณฝุ่นละอองทั้งหมดในพื้นที่ของอาคารนั้น พื้นที่ส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานฝุ่นละอองในอากาศของประเทศไทย (TSP = 330 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; PM10 = 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; PM2.5 = 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ยกเว้นพื้นที่ C1 ของชั้นที่ 1 (C1.FL1) ที่อยู่ใกล้กับทางเชื่อมไปยังอาคารจอดรถ และในวันดังกล่าวมีผู้นำรถเข้ามาจอดในปริมาณมาก ฝุ่นละอองจากการเผาไหม้จากไอเสียรถยนต์นั้น อาจเดินทางผ่านมานอกอากาศและสะสมตัวในพื้นที่ของชั้น 1 ได้ อย่างไรก็ตาม จากการตรวจวัดที่ตำแหน่งเดียวกันของชั้นอื่น ไม่พบการสะสมของในละออง อาจเนื่องมาจากวันที่ทำการตรวจวัด มีผู้มาใช้บริการจอดรถที่ชั้น 2 และ 3 น้อย ซึ่งเห็นได้ชัดจากการตรวจวัดอากาศภายนอกในพื้นที่ของลานจอดรถชั้น 1 (S2.FL1) ที่มีปริมาณฝุ่นละอองสูงเช่นกันเมื่อเทียบกับการตรวจวัดในลานจอดรถอีกฝั่งที่มีผู้ใช้บริการน้อยกว่า (M2.FL1)

การตรวจวัดทุกพื้นที่ในอาคารของห้างสรรพสินค้าพบว่า ไม่มีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ภายในพื้นที่ ยกเว้นส่วนรอยต่อด้านที่ติดกับลานจอดรถชั้น 1 (S1.FL1) มีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์สะสมอยู่ (1 ppm) แต่ยังต่ำกว่าค่ามาตรฐานของ World Health Organization (WHO) ที่กำหนดไว้ที่ 9 ppm (Average 8 hr) ทั้งนี้เกิดจากก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากท่อไอเสียรถยนต์เดินทางเข้ามาในพื้นที่รอยต่อระหว่างอาคารและลานจอดรถ แต่ไม่สามารถเข้าสู่อาคารได้ เนื่องจากติดม่านอากาศ ผลการตรวจวัดบริเวณลานจอดรถทั้ง 2 แห่ง (S2.FL1 และ M2.FL1) พบว่ามีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่สูง แต่ยังมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานเช่นกัน

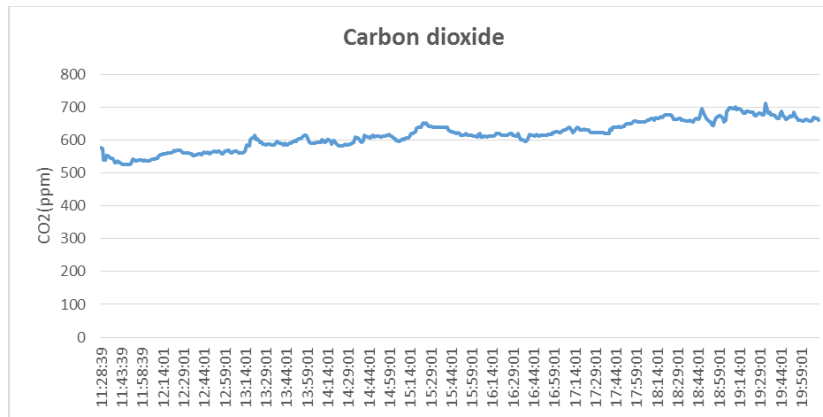
สาร Formaldehyde ตรวจพบในพื้นที่ 4 จุดด้วยกัน คือ E1.FL1 (พื้นที่ทั่วไป) D2.FL1 (พื้นที่แสดงสินค้า) M1.FL1 (พื้นที่รอยต่อกับลานจอดรถ) ของชั้นที่ 1 และ C3.FL4 (พื้นที่ศูนย์อาหาร) ของชั้นที่ 4 ซึ่งเกิดจากการใช้เฟอร์นิเจอร์ไม้และกาวเป็นวัสดุยึดติดในบริเวณใกล้เคียงกับพื้นที่ตรวจวัดโดยพบว่าที่ชั้น 4 มีความเข้มข้นของสาร Formaldehyde สูงกว่าค่ามาตรฐานของ WHO ที่ 0.08 ppm (0.1 mg/m^3) เล็กน้อย สำหรับอุณหภูมิและความชื้นในอาคารมีค่าปกติและไม่แตกต่างกันเนื่องจากพื้นที่ทั้งหมดมีการเชื่อมถึงกัน อุณหภูมิและความชื้นมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (Temp = $25\pm 2^\circ\text{C}$ และ RH = 60%)

4.1.2.1.6 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในอาคาร

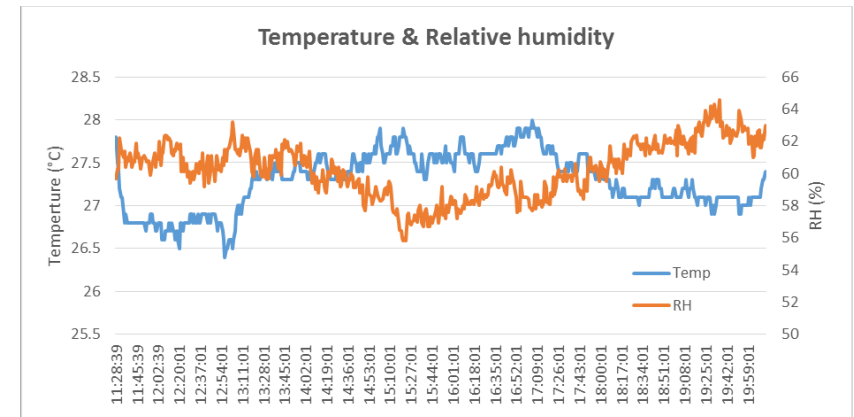
จากการสำรวจเบื้องต้นในหัวข้อที่ 5 ทางทีมงานได้เลือกทำการศึกษา การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในอาคารโดยละเอียด ในพื้นที่สวนอาหาร ของห้างสรรพสินค้า ที่มีผู้ใช้งานห้องดังกล่าวตลอดทั้งวัน ผลการตรวจวัดได้แสดงไว้ ดังError! Reference source not found.

จากผลการศึกษาพบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีการสะสมเพิ่มขึ้น แต่ไม่มาก เนื่องจากเป็นพื้นที่กว้าง ถึงแม้จะมีผู้ให้บริการในพื้นที่จำนวนมาก อุณหภูมิและความชื้นมีการเปลี่ยนแปลงมาก เนื่องจากการใช้พลังงานสำหรับการทำอาหารในพื้นที่ตลอดทั้งวัน

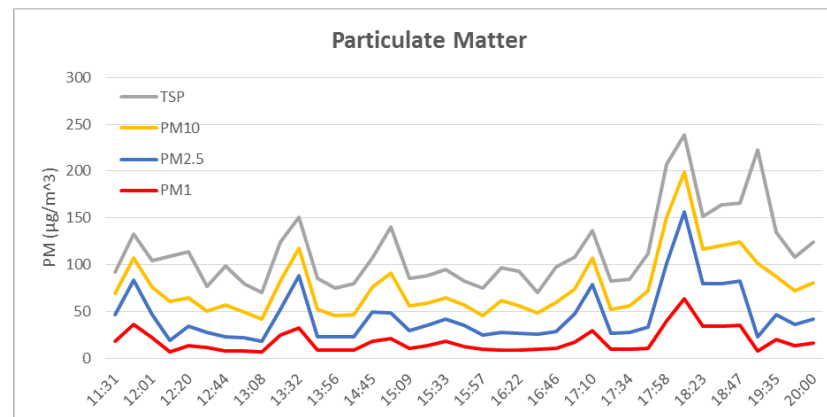
ฝุ่นละอองมีค่าแปรปรวนสูงในช่วงที่มีผู้ให้บริการในพื้นที่เป็นจำนวนมาก แต่ยังคงอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน อย่างไรก็ตามพบว่าฝุ่นละอองมาจากผู้ที่เข้ามาใช้บริการพื้นที่มากกว่าที่เกิดขึ้นจากการทำอาหาร



(ก) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



(ข) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ



(ค) ฝุ่นละออง

รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในระยะเวลา 8 ชั่วโมง ภายในห้องประชุม

4.1.2.2 อาคารห้างสรรพสินค้าที่ 2

4.1.2.2.1 สถานที่ตั้ง

ห้างสรรพสินค้าตั้งอยู่ติดบริเวณ ถนนที่มีรถใช้งานในการสัญจรหนาแน่นตลอดเวลา โดยห้างสรรพสินค้าตั้งติดอยู่บริเวณมุมของสี่แยกขนาดใหญ่ บริเวณรอบๆล้อมรอบด้วย ห้างสรรพสินค้าขนาดเล็กเคียงกัน คุณภาพอากาศจากการตรวจสอบพบว่า คุณภาพอากาศโดยรวมของพื้นที่อยู่ในเกณฑ์ไม่ดี

4.1.2.2.2 ลักษณะทั่วไปของอาคารและการระบายอากาศ

ลักษณะอาคารเป็นอาคารสูง 7 ชั้น โดยมีการแบ่งพื้นที่เป็นส่วนของห้างสรรพสินค้าและพื้นที่สำนักงาน ภายในอาคารมีการออกแบบระบบระบายอากาศเชิงกล (Mechanical Ventilation) โดยมีการแบ่งระบบระบายอากาศเพื่อให้เหมาะกับ พื้นที่ต่างๆ ทั้งศูนย์อาหาร ศูนย์การค้า และบริเวณโซนของไอที

4.1.2.2.3 การแบ่งพื้นที่ในการศึกษา

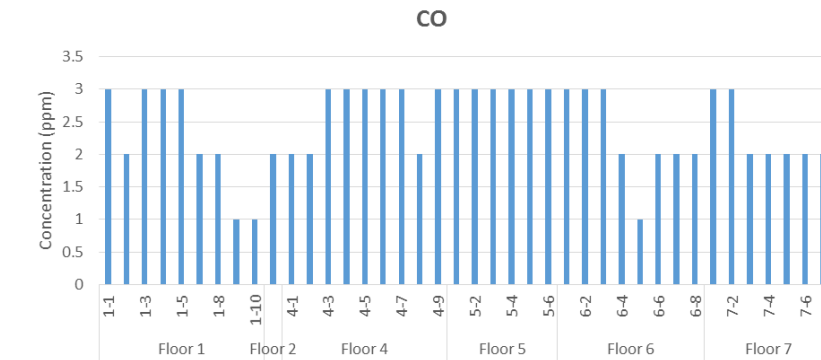
ในการศึกษานี้ทางทีมงานได้ทำการตรวจวัดตามพื้นที่การใช้งานรูปแบบต่างอันประกอบไปด้วย ศูนย์อาหาร ทางเดิน และบริเวณโซนของไอที

4.1.2.2.4 ข้อมูลระบบปรับอากาศ

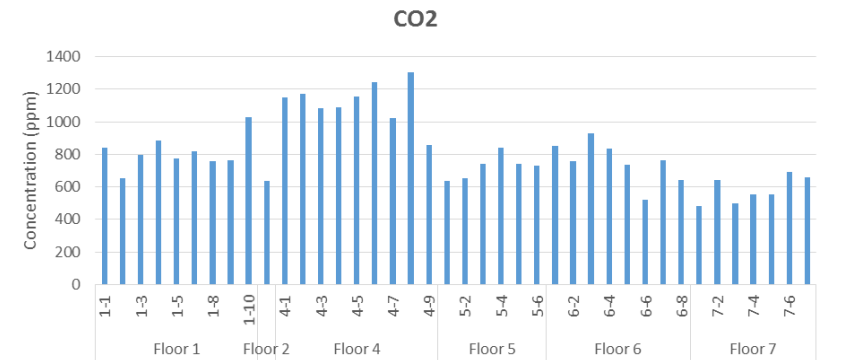
ระบบปรับอากาศของอาคารทั้ง 2 อาคารของห้างสรรพสินค้า เป็นระบบปรับอากาศแบบส่วนกลางโดยใช้ AHU ในแต่ละส่วนของชั้น

4.1.2.2.5 คุณภาพอากาศในอาคาร

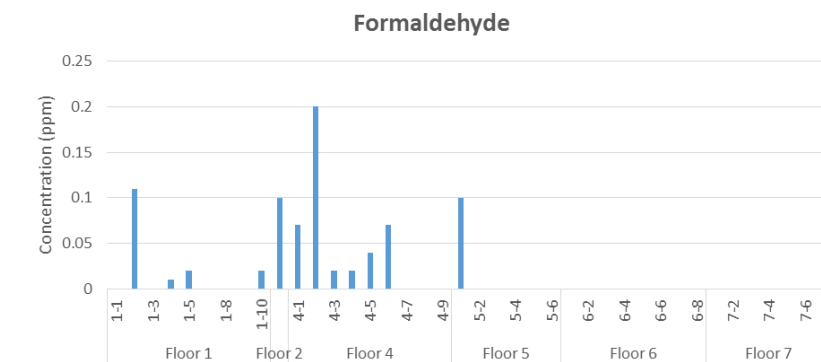
การตรวจวัดคุณภาพอากาศในอาคารของห้างสรรพสินค้า แบบเบื้องต้น ได้ทำการตรวจวัดทั้งหมด 40 พื้นที่ด้วยกัน ทั้งนี้ผลของการตรวจวัดได้แสดงไว้ดัง



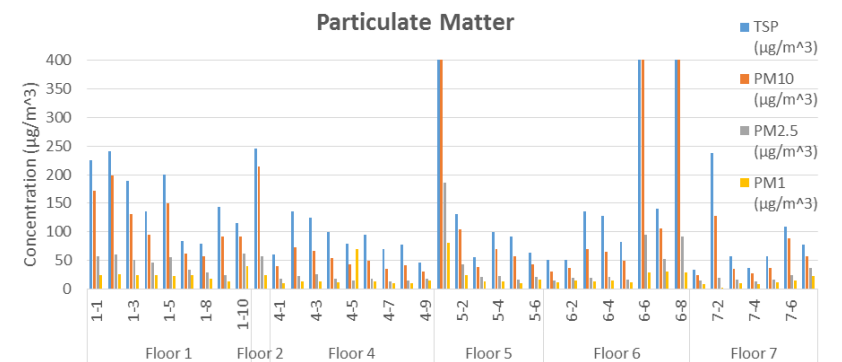
(ก) ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์



(ข) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

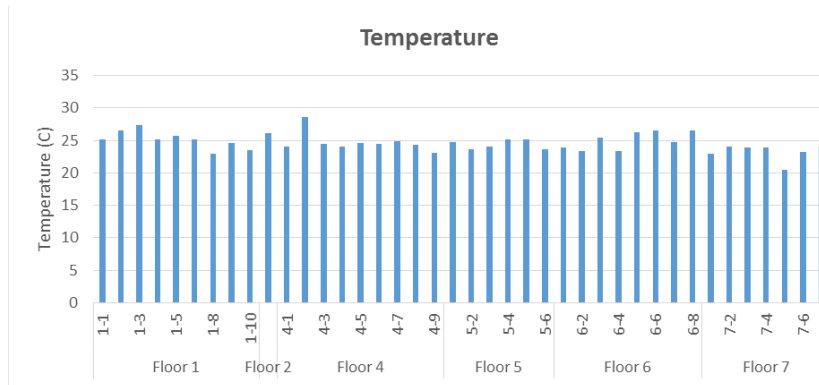


(ค) ฟอรัมาลดีไฮด์

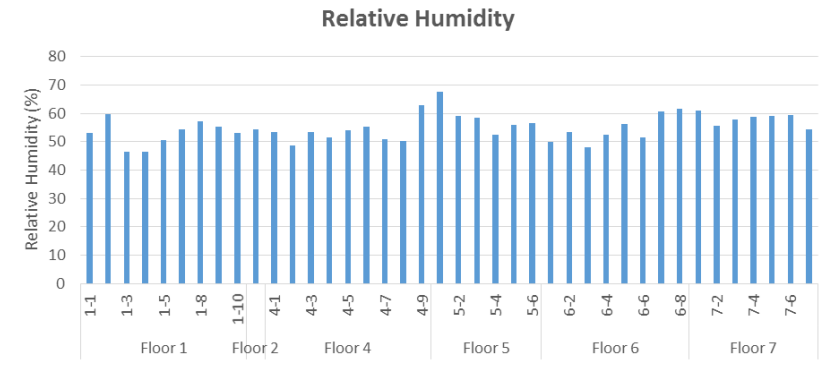


(จ) ฝุ่นละอองขนาดเล็ก

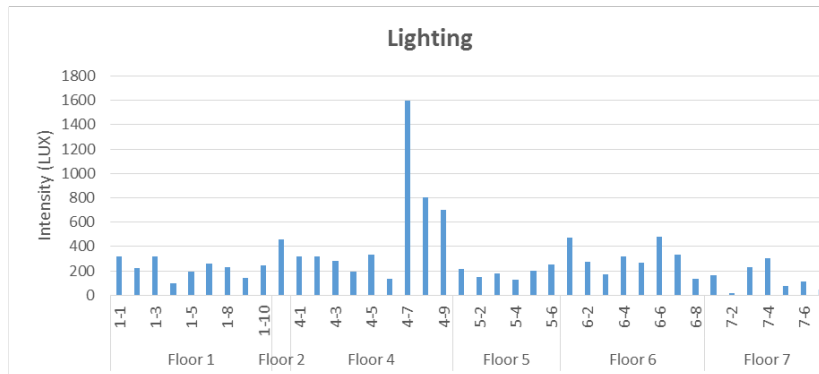
รูปที่ 4.10 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารห้างสรรพสินค้าที่ 2



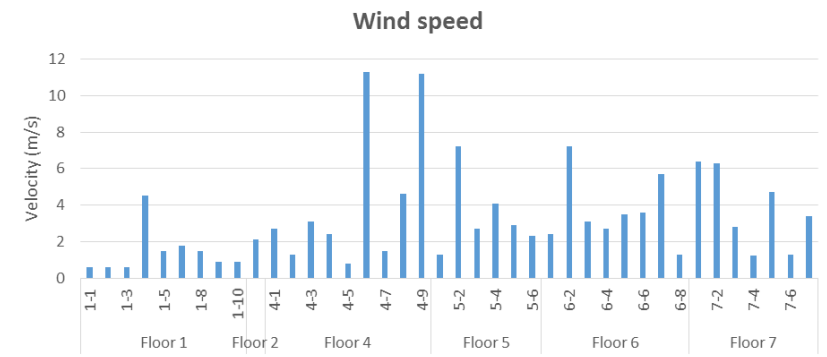
(จ) อุณหภูมิอากาศ



(ฉ) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ



(ช) ความสว่าง



(ซ) อัตราเร็วของอากาศ

รูปที่ 4.10 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารห้างสรรพสินค้าที่ 2 (ต่อ)

จากการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ในพื้นที่ห้างสรรพสินค้า พบก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ในทุกพื้นที่ที่ทำการสำรวจ แต่ยังคงต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ทั้งนี้เนื่องมาจากบริเวณรอบด้านของห้างสรรพสินค้า แห่งนี้อยู่ติดกับถนนใหญ่ที่มีการจราจรหนาแน่น ส่งผลให้เกิดการสะสมของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ และอาจ รั่วไหลเข้าสู่อาคารจากการเปิดปิดประตู

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคารบางจุดตรวจวัด มีปริมาณที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานโดยเฉพาะบริเวณชั้น 4 ของอาคาร โดยพบว่าในบริเวณดังกล่าวมีผู้ใช้งานเป็นจำนวนมากจนเกิดการระบายอากาศที่ไม่เพียงพอ

ผลการตรวจวัดสารฟอร์มัลดีไฮด์ในห้างสรรพสินค้าแห่งนี้ พบว่ามีบางพื้นที่ที่ตรวจวัดเจอสาร ฟอร์มัลดีไฮด์ ในบางพื้นที่ แต่ในพื้นที่ที่มีร้านขายเครื่องหนัง หรือร้านเฟอร์นิเจอร์พบว่าค่าดังกล่าวจะสูงเกินกว่า ค่ามาตรฐานได้

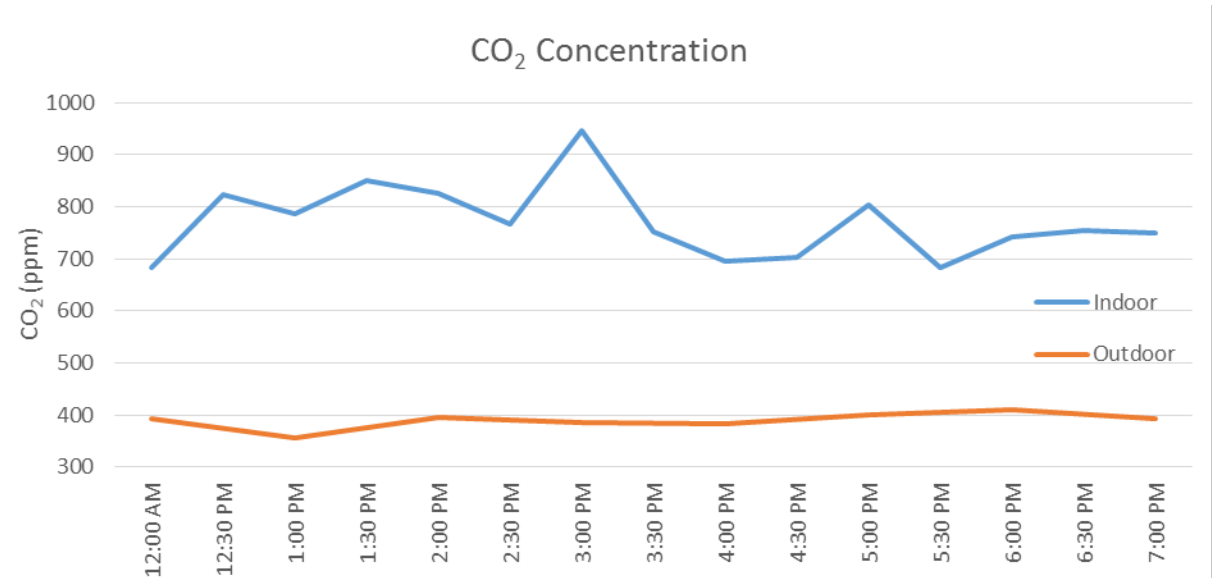
การตรวจวัดฝุ่นละอองในอากาศ พบว่า มีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองในอากาศเกินค่ามาตรฐาน เนื่องจากในบางพื้นที่มีปิดการปรับปรุงตกแต่งร้านค้า แต่ในพื้นที่อื่นจะพบว่ามีความเข้มข้นของฝุ่นละอองจะมีค่า ต่ำกว่ามาตรฐานเมื่อมีผู้ใช้งานในบริเวณนั้นน้อย ในทางเดียวกันเมื่อมีผู้ใช้งานที่มากขึ้นปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น ก็จะมีสูงขึ้นด้วยเช่นกัน

อุณหภูมิภายในห้างสรรพสินค้าแห่งนี้ มีค่าค่อนข้างแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ อาจเกิดจากการที่มีภาระ ของการทำความเย็นที่ต่างกันออกไปในแต่ละพื้นที่รวมถึงจำนวนผู้ใช้งาน โดยภาพรวมนั้นจะเห็นว่าค่าอุณหภูมิที่วัด ได้จะอยู่ในช่วง 23 ถึง 27 องศาเซลเซียส ในส่วนของความชื้นจะเห็นว่ามีค่าที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่เช่นเดียวกัน

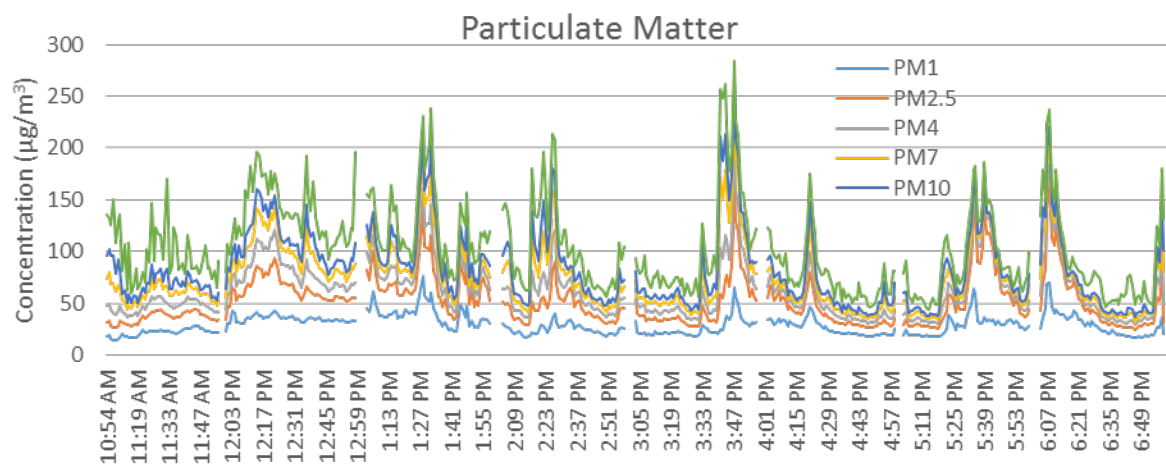
ค่าความเข้มแสงส่วนใหญ่มีค่าเป็นไปตามเกณฑ์ แต่จะพบว่าในบริเวณชั้น 7 นั้นมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับ ตัวอื่นๆ อันเนื่องมาจากชั้น 7 เป็นชั้นที่ประกอบด้วยส่วนของโรงภาพยนตร์

4.1.2.2.6 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในอาคาร

จากการสำรวจเบื้องต้นในหัวข้อที่ 5 ทางทีมงานได้เลือกทำการศึกษา การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศใน อาคารโดยละเอียด ในพื้นที่สวนอาหาร ชั้น 5 ของห้างสรรพสินค้า ที่มีผู้ใช้งานห้องดังกล่าวตลอดทั้งวัน โดยผลการ ตรวจวัดได้แสดงไว้ ดังError! Reference source not found.



(ก) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



(ข) ฝุ่นละออง

รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในระยะเวลา 8 ชั่วโมง บริเวณศูนย์อาหาร

จากผลการศึกษาพบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีการสะสมเพิ่มขึ้น แต่ไม่มาก เนื่องจากเป็นพื้นที่กว้าง ถึงแม้จะมีผู้ใช้บริการในพื้นที่จำนวนมาก แต่จะสังเกตได้ว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีค่าเข้มข้นสูงในเวลา 15.00 น. จากนั้นความเข้มข้นจะลดลง และจะสูงขึ้นอีกครั้งในเวลา 17.00 น.

ฝุ่นละอองมีค่าแปรปรวนตลอดเวลาขึ้นอยู่กับจำนวนผู้ใช้งานบริเวณดังกล่าว โดยมีความเข้มข้นสูงกว่าค่ามาตรฐาน

4.1.2.3 อาคารห้างสรรพสินค้าที่ 3

4.1.2.3.1 สถานที่ตั้ง

ห้างสรรพสินค้าตั้งอยู่ในเขตปทุมวัน จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยมีด้านทิศใต้ ติดกับถนนขนาดใหญ่ที่มีการจราจรหนาแน่นตลอดทั้งวัน พื้นที่โดยรอบของห้างสรรพสินค้า เป็นพื้นที่ชุมชนเมือง มีความหนาแน่นของประชากรมาก เป็นแหล่งท่องเที่ยวหลัก มีผู้สัญจรไปมาเป็นจำนวนมาก อาคารและสิ่งปลูกสร้างโดยรอบมีลักษณะเป็นอาคารสูง คุณภาพอากาศโดยรวมของพื้นที่อยู่ในเกณฑ์ไม่ดี

4.1.2.3.2 ลักษณะทั่วไปของอาคารและการระบายอากาศ

ลักษณะอาคารห้างสรรพสินค้า เป็นอาคารที่สูง 6 ชั้น ภายในอาคารมีการออกแบบระบบระบายอากาศเชิงกล (Mechanical Ventilation) โดยดูดอากาศจากดาดฟ้าของอาคาร

4.1.2.3.3 การแบ่งพื้นที่ในการศึกษา

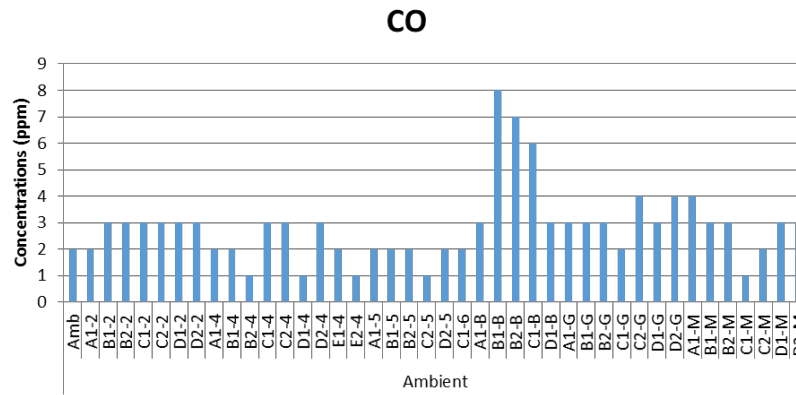
ในการศึกษานี้ทางทีมงานได้แบ่งพื้นที่การศึกษาตามชั้นต่าง ๆ โดยกำหนดให้ทำการตรวจวัดเป็นจำนวน 8 จุดในแต่ละชั้น

4.1.2.3.4 ข้อมูลระบบปรับอากาศ

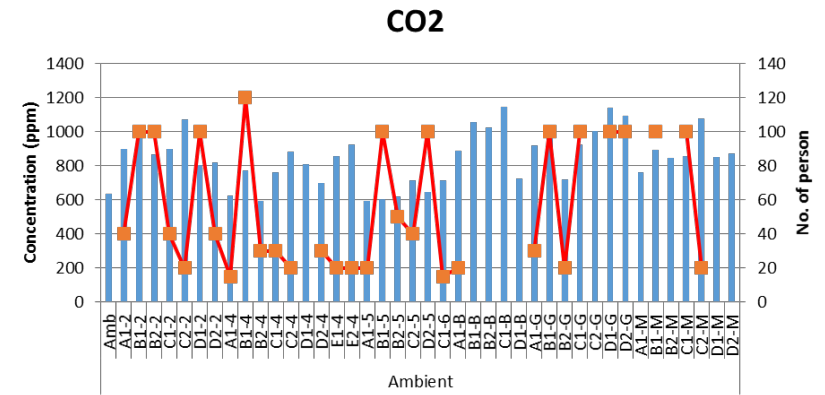
ระบบปรับอากาศของห้างสรรพสินค้า เป็นระบบปรับอากาศแบบส่วนกลาง โดยมีติดตั้งระบบระบายอากาศจากการดูด Fresh Air บนดาดฟ้าของอาคารมาจ่ายเข้าสู่ห้อง AHU ต่างๆในแต่ละชั้น

4.1.2.3.5 คุณภาพอากาศในอาคาร

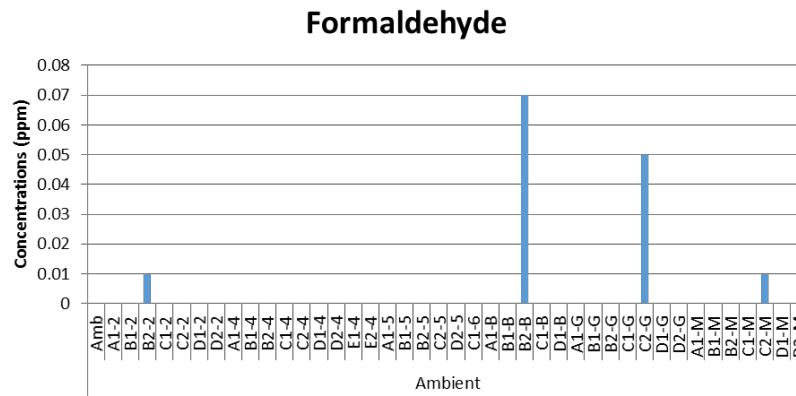
การตรวจวัดคุณภาพอากาศในอาคารของห้างสรรพสินค้าแบบเบื้องต้น ได้ทำการตรวจวัดทั้งหมด 42 พื้นที่ด้วยกัน ทั้งนี้ผลของการตรวจวัดได้แสดงไว้ดัง



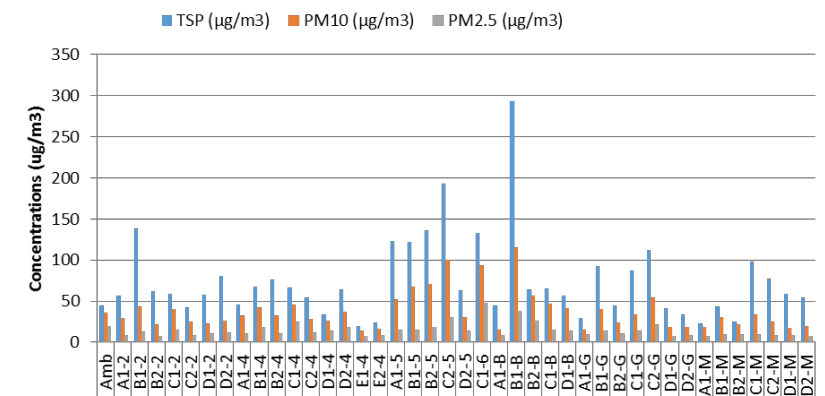
(ก) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์



(ข) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

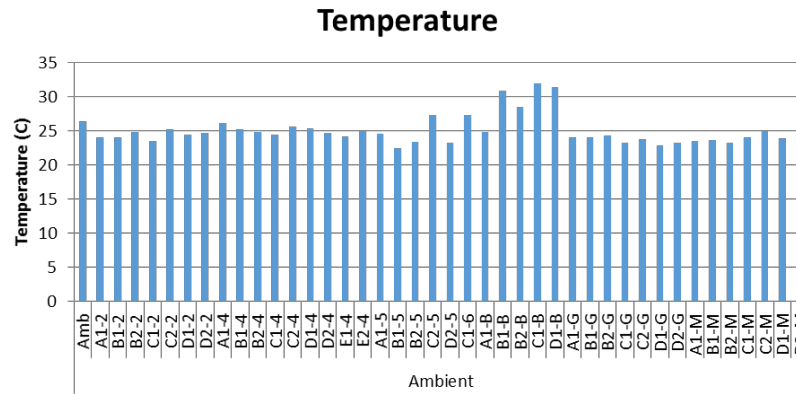


(ค) ฟอรัมาลดีไฮด์

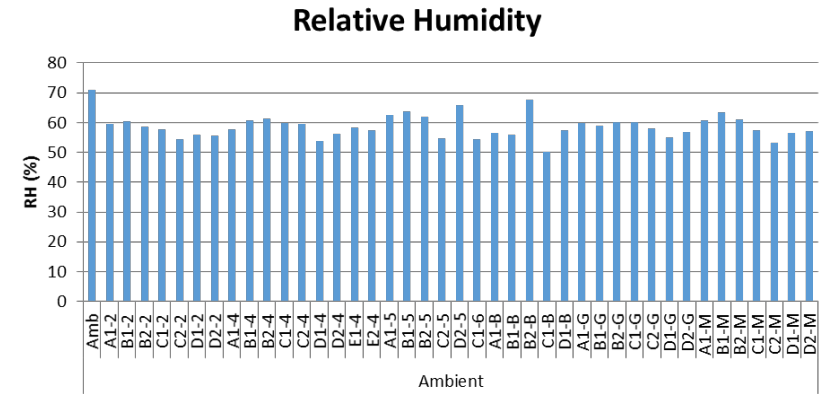


(จ) ฝุ่นละอองขนาดเล็ก

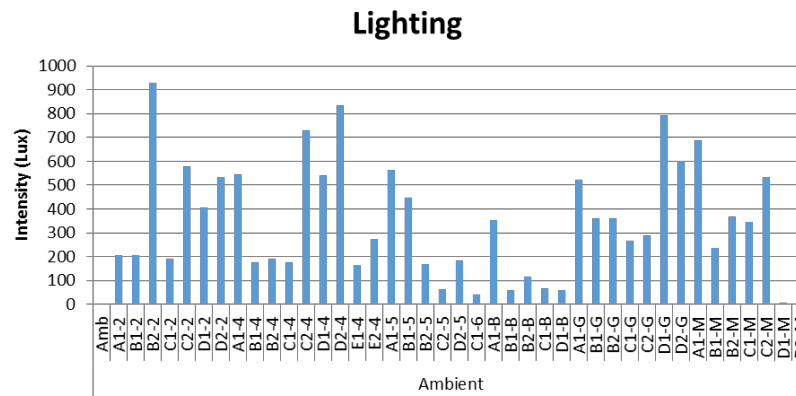
รูปที่ 4.12 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารห้างสรรพสินค้าที่ 3



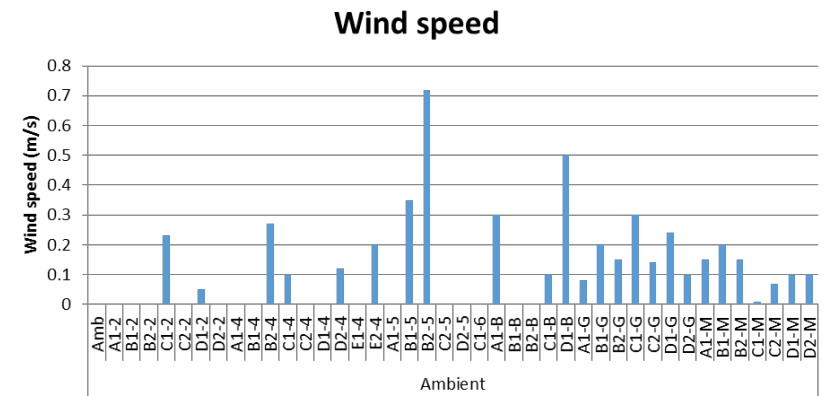
(จ) อุณหภูมิอากาศ



(ฉ) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ



(ช) ความสว่าง



(ซ) อัตราเร็วของอากาศ

รูปที่ 4.12 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารห้างสรรพสินค้าที่ 3 (ต่อ)

การตรวจวัดคุณภาพอากาศ พบว่าเป็นอาคารขนาดใหญ่จำนวน 6 ชั้น ที่มีพื้นที่เชื่อมถึงกันหมดเช่นกัน อย่างไรก็ตามมีเฉพาะบางส่วนของห้างสรรพสินค้าบริเวณบันไดเลื่อนที่อากาศเชื่อมโยงถึงกันทุกชั้น

ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้ในห้างสรรพสินค้า พบว่ามีบางพื้นที่ที่มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน อันประกอบไปด้วย พื้นที่ทั่วไป และพื้นที่ศูนย์อาหาร ทั้งนี้เนื่องจากมีผู้ใช้บริการพื้นที่เป็นจำนวนมาก (> 100 คน) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชั้น M และชั้น 2 ที่เป็นส่วนของศูนย์อาหาร และร้านอาหาร ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเนื่องจากพื้นที่ของห้างสรรพสินค้ามีพื้นที่ขนาดใหญ่ และมีผู้เข้ามาใช้บริการมาก จึงไม่สามารถทำการตรวจวัดจำนวนคนได้

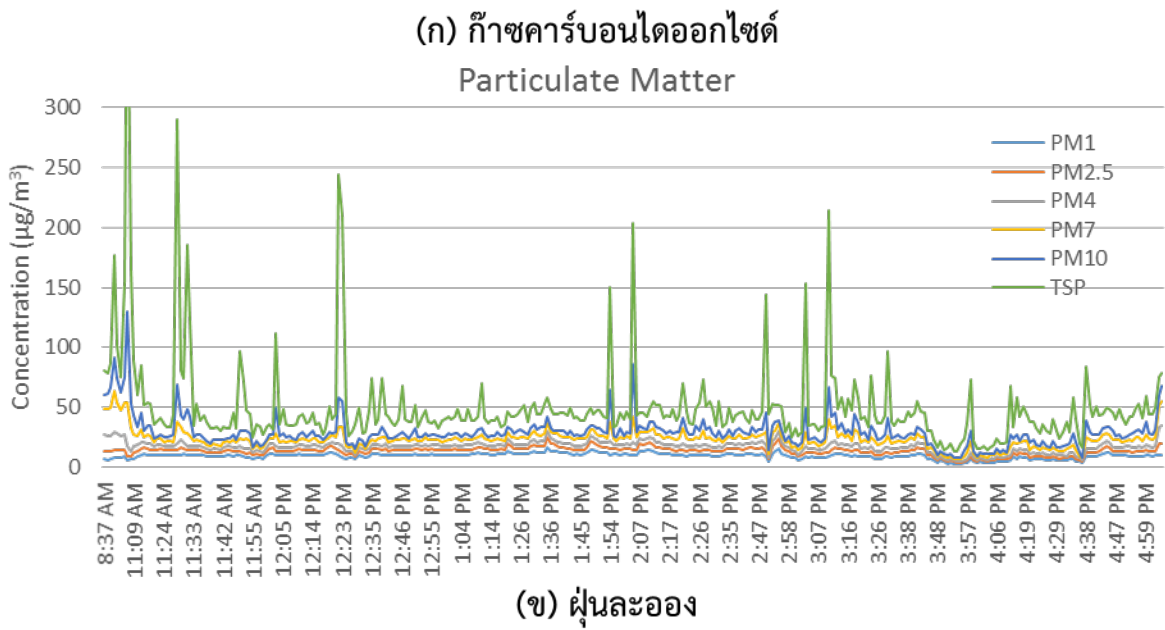
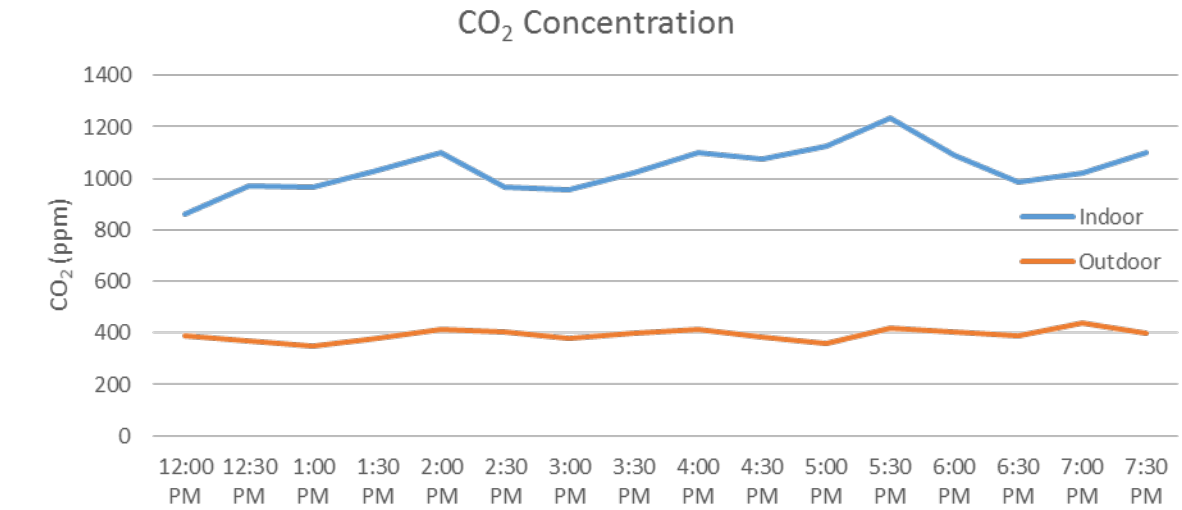
ผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศพบว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด แม้ในพื้นที่ลานจอดรถ ทั้งนี้จุดที่พบว่ามีฝุ่นละอองในปริมาณสูงคือบริเวณลานจอดรถชั้น B1 ซึ่งมีแหล่งกำเนิดหลักมาจากรถยนต์ และชั้น 5 และ 6 (พื้นที่ของโรงภาพยนตร์) ซึ่งเกิดจากการสะสมของฝุ่นละอองบนอุปกรณ์ตกแต่งของพื้นที่ เช่นโซฟาที่ทำจากผ้า พรม และวัสดุตกแต่งอื่นๆที่ใช้ในการดูดซับเสียงเป็นต้น

อย่างไรก็ตามพบว่าในห้างสรรพสินค้าชั้นนั้น ทุกพื้นที่ของห้างสรรพสินค้า มีก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ปนเปื้อนอยู่ ซึ่งอาจเกิดจากการจราจรภายนอกอาคาร เนื่องจากห้างสรรพสินค้าดังกล่าวตั้งอยู่ในพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่นตลอดทั้งวัน อากาศภายนอกที่มีก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์อาจไหลเข้าสู่ตัวอาคาร ผ่านช่องเปิดต่างๆ และวนเวียนอยู่ภายในอาคารได้ ทั้งนี้ผลการตรวจวัดพบว่าปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่พบยังไม่ถึงระดับที่ก่อให้เกิดอันตราย และยังต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของประเทศไทย และ WHO

4.1.2.3.6 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในอาคาร

จากการสำรวจเบื้องต้นในหัวข้อที่ 5 ทางทีมงานได้เลือกทำการศึกษา การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในอาคารโดยละเอียด ในพื้นที่สวนอาหาร ชั้น G ของห้างสรรพสินค้า ที่มีผู้ใช้งานห้องดังกล่าวตลอดทั้งวัน โดยผลการตรวจวัดได้แสดงไว้ ดังError! Reference source not found.

จากการสำรวจจะเห็นว่าค่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าสูงกว่ามาตรฐาน อาจเนื่องมาจากการระบายอากาศที่ไม่เพียงพอ อีกทั้งจากการศึกษาจะเห็นว่าฝุ่นละอองในอากาศมีค่าเป็นไปตามมาตรฐาน แต่มีเฉพาะบางช่วงเวลาที่มีค่าสูงกว่าปกติอาจเพราะจำนวนผู้ใช้งาน และกิจกรรมต่างๆในบริเวณที่ทำการตรวจวัด



รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในระยะเวลา 8 ชั่วโมง บริเวณศูนย์อาหาร

4.1.3 อาคารประเภทโรงแรม

4.1.3.1 อาคารโรงแรมที่ 1

4.1.3.1.1 สถานที่ตั้ง

โรงแรมตั้งอยู่ในจังหวัดปทุมธานี โดยมีด้านทิศตะวันออก และทิศใต้ติดกับถนนทางหลวงขนาดใหญ่ที่มีการจราจรหนาแน่นตลอดทั้งวัน พื้นที่โดยรอบเป็นพื้นที่นาข้าว และมีชุมชนขนาดเล็กอยู่เป็นกลุ่ม มีความหนาแน่นของประชากรน้อย อาคารและสิ่งปลูกสร้างโดยรอบมีลักษณะไม่สูงมาก มีอาคารสูงอยู่เป็นปริมาณไม่มาก ไม่ก่อให้เกิดการสะสมตัวของมลพิษทางอากาศภายนอกอาคาร คุณภาพอากาศโดยรวมของพื้นที่อยู่ในเกณฑ์ดี

4.1.3.1.2 ลักษณะทั่วไปของอาคารและการระบายอากาศ

อาคารโดยทั่วไป เป็นอาคารที่สูงไม่เกิน 4 ชั้น โดยแบ่งอาคารออกเป็น อาคารโรงแรม อาคารเรียน อาคารที่พักอาศัยของนักศึกษา อาคารห้องสมุด อาคารโรงอาหาร อาคารซ่อมบำรุง และอาคารสำนักงานต่างๆ ทั้งนี้ อาคารทั้งหมดไม่มีการออกแบบระบบระบายอากาศเชิงกล (Mechanical Ventilation) ใดๆ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากอาคารแต่ละอาคารตั้งอยู่ห่างกันทำให้พื้นที่ส่วนใหญ่ของอากาศเข้าถึง อาจมีการระบายอากาศแบบธรรมชาติดี หากมีการเปิดหน้าต่าง

4.1.3.1.3 การแบ่งพื้นที่ในการศึกษา

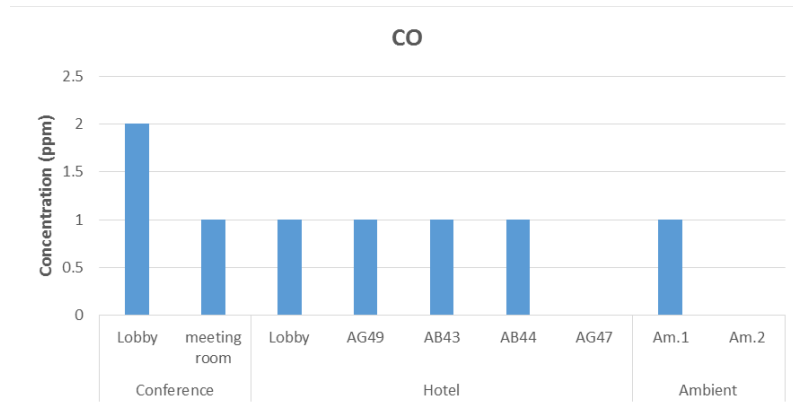
ในการศึกษานี้ทางทีมงานได้แบ่งพื้นที่การศึกษาตามลักษณะการใช้งานของพื้นที่ ออกเป็น 2 ส่วนหลักด้วยกันคือ (1) ห้องประชุม และ (2) ห้องพัก ภายในโรงแรม เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของอาคารโรงแรม

4.1.3.1.4 ข้อมูลระบบปรับอากาศ

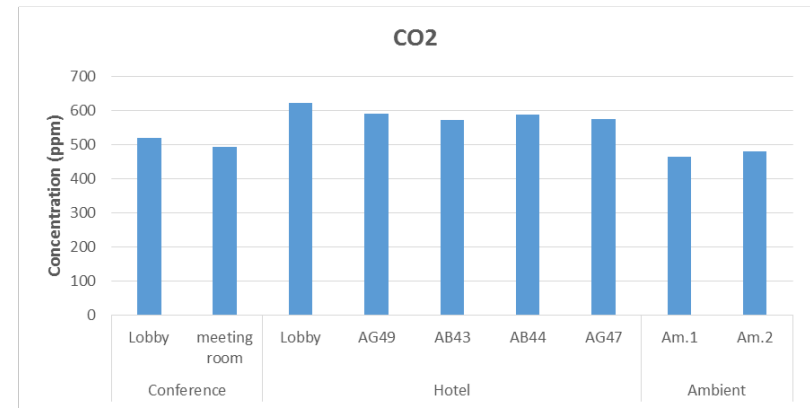
ระบบปรับอากาศส่วนใหญ่เป็นแบบ Split Type ตามแต่ขนาดของพื้นที่ ทั้งนี้แต่ละห้องจะสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในห้องได้ ผ่าน Thermostat

4.1.3.1.5 คุณภาพอากาศในอาคาร

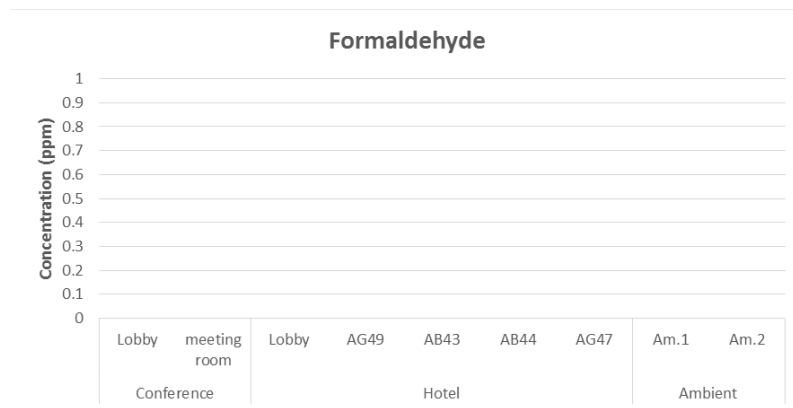
การตรวจวัดคุณภาพอากาศในอาคารโรงแรม แบบเบื้องต้น ได้ทำการตรวจวัดทั้งหมด 7 พื้นที่ด้วยกัน ทั้งนี้ผลของการตรวจวัดได้แสดงไว้ดัง



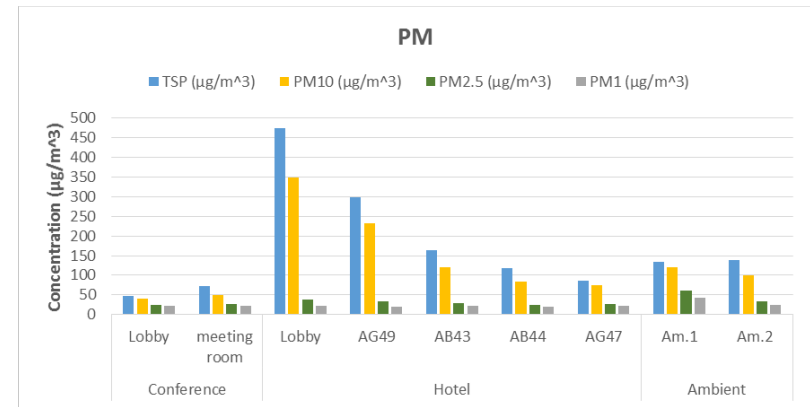
(ก) ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์



(ข) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

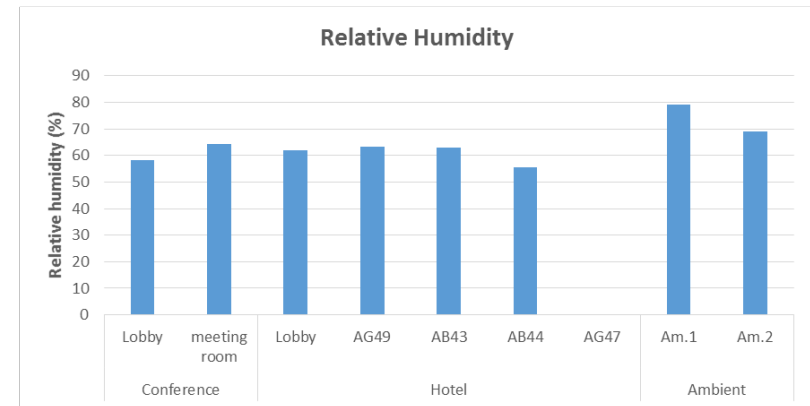
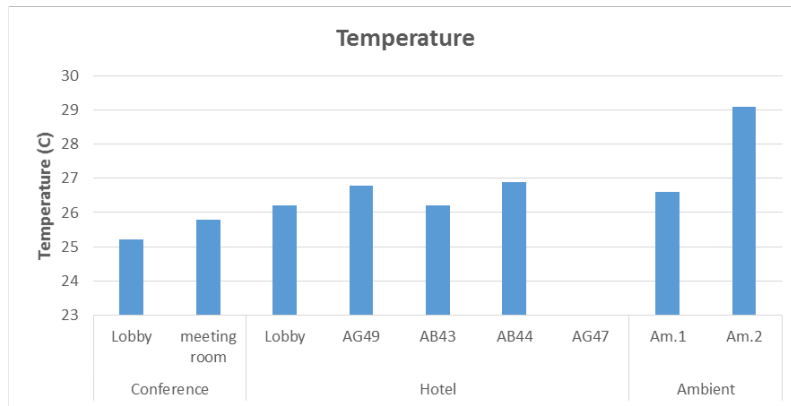


(ค) ฟอर्मัลดีไฮด์

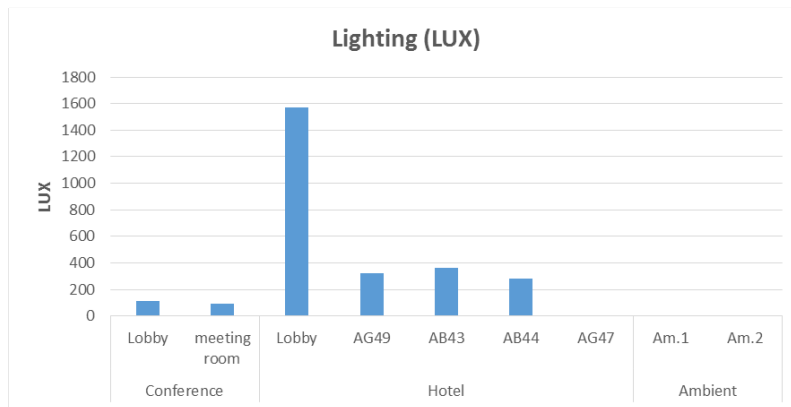


(จ) ฝุ่นละอองขนาดเล็ก

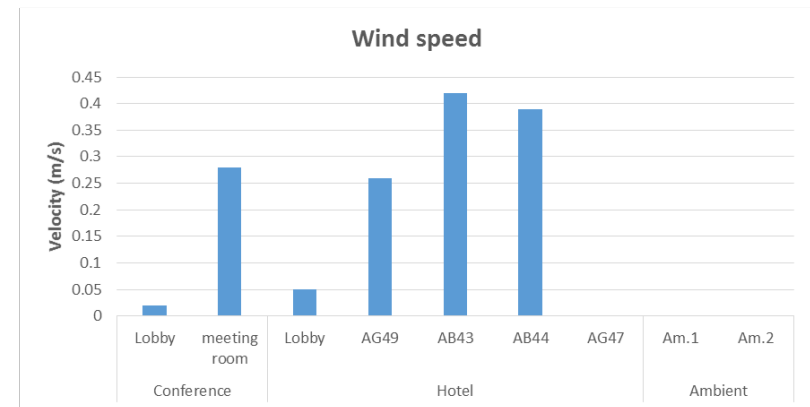
รูปที่ 4.14 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารโรงแรมที่ 1



(ฉ) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ



(ช) ความสว่าง



(ซ) อัตราเร็วของอากาศ

รูปที่ 4.14 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารโรงแรมที่ 1 (ต่อ)

จากการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ในพื้นที่อาคารโรงแรม พบก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ในบางพื้นที่ แต่ยังคงอยู่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคารโรงแรมทั้งหมด มีปริมาณที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ทั้งนี้เกิดจากการตรวจวัดในบริเวณพื้นที่ห้องพักที่ไม่มีผู้อยู่อาศัย และในพื้นที่ Lobby และห้องประชุม นั้น อาจมีขนาดห้องที่ใหญ่เมื่อเทียบกับผู้ใช้งาน

ผลการตรวจวัดสารฟอร์มาลดีไฮด์ในบริเวณอาคารโรงแรม พบว่าไม่มีสารดังกล่าว เนื่องจากห้องทั้งหมดที่ทำการตรวจวัดไม่มีเฟอร์นิเจอร์ใหม่ หรือการตกแต่งใหม่

การตรวจวัดฝุ่นละอองในอากาศ ภายในบริเวณอาคารโรงแรม พบว่า บริเวณห้องพักมีปริมาณฝุ่นละอองค่อนข้างสูง และมีค่าสูงกว่ามาตรฐานในบางพื้นที่ เนื่องจากพื้นที่บริเวณดังกล่าวมีการปูพรมที่พื้น

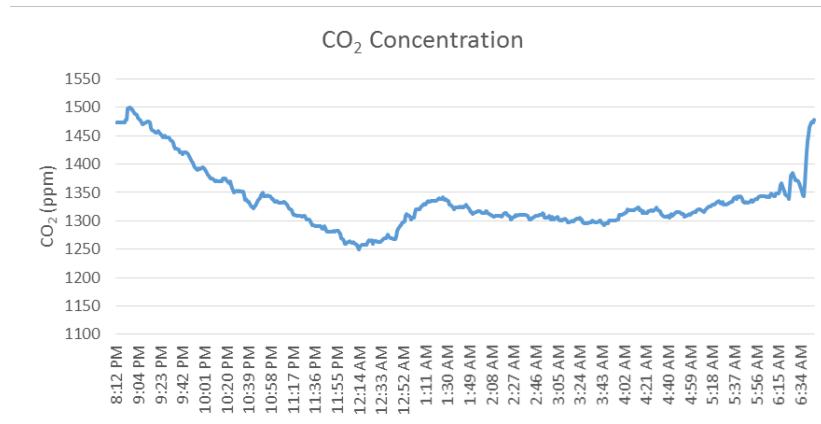
อุณหภูมิภายในบริเวณอาคารโรงแรม พบว่า ส่วนใหญ่อุณหภูมิค่อนข้างสูง ทั้งนี้เกิดจากการเปิดระบบปรับอากาศก่อนเข้าตรวจวัดไม่นานมากนัก แต่ในส่วนของความชื้น พบว่า ส่วนใหญ่เป็นไปตามมาตรฐาน

แสงในพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นแสงจากธรรมชาติ ผ่านทางช่องแสงต่างๆ อย่างไรก็ตามพบว่าห้องพักของโรงแรม มีปริมาณแสงน้อยเนื่องจากไม่มีช่องแสง หรือมีช่องแสงน้อย และในส่วนของ การเคลื่อนตัวของอากาศพบว่า ส่วนมากเป็นไปตามมาตรฐาน แต่อย่างไรก็ดี พบว่า ในส่วนของ Lobby ทั้งบริเวณห้องประชุมและบริเวณห้องพัก พบว่ามีการเคลื่อนตัวของอากาศค่อนข้างต่ำ อันเนื่องมาจากการที่เพดานสูง หรืออาจมีการจ่ายอากาศด้วยความเร็วที่เหมาะสม

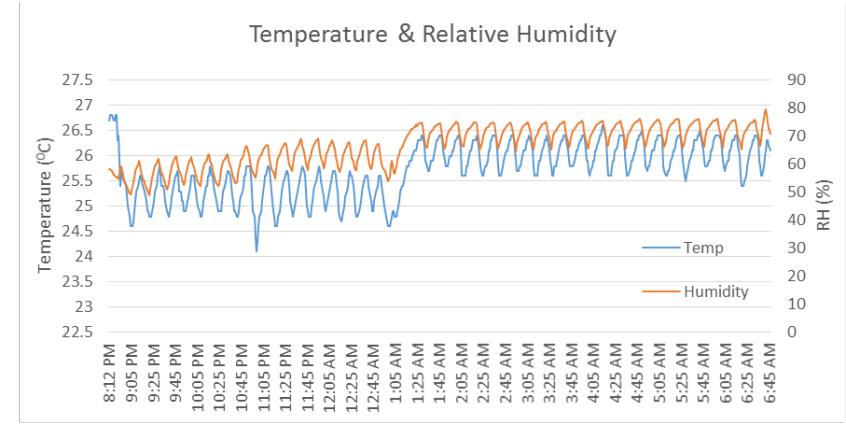
4.1.3.1.6 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในอาคาร

จากการสำรวจเบื้องต้นในหัวข้อที่ 5 ทางทีมงานได้เลือกทำการศึกษา การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในอาคารโดยละเอียด ในพื้นที่ของห้องพักในโรงแรม ใช้ระบบปรับอากาศแบบ Split type มีผู้ใช้งานภายในห้องดังกล่าวอยู่ 1 คน โดยผลการตรวจวัดได้แสดงไว้ ดังError! Reference source not found.

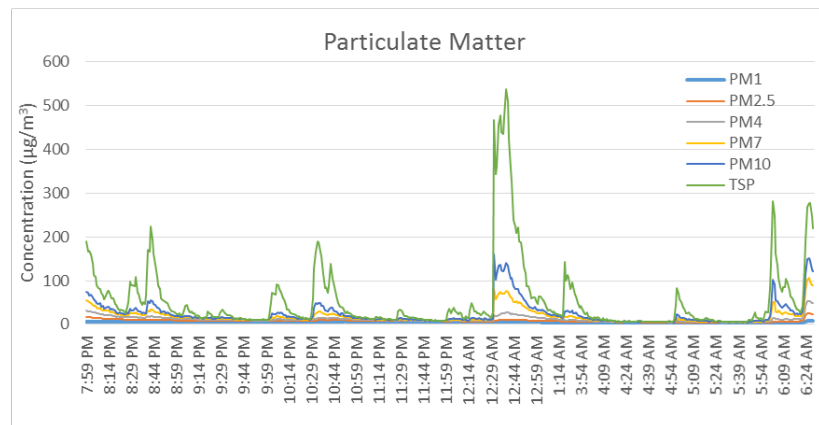
เอกสารปกปิด ห้ามเผยแพร่ก่อนได้รับอนุญาต



(ก) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



(ข) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ



(ค) ฝุ่นละออง

รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในระยะเวลา 8 ชั่วโมง ภายในห้องพัก

4.1.3.2 อาคารโรงแรมที่ 2

4.1.3.2.1 สถานที่ตั้ง

ตั้งอยู่บริเวณที่มี การจราจรหนาแน่นปานกลางบริเวณถนน พระราม 4 โดยสภาพแวดล้อมโดยรอบ ประกอบด้วย อาคารเชิงพาณิชย์ขนาดกลางรอบล้อมอยู่ และมีสภาพแวดล้อมโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง เนื่องจากมีรถ

4.1.3.2.2 ลักษณะทั่วไปของอาคารและการระบายอากาศ

ลักษณะอาคาร เป็นอาคารที่สูง ภายในอาคารไม่มีการออกแบบระบบระบายอากาศเชิงกล (Mechanical Ventilation) โดยมีการแบ่งระบบระบายอากาศเพื่อให้เหมาะกับ ห้องประเภทต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น ห้องประชุม ห้องพัก โชนอาหาร

4.1.3.2.3 การแบ่งพื้นที่ในการศึกษา

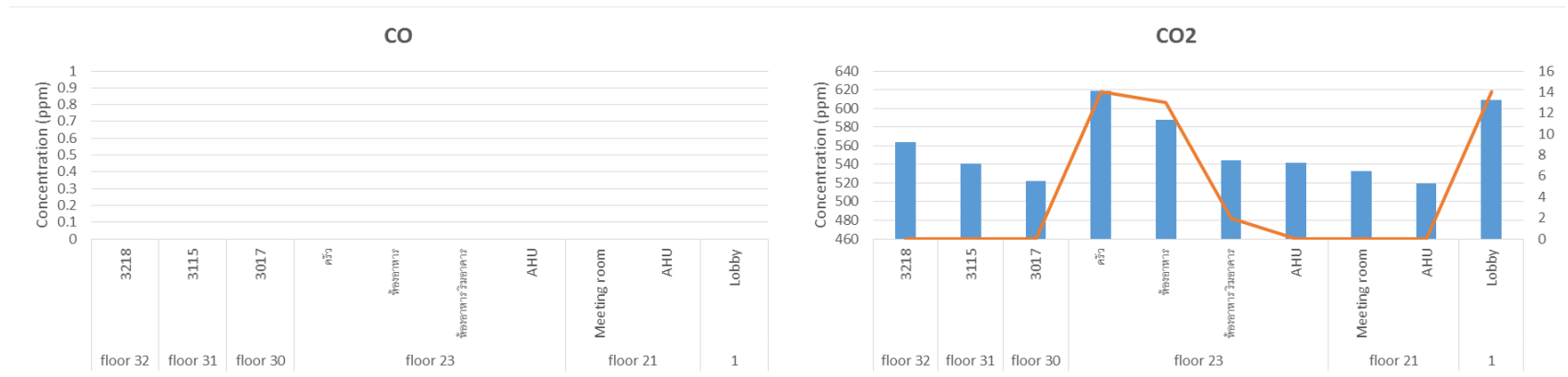
ในการศึกษานี้ทางทีมงานได้ทำการตรวจวัดตามพื้นที่การใช้งานรูปแบบต่างอันประกอบไปด้วย ล็อบบี้ ห้องพัก ทางเดิน โรงอาหาร ห้องประชุม

4.1.3.2.4 ข้อมูลระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศของโรงแรม เป็นระบบปรับอากาศแบบส่วนกลาง โดยมีการจ่ายอากาศเย็นผ่าน AHU ต่างๆของแต่ละชั้น อย่างไรก็ตามอาคารดังกล่าวมีการติดตั้งระบบระบายอากาศ อยู่บ้างโดยทำการดึงอากาศ ภายนอกเข้ามาทางข้างตึก เล็กน้อย

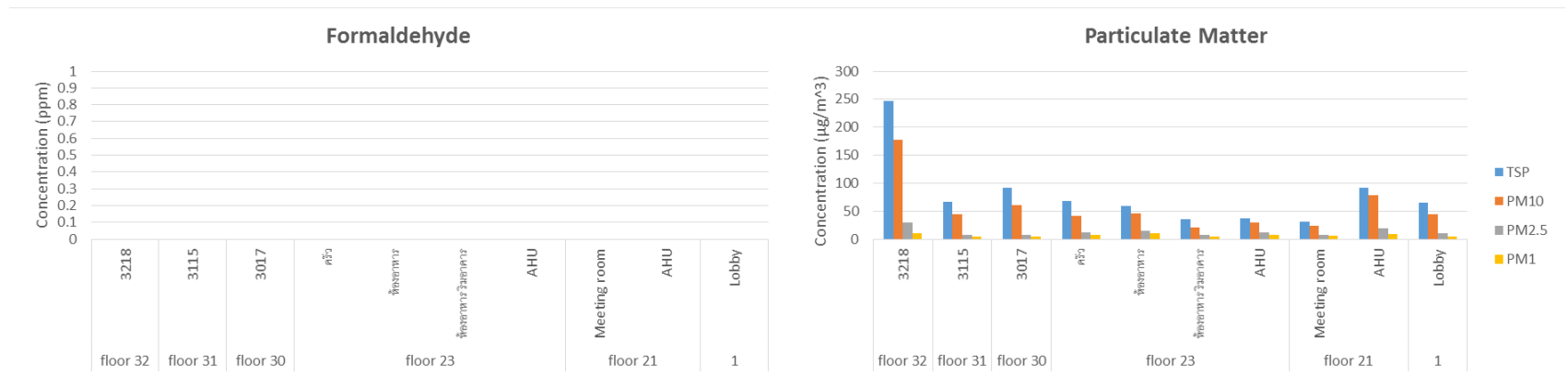
4.1.3.2.5 คุณภาพอากาศในอาคาร

การตรวจวัดคุณภาพอากาศในอาคารโรงแรมแบบเบื้องต้น ได้ทำการตรวจวัดทั้งหมด 10 พื้นที่ด้วยกัน ทั้งนี้ผลของการตรวจวัดได้แสดงไว้ดัง



(ก) ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์

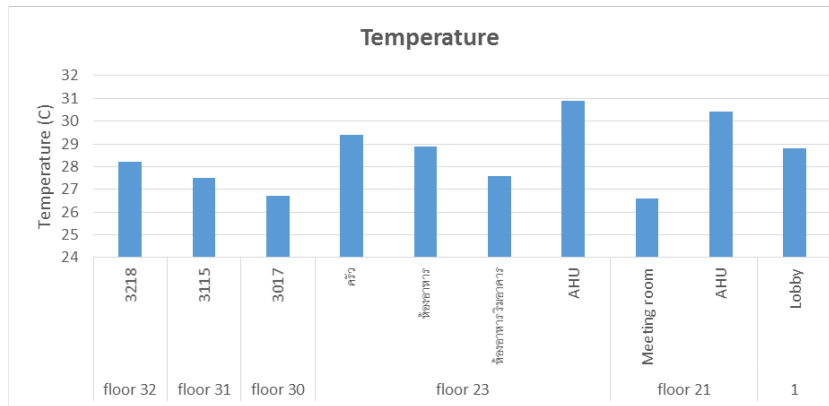
(ข) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



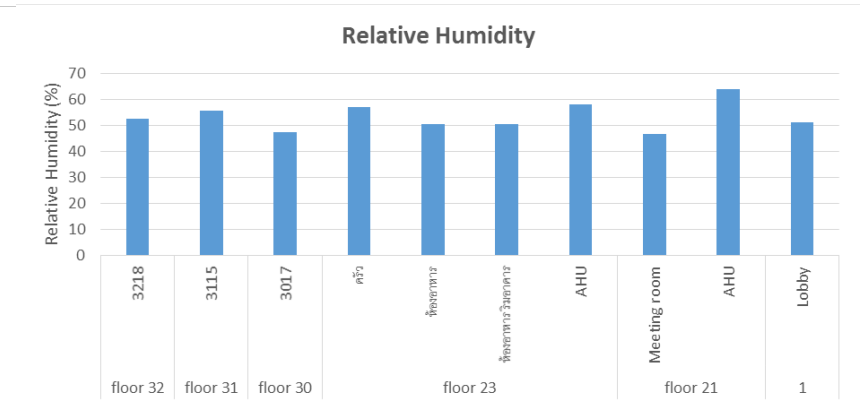
(ค) ฟอรัมาลดีไฮด์

(จ) ฝุ่นละอองขนาดเล็ก

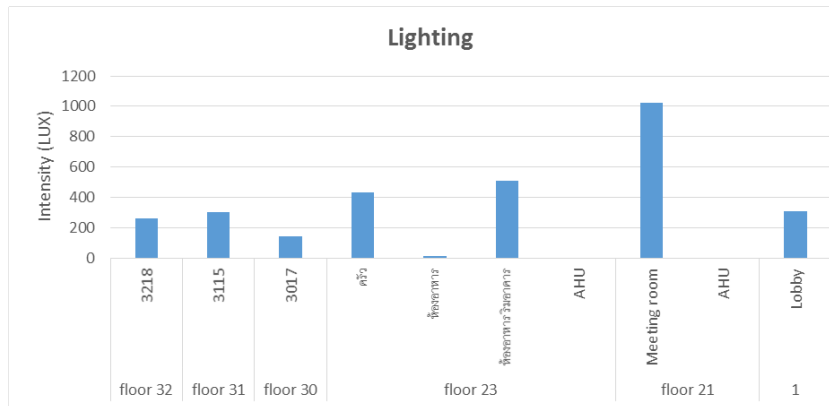
รูปที่ 4.16 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารโรงแรมที่ 2



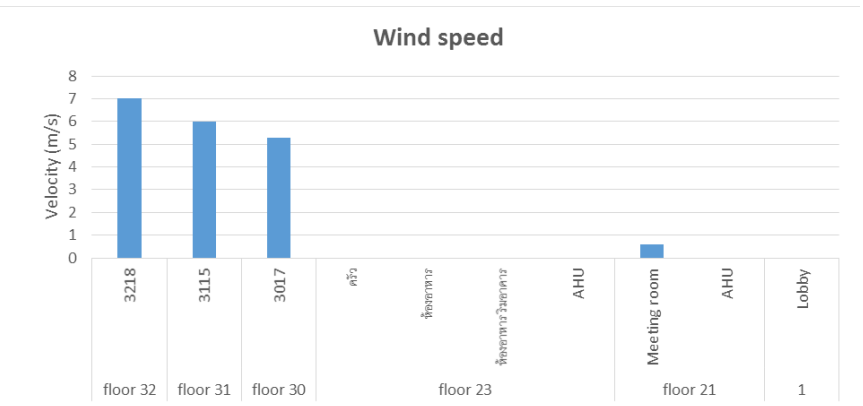
(จ) อุณหภูมิอากาศ



(ฉ) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ



(ช) ความสว่าง



(ซ) อัตราเร็วของอากาศ

รูปที่ 4.16 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารโรงแรมที่ 2 (ต่อ)

จากการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ในพื้นที่อาคารโรงแรม ไม่พบก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ในทุกพื้นที่ อาจเนื่องตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดมีความสูงจะระดับถนนค่อนข้างมาก

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคารโรงแรมทั้งหมด มีปริมาณที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ทั้งนี้เกิดจากการตรวจวัดในบริเวณพื้นที่ห้องพักที่ไม่มีผู้อยู่อาศัย และในพื้นที่ Lobby และห้องประชุม นั้น อาจมีขนาดห้องที่ใหญ่เมื่อเทียบกับผู้ใช้งาน

ผลการตรวจวัดสารฟอร์มาลดีไฮด์ในบริเวณอาคารโรงแรม พบว่าไม่มีสารดังกล่าว เนื่องจากห้องทั้งหมดที่ทำการตรวจวัดไม่มีเฟอร์นิเจอร์ใหม่ หรือการตกแต่งใหม่

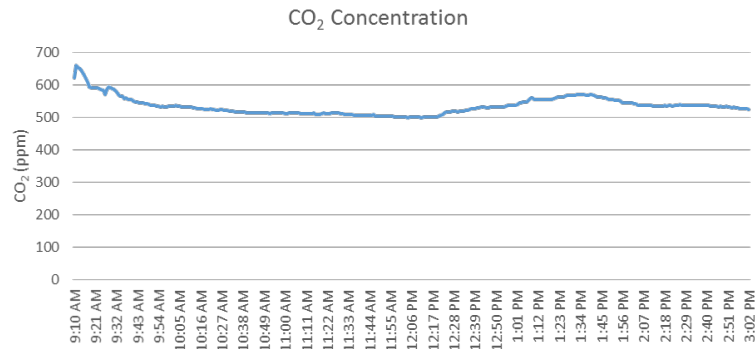
การตรวจวัดฝุ่นละอองในอากาศ ภายในบริเวณอาคารโรงแรม พบว่า บริเวณห้องพักบางห้องมีปริมาณฝุ่นละอองสูงกว่ามาตรฐาน เนื่องจากพื้นที่บริเวณดังกล่าวมีการปูพรมที่พื้น

อุณหภูมิภายในบริเวณอาคารโรงแรม พบว่า ส่วนใหญ่อุณหภูมิต่ำค่อนข้างสูง ทั้งนี้เกิดจากการเปิดระบบปรับอากาศก่อนเข้าตรวจวัดไม่นานมากนัก แต่ในส่วนของความชื้น พบว่า ส่วนใหญ่เป็นไปตามมาตรฐาน

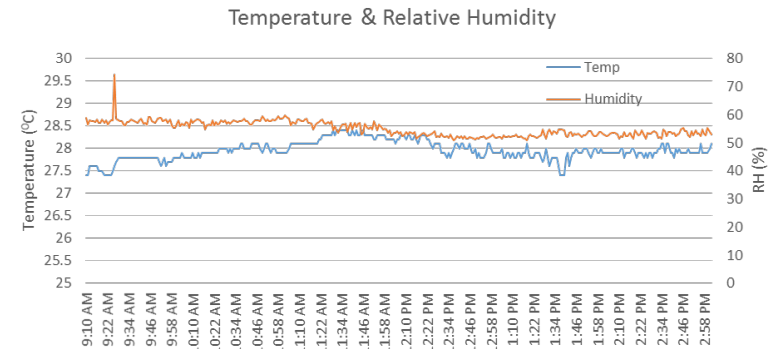
4.1.3.2.6 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในอาคาร

จากการสำรวจเบื้องต้นในหัวข้อที่ 5 ทางทีมงานได้เลือกทำการศึกษา การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในอาคารโดยละเอียด ในพื้นที่ส่วนห้องอาหารชั้น 10 ของอาคารเนื่องจากใช้งานในบริเวณดังกล่าวตลอดทั้งวัน โดยผลการตรวจวัดได้แสดงไว้ ดัง**Error! Reference source not found.**

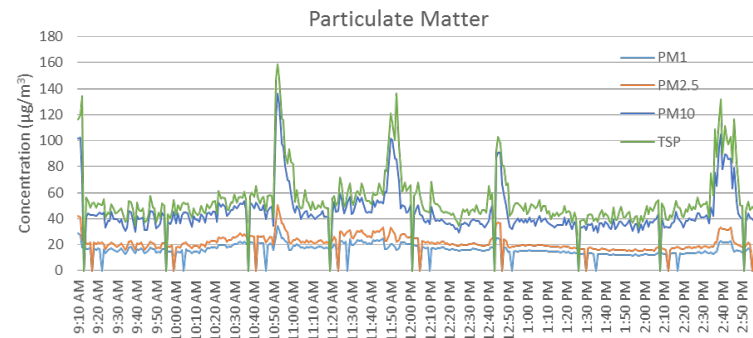
โดยจากการสำรวจพบว่า อาคารโรงแรมมีปริมาณค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไม่สูงมาก อาจเกิดจากพื้นที่บริเวณในห้องอาหารที่มีขนาดใหญ่ อีกทั้งมีการ ถ่ายเทของอากาศภายในและภายนอกอยู่มากในส่วนของห้องอาหารริมระเบียง จึงทำให้เกิดปัญหาในด้านการควบคุมอุณหภูมิบ้าง เล็กน้อยสังเกตได้จากค่าอุณหภูมิที่มีค่าสูงขึ้นเป็นบางช่วง



(ก) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



(ข) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ



(ค) ฝุ่นละออง

รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในระยะเวลา 8 ชั่วโมง ภายในห้องอาหาร

4.1.3.3 อาคารโรงแรมที่ 3

4.1.3.3.1 สถานที่ตั้ง

ตั้งอยู่ในเขตปทุมวัน จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยมีด้านทิศเหนือ ติดกับถนนขนาดใหญ่ที่มีการจราจรหนาแน่นตลอดทั้งวัน พื้นที่โดยรอบเป็นพื้นที่พาณิชย์ และมีชุมชนหนาแน่น มีความหนาแน่นของประชากรมาก อาคารและสิ่งปลูกสร้างโดยรอบเป็นอาคารสูงโดยส่วนใหญ่ คุณภาพอากาศโดยรวมของพื้นที่อยู่ในเกณฑ์ไม่ดี

4.1.3.3.2 ลักษณะทั่วไปของอาคารและการระบายอากาศ

อาคารของโรงแรม เป็นอาคารสูง ภายในชั้นลิบบีเชื่อมถึงกันตลอดทั้งชั้น มีห้องย่อยสำหรับการแบ่งพื้นที่เป็นห้องพัก อาคารของโรงแรม มีการออกแบบระบบระบายอากาศเชิงกล (Mechanical Ventilation) โดยดึงอากาศจากภายนอกเข้ามาผ่านช่องเปิดในห้อง AHU สำหรับในส่วนห้องพักมีการแบ่งการจ่ายอากาศผ่าน Fan Coil Unit และมี Return ของอากาศกลับไปสู่ห้อง AHU อีกครั้ง

4.1.3.3.3 การแบ่งพื้นที่ในการศึกษา

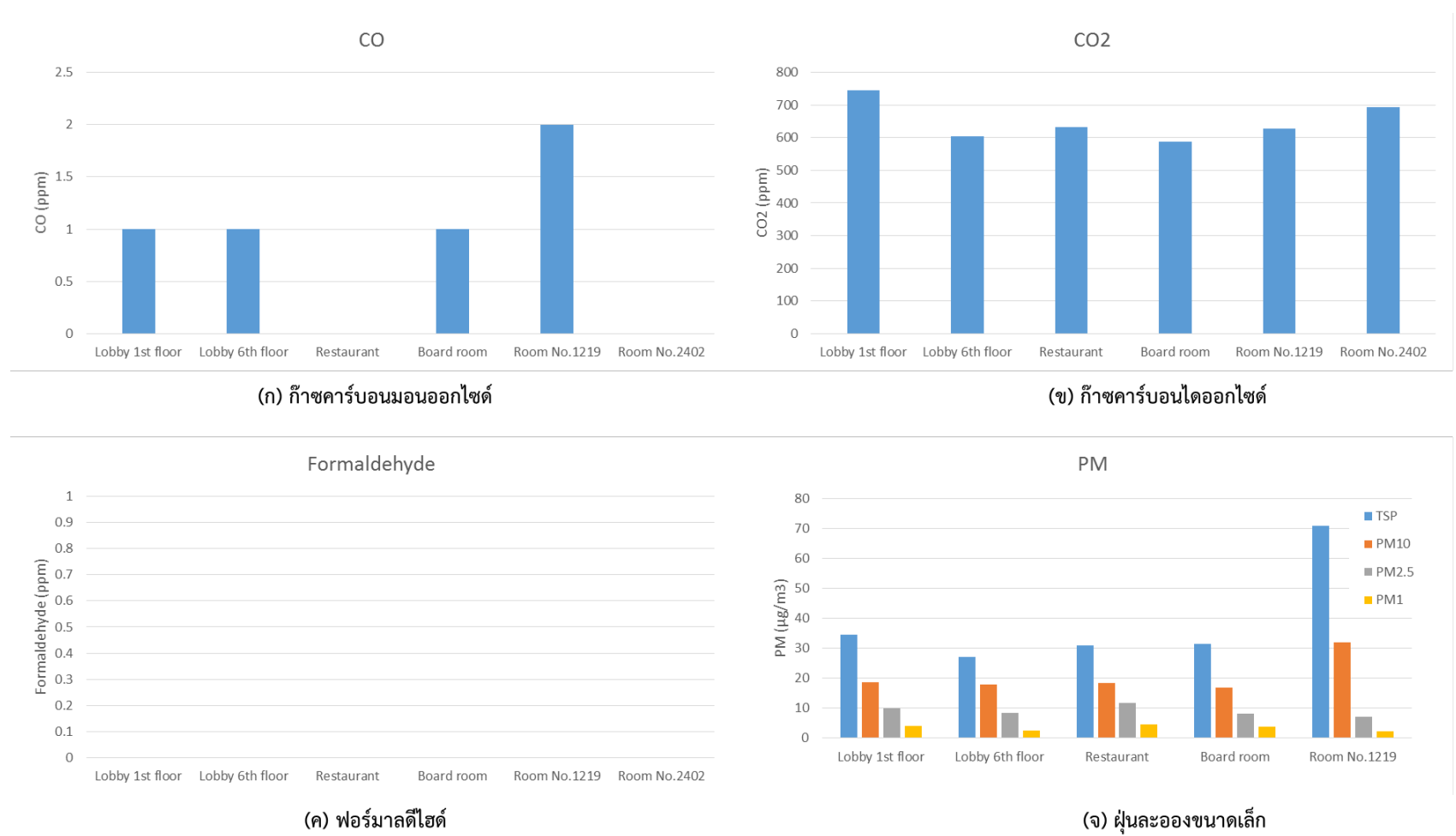
ในการศึกษานี้ทางทีมงานได้แบ่งพื้นที่การศึกษาตามลักษณะการใช้งานของพื้นที่ อันประกอบไปด้วย ลิบบี บี ห้องอาหาร ห้องพักผู้บริหาร และห้องพัก

4.1.3.3.4 ข้อมูลระบบปรับอากาศ

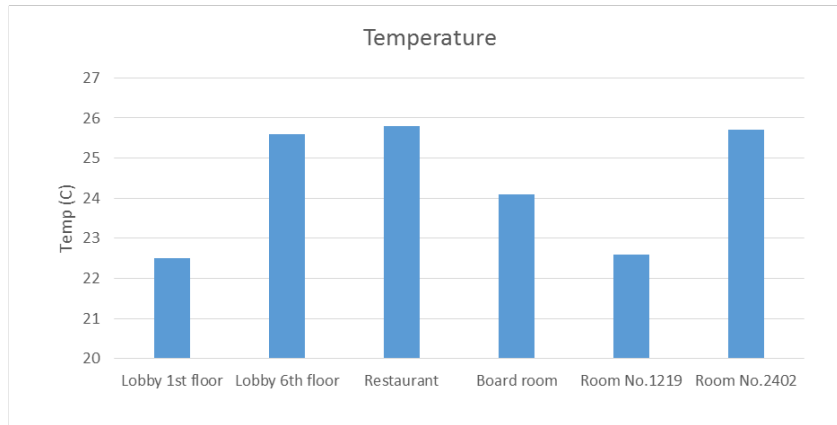
ระบบปรับอากาศของโรงแรม เป็นระบบปรับอากาศแบบส่วนกลาง มีห้อง AHU ของแต่ละชั้น และมีการจ่ายน้ำเย็นเข้าสู่ Fan Coil Unit ในแต่ละห้องพัก ทั้งนี้การระบายอากาศจะนำเอาอากาศภายนอกของแต่ละชั้นเข้ามายังห้อง AHU เพื่อเป็นการนำเข้า Fresh Air เข้าสู่ตัวอาคาร

4.1.3.3.5 คุณภาพอากาศในอาคาร

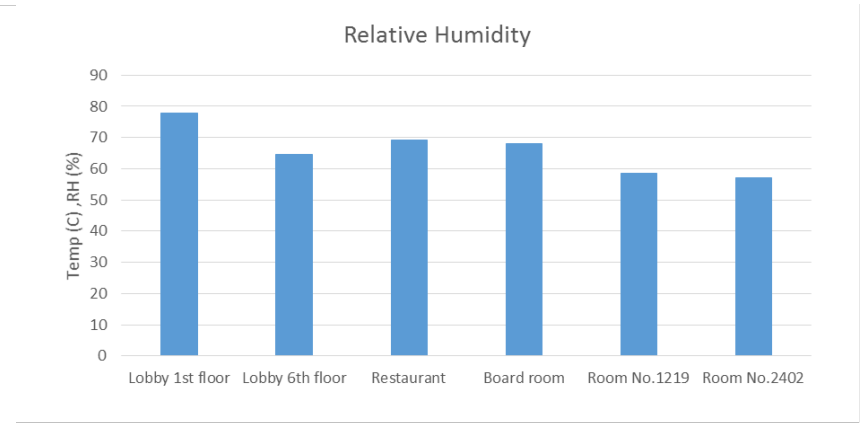
การตรวจวัดคุณภาพอากาศในอาคารของโรงแรม แบบเบื้องต้น ได้ทำการตรวจวัดทั้งหมด 6 พื้นที่ด้วยกัน ทั้งนี้ผลของการตรวจวัดได้แสดงไว้ดัง



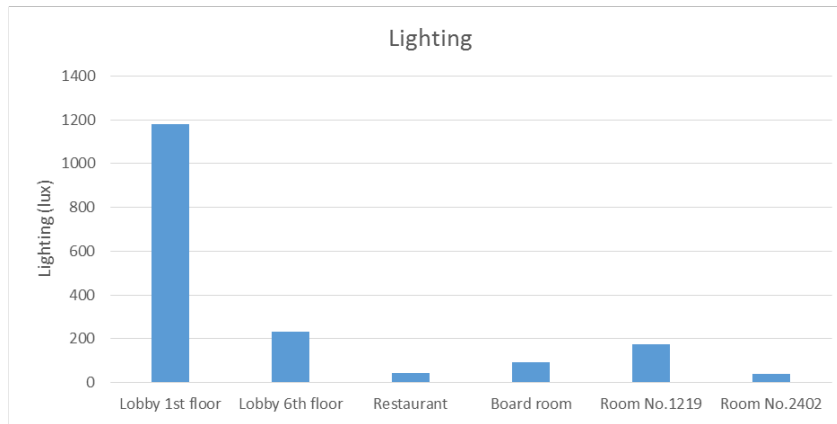
รูปที่ 4.18 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารโรงแรมที่ 3



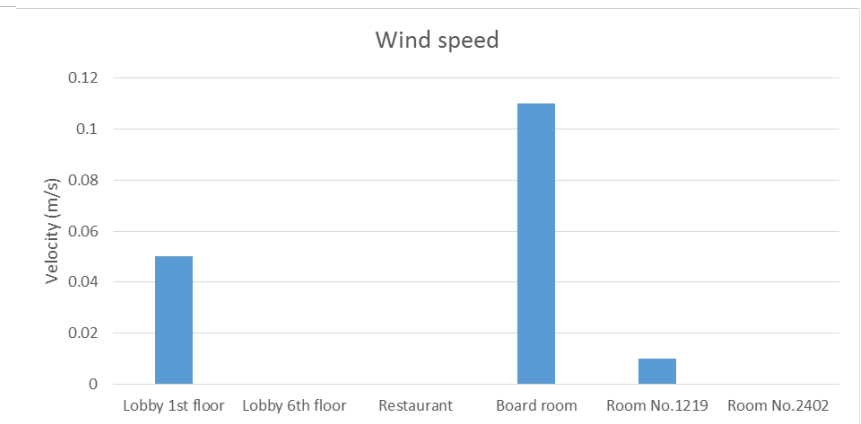
(จ) อุณหภูมิอากาศ



(ฉ) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ



(ช) ความสว่าง



(ซ) อัตราเร็วของอากาศ

รูปที่ 4.18 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารโรงแรมที่ 3 (ต่อ)

จากการตรวจวัดพบว่าในทุกพื้นที่ของโรงแรมพบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังมีค่าต่ำกว่าที่กำหนดไว้ เนื่องจากมีผู้เข้ามาใช้บริการในพื้นที่น้อย ถึงแม้ว่าที่ล๊อบบี้ชั้น 6 จะมีผู้ให้บริการมากที่สุด แต่ส่วนดังกล่าวมีพื้นที่กว้าง จึงทำให้ไม่เกิดการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศทั้งหมดของทุกส่วนอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานเป็นอย่างมาก ยกเว้นห้อง 2402 ที่มีปริมาณฝุ่นละอองสูงกว่าค่ามาตรฐานเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นช่วงที่แม่บ้านกำลังทำความสะอาด อย่างไรก็ตามการคุณภาพอากาศโดยรวมทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์ดี

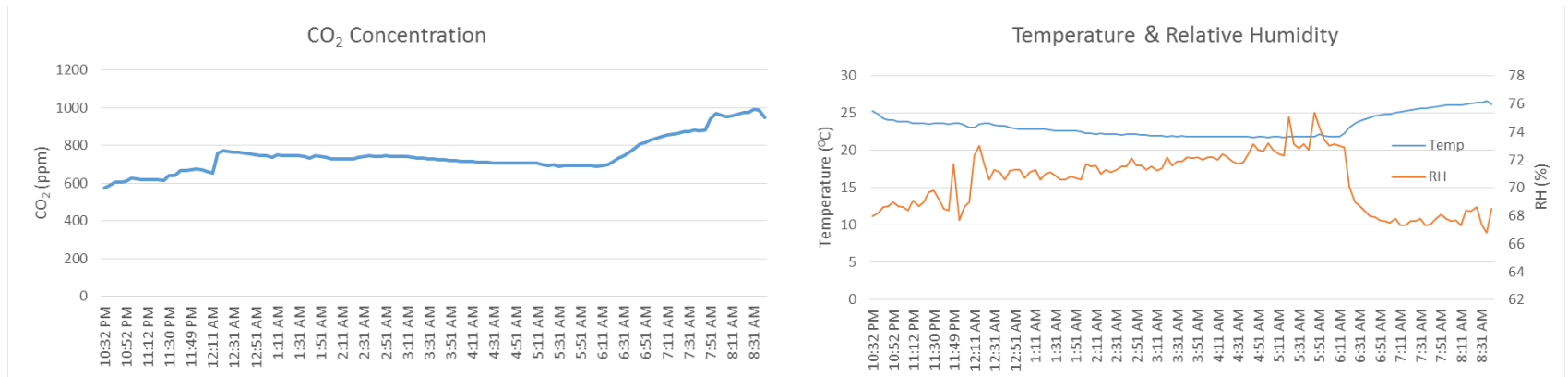
มีการตรวจพบก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เข้ามาสู่อาคาร ในปริมาณเล็กน้อยเช่นเดียวกับการตรวจวัดของอาคารอื่นๆ ที่ตั้งอยู่ใจกลางเมือง ทั้งนี้ปริมาณดังกล่าวไม่ก่อให้เกิดผลกระทบใดๆต่อผู้ที่เข้ามาใช้บริการ และต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ทั้งนี้การตรวจวัดดังกล่าวไม่ได้ทำการตรวจวัดในห้องอาหาร และห้อง 2402 เนื่องจากข้อจำกัดในการเข้าพื้นที่

สำหรับอุณหภูมิ และความชื้นในอาคารนั้นอยู่ในเกณฑ์ปกติ ยกเว้นล๊อบบี้ชั้น 1 ที่มีความชื้นสูง เนื่องจากเป็นพื้นที่ขนาดเล็ก และมีการเปิดประตูเข้าออก ตลอดเวลาส่งผลให้ระบบปรับอากาศไม่สามารถควบคุมความชื้นภายในพื้นที่ดังกล่าวได้

4.1.3.3.6 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในอาคาร

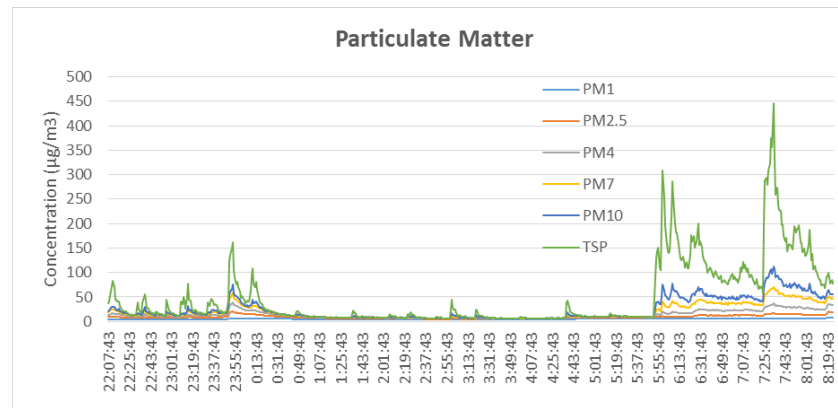
จากการสำรวจเบื้องต้นในหัวข้อที่ 5 ทางทีมงานได้เลือกทำการศึกษา การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในอาคารโดยละเอียด ในพื้นที่ส่วนของ โดย ผลการตรวจวัดได้แสดงไว้ ดัง**Error! Reference source not found.**

โดยจากการสำรวจพบว่า อาคารโรงแรมมีปริมาณค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไม่สูงมาก อาจเกิดจากพื้นที่บริเวณในห้องอาหารที่มีขนาดใหญ่ อีกทั้งมีการ ถ่ายเทของอากาศภายในและภายนอกอยู่มากใน ส่วนของห้องอาหารริมระเบียง จึงทำให้เกิดปัญหาในด้านการควบคุมอุณหภูมิบ้าง เล็กน้อยสังเกตได้จากค่าอุณหภูมิที่มีค่าสูงขึ้นเป็นบางช่วง



(ก) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

(ข) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ



(ค) ฝุ่นละออง

รูปที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในระยะเวลา 8 ชั่วโมง ภายในห้องพัก

4.1.4 อาคารประเภทโรงพยาบาล

4.1.4.1 อาคารโรงพยาบาลที่ 1

4.1.4.1.1 สถานที่ตั้ง

โรงพยาบาลตั้งอยู่บริเวณถนนพหลโยธิน ที่มีการจราจรหนาแน่นตลอดทั้งวัน โดยมีสิ่งแวดล้อมโดยรอบเป็นอาคารลักษณะสูงใหญ่ โดยรอบ มีการค้าขายของบริเวณหน้า โรงพยาบาลตลอดทั้งวัน โดยสภาพอากาศแวดล้อมโดยรอบอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ดี

4.1.4.1.2 ลักษณะทั่วไปของอาคารและการระบายอากาศ

ลักษณะโดยทั่วไปของอาคาร เป็นอาคารที่สูง ภายในอาคารไม่มีการออกแบบระบบระบายอากาศเชิงกล (Mechanical Ventilation)

4.1.4.1.3 การแบ่งพื้นที่ในการศึกษา

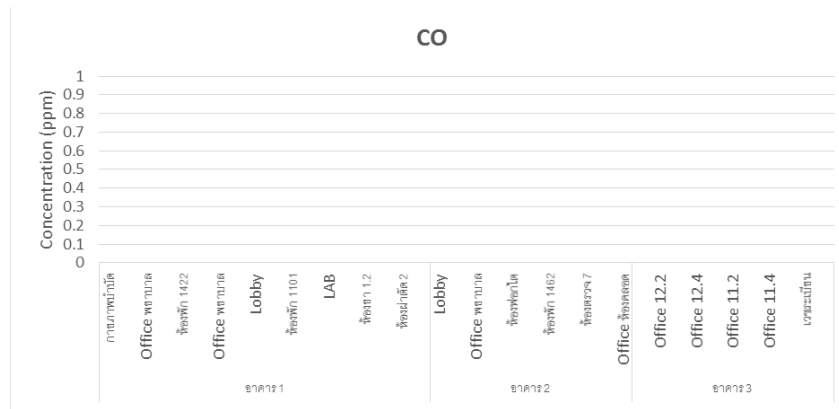
ในการศึกษานี้ทางทีมงานได้ทำการตรวจวัดตามพื้นที่การใช้งานรูปแบบต่างอันประกอบไปด้วย ล็อบบี้ ห้องตรวจ ทางเดิน โรงอาหาร ห้องประชุม และบริเวณด้านหน้าห้องผ่าตัด โดยในการสำรวจได้ทำการสำรวจอาคารทั้งหมด 3 อาคารด้วยกัน

4.1.4.1.4 ข้อมูลระบบปรับอากาศ

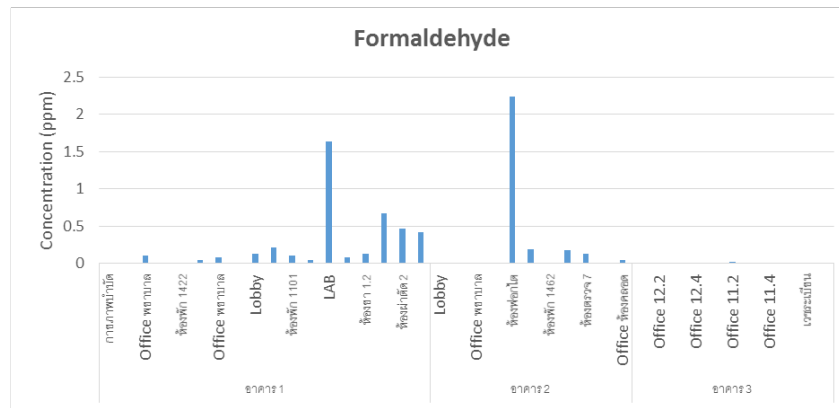
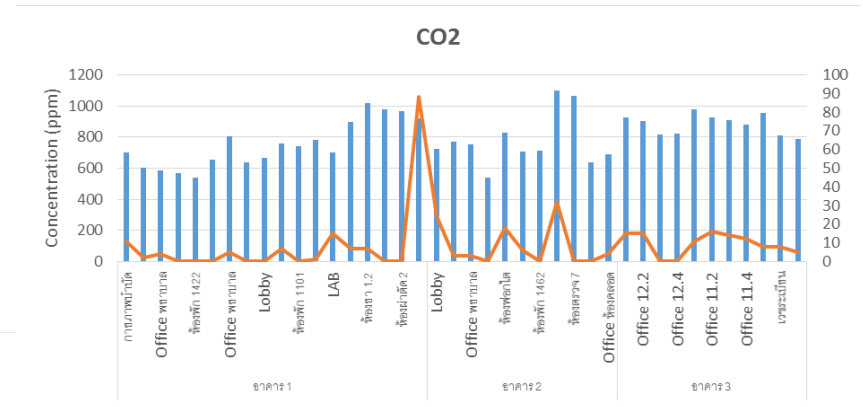
ระบบปรับอากาศของโรงพยาบาลแห่งนี้ ส่วนใหญ่เป็นระบบปรับอากาศแบบส่วนกลาง โดยมีการจ่ายอากาศเย็นผ่าน AHU ต่างๆของแต่ละชั้น

4.1.4.1.5 คุณภาพอากาศในอาคาร

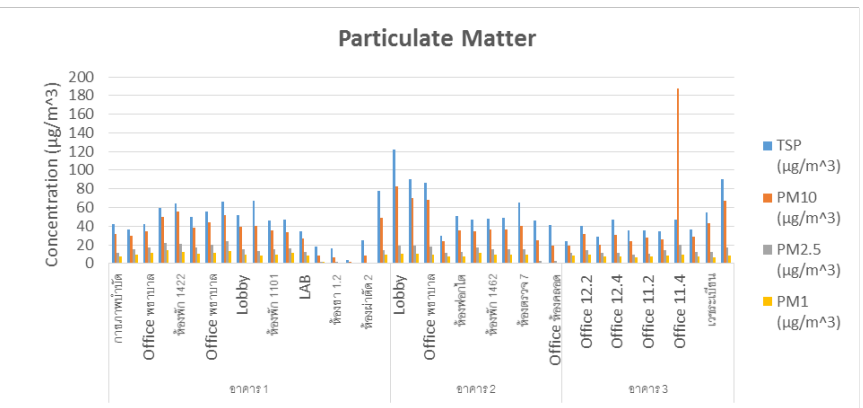
การสำรวจ ได้ทำการแบ่งจุดเก็บข้อมูลการสำรวจ ทั้ง 3 อาคาร ออกเป็น 40 จุด ห้องประเภทต่างๆ เช่น ห้องสำนักงาน ห้องควบคุม ห้องพักรักษา ล็อบบี้ และห้องผ่าตัด โดยผลการตรวจวัดคุณภาพได้แสดงดังError! Reference source not found.



(ก) ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์

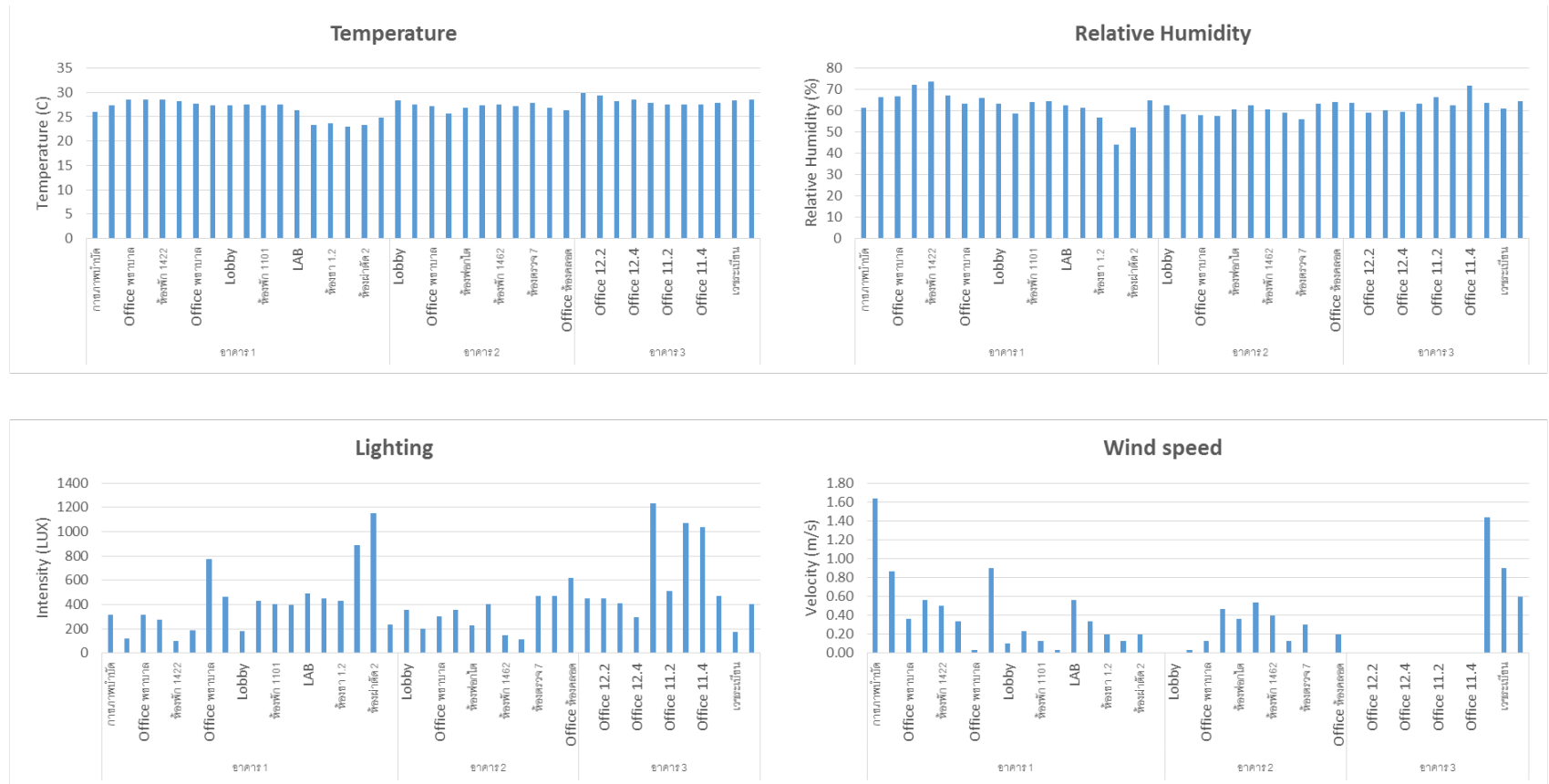


(ค) ฟอรัมาลดีไฮด์



(จ) ฝุ่นละอองขนาดเล็ก

รูปที่ 4.20 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารโรงพยาบาลที่ 1



(ข) ความสว่าง

(ข) อัตราเร็วของอากาศ

รูปที่ 4.20 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารโรงพยาบาลที่ 1 (ต่อ)

จากการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ในโรงพยาบาล ไม่ตรวจพบก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ในทุกพื้นที่

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่ของโรงพยาบาล พบว่าบางพื้นที่มีค่าเกินกว่ามาตรฐาน ทั้งนี้เนื่องจากจำนวนผู้ใช้งานในพื้นที่นั้นๆ อีกทั้งในบางพื้นที่ไม่มีการระบายอากาศที่เหมาะสม ส่งผลให้ความเข้มข้นของก๊าซดังกล่าวมีค่าเกินค่ามาตรฐาน

มีการตรวจพบสารฟอร์มาลดีไฮด์ในบางพื้นที่ของโรงพยาบาล โดยแต่ละพื้นที่ที่มีการตรวจพบนั้น มีค่าความเข้มข้นของสารฟอร์มาลดีไฮด์เกินมาตรฐานทั้งหมด ทั้งนี้เกิดจากการใช้สารเคมีทำความสะอาดพื้นที่ห้องรวมถึงยาทำความสะอาดแผล หรือเจลล้างมือที่พบเห็นได้ในโรงพยาบาลทั่วไป

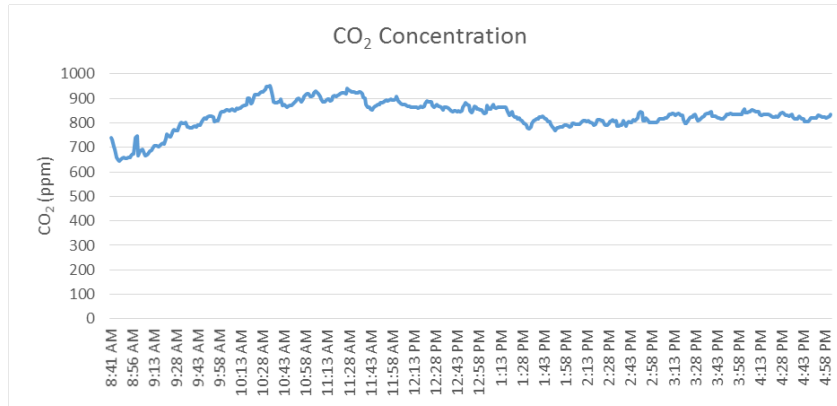
การตรวจวัดฝุ่นละอองในอากาศ พบว่าในบริเวณที่มีผู้ใช้งานจะตรวจวัดค่าฝุ่นละอองได้มากกว่ามาตรฐานเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ดีสภาพโดยรวมพบว่า ส่วนในของโรงพยาบาลดังกล่าวมีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองผ่านมาตรฐาน

อุณหภูมิในพื้นที่บริเวณโรงพยาบาล จะพบว่าอุณหภูมิในบางจุดมีค่าต่ำ และในบางจุดมีค่าสูง ทั้งนี้เนื่องจากการปรับอุณหภูมิในแต่ละพื้นที่ไม่เท่ากัน และยังมีปัจจัยของจำนวนผู้ใช้งานในพื้นที่ต่างๆเข้ามามีส่วนอีกด้วย ในส่วนของค่าความชื้นสัมพัทธ์ จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ทั้งนี้อาจเพราะตำแหน่งการตั้งอากาศภายนอกอาคารที่ต่างกันรวมถึงระบบการควบคุมความชื้นยังไม่มีประสิทธิภาพดีพอ

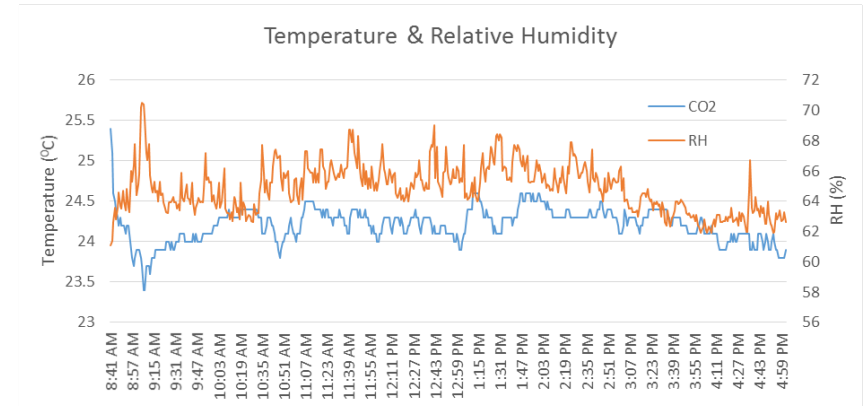
แสงสว่างภายในโรงพยาบาลแห่งนี้ พบว่า ส่วนหนึ่งได้จากแสงที่ได้จากโคมไฟต่างๆที่ติดตั้งในโรงพยาบาล แต่ในบางพื้นที่มีการรับแสงธรรมชาติเข้ามาด้วยเช่นกัน

4.1.4.1.6 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในอาคาร

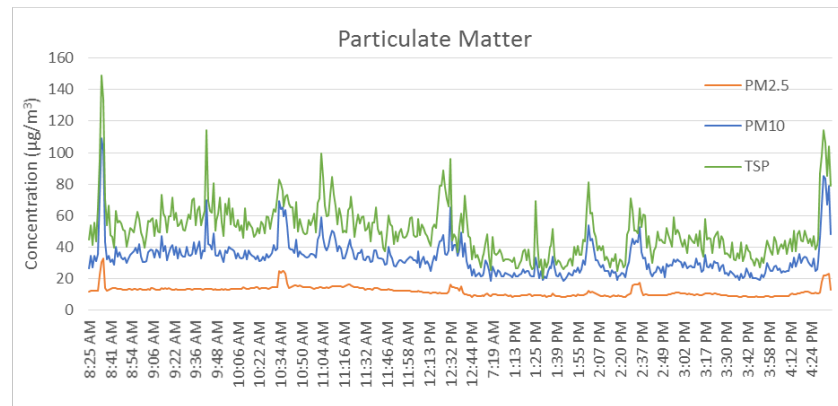
จากการสำรวจเบื้องต้นในหัวข้อที่ 5 ทางทีมงานได้เลือกทำการศึกษา การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในอาคารโดยละเอียด ในพื้นที่ส่วน Lobby ชั้น 1 ของโรงพยาบาล เนื่องจากผู้ใช้งานห้องดังกล่าวตลอดทั้งวัน โดยผลการตรวจวัดได้แสดงไว้ ดัง**Error! Reference source not found.** โดยจากการศึกษาพบว่า โรงพยาบาลมีการระบายอากาศในเกณฑ์ที่ดี แต่ไม่สามารถควบคุมเรื่องอุณหภูมิและความชื้นได้ อาจเกิดจากผู้ให้บริการที่มีจำนวนมากเป็นบางช่วงเวลา ส่งผลให้อุณหภูมิและค่าต่างๆเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา



(ก) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



(ข) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ



(ค) ฝุ่นละออง

รูปที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในระยะเวลา 8 ชั่วโมง ภายใน lobby ชั้น 1 ของโรงพยาบาล

4.1.4.2 อาคารโรงพยาบาลที่ 2

4.1.4.2.1 สถานที่ตั้ง

ที่ตั้งของโรงพยาบาลตั้งอยู่บริเวณสันภูเขาที่มี ถนนขนาด 4 เลนล้อมรอบ มีรถใช้สัญจร ไม่มากตลอดทั้งวันโดยมีอาคารรอบๆ เป็นอาคารเชิงพาณิชย์ขนาดเล็กมีความสูงประมาณ 2-4 ชั้น มีการขายอาหารบริเวณหน้าโรงพยาบาลและ ผังตรงข้าม คุณภาพอากาศโดยรอบโรงพยาบาลอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

4.1.4.2.2 ลักษณะทั่วไปของอาคารและการระบายอากาศ

ลักษณะอาคารของโรงพยาบาล ส่วนมากประกอบด้วยอาคารเก่าที่มีความสูงเพียง 6-10 ชั้น โดยภายในอาคารส่วนมากมีการระบายอากาศโดยการติดตั้งพัดลมระบายอากาศ ตั้งอยู่บนบริเวณภูเขา ทำให้โรงพยาบาลมีการสร้างอาคารที่มีระดับแตกต่างกัน

4.1.4.2.3 การแบ่งพื้นที่ในการศึกษา

ในการศึกษานี้ทางทีมงานได้ทำการตรวจวัดตามพื้นที่การใช้งานรูปแบบต่างๆโดยได้เลือก เพียงบริเวณพื้นที่ที่มีการใช้ระบบปรับอากาศ โดยประกอบไปด้วย โซนห้องพักรักษาพิเศษ ห้องตรวจผู้ป่วย ห้องฉุกเฉิน และห้องผู้ป่วยพิเศษ (ICU)

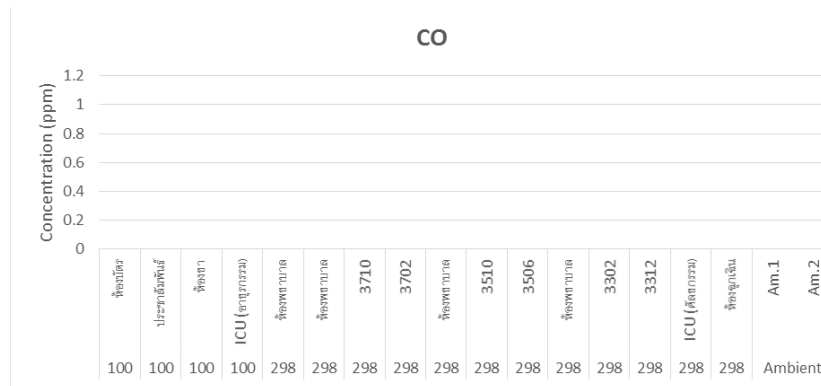
4.1.4.2.4 ข้อมูลระบบปรับอากาศ และการระบายอากาศ

อาคารภายในโรงพยาบาลแห่งนี้ส่วนมากมีการติดตั้งระบบปรับอากาศแบบ Split type ในส่วนของห้องพักรักษาพิเศษและออฟฟิศสำนักงาน โดยจะมีห้องรักษาผู้ป่วยพิเศษ และห้องฉุกเฉินที่มีการใช้ระบบปรับอากาศแบบ AHU ในส่วนของการระบายอากาศส่วนมาก พบว่า ออกแบบให้มีการติดตั้งพัดลมระบายอากาศในบริเวณห้องต่างๆ แต่อย่างไรก็ดีจากการสำรวจพบว่า ส่วนมากไม่มีการเปิดใช้พัดลมระบายอากาศเหล่านั้น

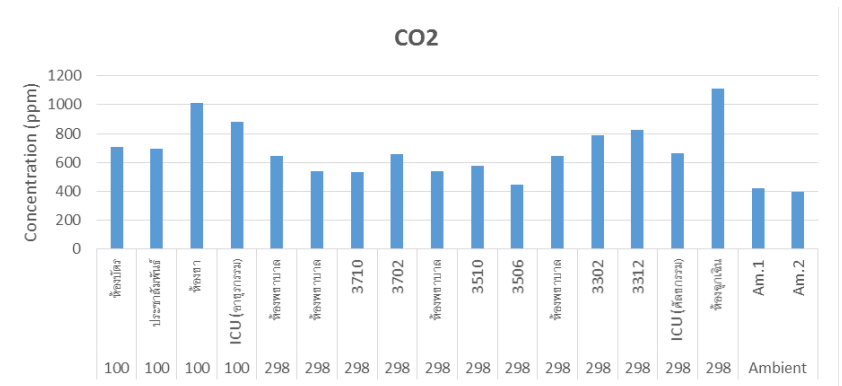
4.1.4.2.5 คุณภาพอากาศในอาคาร

การตรวจวัดคุณภาพอากาศในอาคารโรงพยาบาล แบบเบื้องต้น ได้ทำการตรวจวัดทั้งหมด 23 พื้นที่ด้วยกัน ทั้งนี้ผลของการตรวจวัดได้แสดงไว้ดัง

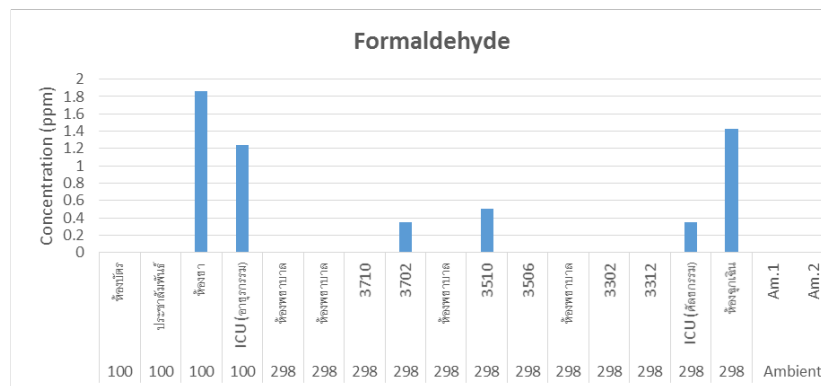
Error! Reference source not found.



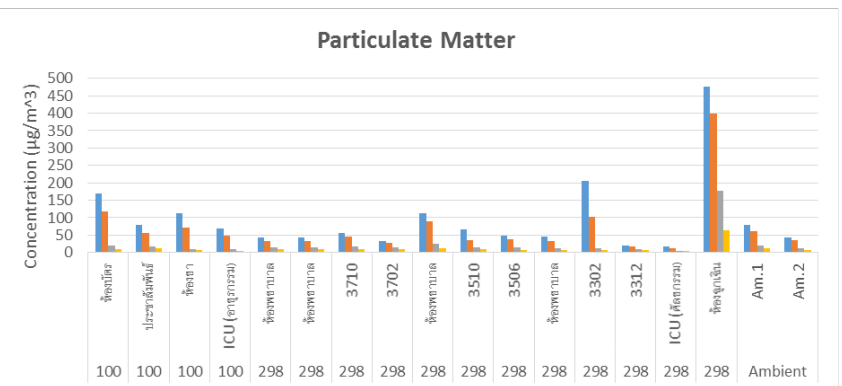
(ก) ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์



(ข) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



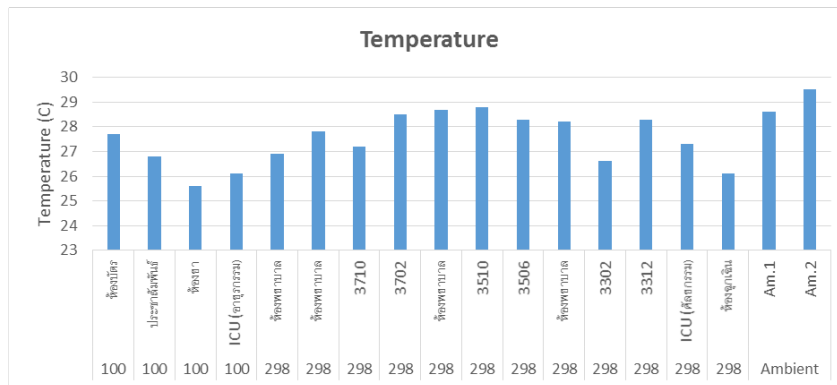
(ค) ฟอรัมาลดีไฮด์



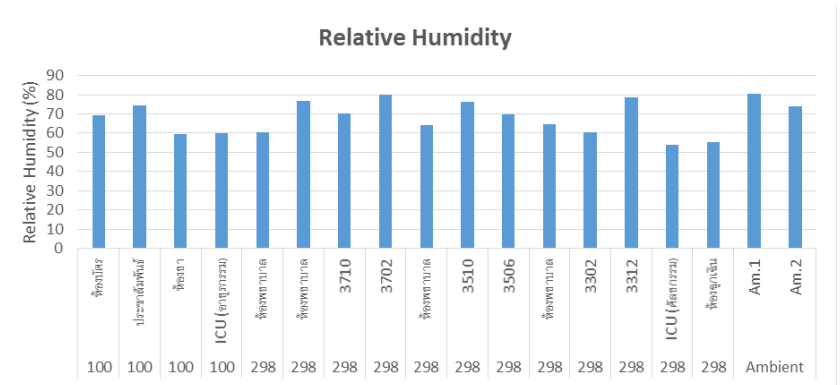
(จ) ฝุ่นละอองขนาดเล็ก

รูปที่ 4.22 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารโรงพยาบาลที่ 2

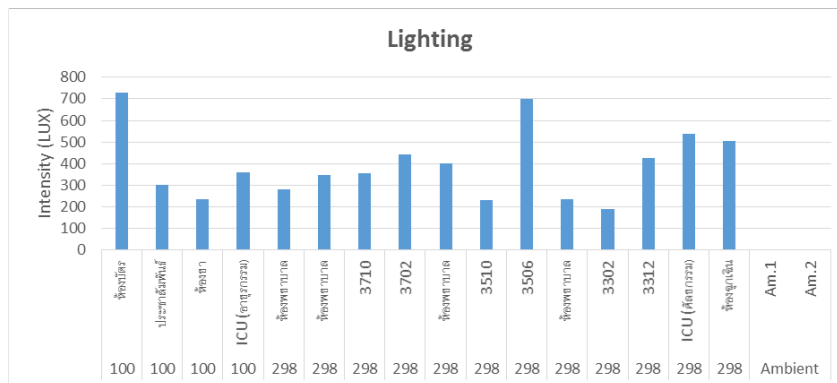
เอกสารปกปิด ห้ามเผยแพร่ก่อนได้รับอนุญาต



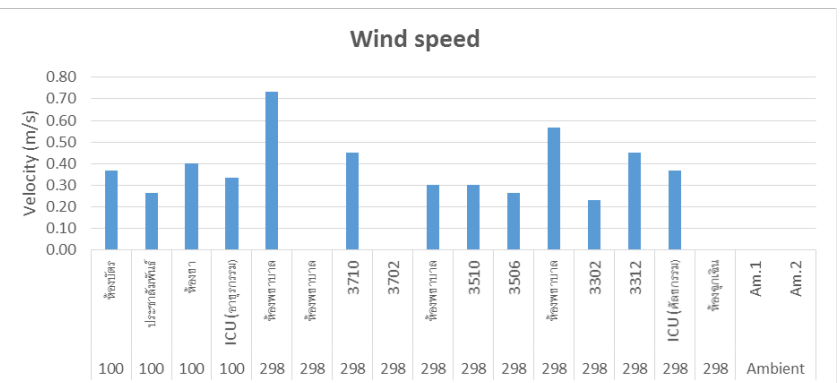
(จ) อุณหภูมิอากาศ



(ฉ) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ



(ช) ความสว่าง



(ซ) อัตราเร็วของอากาศ

รูปที่ 4.22 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารโรงพยาบาลที่ 2 (ต่อ)

จากการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ในโรงพยาบาล ไม่ตรวจพบก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ในทุกพื้นที่

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่ของโรงพยาบาล เกือบทุกพื้นที่มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน แต่อย่างไรก็ดีพบว่า ในบริเวณห้องฉุกเฉินมีค่าความเข้มข้นของสารดังกล่าวเกินกว่ามาตรฐานเพียงเล็กน้อย โดยสาเหตุมาจากการไม่เปิดพัดลมระบายอากาศในบริเวณนั้นๆ

มีการตรวจพบสารฟอร์มาลดีไฮด์ในบางพื้นที่ของโรงพยาบาล โดยแต่ละพื้นที่ที่มีการตรวจพบนั้น มีค่าความเข้มข้นของสารฟอร์มาลดีไฮด์เกินมาตรฐานทั้งหมด ทั้งนี้เกิดจากการใช้สารเคมีทำความสะอาดพื้นที่ห้อง รวมถึงยาทำความสะอาดแผล จากการตรวจวัดนี้อาจมีผลมาจากสารจำพวกหมู่แอลกอฮอล์

การตรวจวัดฝุ่นละอองในอากาศ พบว่าในบริเวณที่มีการเก็บของมาก หรือบริเวณที่มีคนอยู่จะตรวจวัดค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองได้สูงกว่าบริเวณอื่นๆ แต่อย่างไรก็ดีพบว่าบริเวณห้องฉุกเฉินมีค่าความเข้มข้นฝุ่นสูงมากผิดปกติ ทั้งนี้เนื่องจาก ฝุ่นละอองที่ตรวจวัดได้อาจเกิดจากตัวป่วยที่เข้ารับการรักษาในห้องฉุกเฉิน

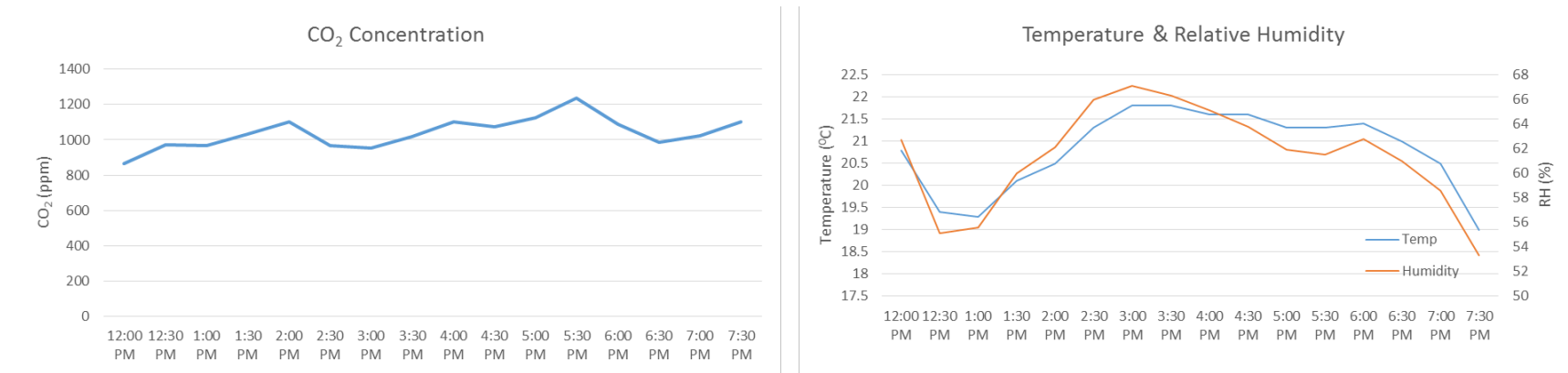
อุณหภูมิในพื้นที่บริเวณโรงพยาบาล จะพบว่ามีค่าอุณหภูมิที่ค่อนข้างแปรปรวน เนื่องจาก ระบบปรับอากาศที่ใช้เป็นแบบ split type ซึ่งการทำงานของระบบดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานพื้นที่นั้นๆ ว่ามีความต้องการที่เท่าใด ซึ่งจะส่งผลต่อค่าความชื้นภายในพื้นที่นั้นๆด้วยเช่นกัน

แสงสว่างภายในโรงพยาบาลแห่งนี้ พบว่า ส่วนหนึ่งได้จากแสงธรรมชาติด้วยการออกแบบให้มีหน้าต่างรอบๆอาคาร ในส่วนของบริเวณทางเดินกลางอาคารได้มีการติดตั้งหลอดไฟไว้ด้วย ในส่วนของความเร็วลมในพื้นที่ต่างๆนั้นจะขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานเช่นเดียวกับเรื่องของอุณหภูมิ และความชื้น

4.1.4.2.6 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในอาคาร

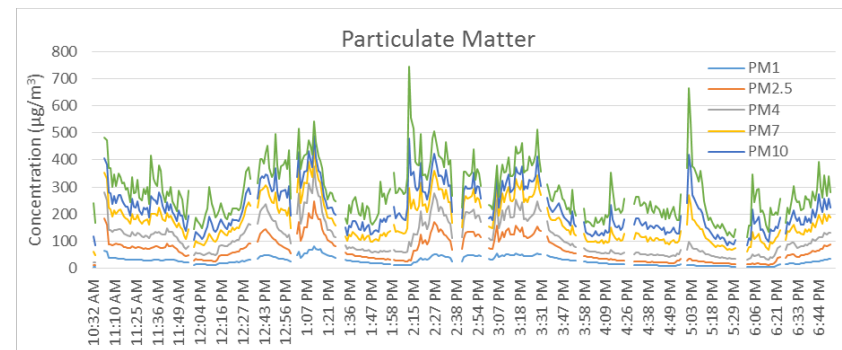
จากการสำรวจเบื้องต้นในหัวข้อที่ 5 ทางทีมงานได้เลือกทำการศึกษา การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในอาคารโดยละเอียด ในพื้นที่ห้องฉุกเฉิน เนื่องจากมีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองสูงกว่ามาตรฐาน โดยห้องดังกล่าวนี้มีผู้ใช้งานห้องตลอดเวลา ซึ่งได้แสดงผลการตรวจวัดไว้ ดัง**Error! Reference source not found.** จากผลการศึกษาพบว่าฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นนั้นมาจากทั้งเจ้าหน้าที่ และผู้ป่วยเนื่องมาจากการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยเข้าออกบริเวณห้องฉุกเฉิน รวมถึงฝุ่นที่ผู้ป่วยเป็นผู้ปลดปล่อย อีกทั้งจะเห็นได้ว่า ค่าฝุ่นละอองในห้องจะมีค่าแปรปรวนสูงเนื่องจากการเข้าออกของผู้ใช้งานตลอดเวลา

เอกสารปกปิด ห้ามเผยแพร่ก่อนได้รับอนุญาต



(ก) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

(ข) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ



(ค) ฝุ่นละออง

รูปที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในระยะเวลา 8 ชั่วโมง ภายในห้องฉุกเฉิน

4.1.4.3 อาคารโรงพยาบาลที่ 3

4.1.4.3.1 สถานที่ตั้ง

โรงพยาบาลตั้งอยู่ในเขตสามเสน จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยมีด้านทิศตะวันออก ติดกับถนนขนาดใหญ่ และทางด่วนที่มีการจราจรหนาแน่นตลอดทั้งวัน พื้นที่โดยรอบของโรงพยาบาล เป็นพื้นที่ชุมชน ใกล้สถานีรถไฟ มีผู้คนสัญจรเป็นจำนวนมาก มีความหนาแน่นของประชากรสูง อาคารและสิ่งปลูกสร้างมักเป็นอาคารสูง คุณภาพอากาศโดยรวมของพื้นที่อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง

4.1.4.3.2 ลักษณะทั่วไปของอาคารและการระบายอากาศ

อาคารของโรงพยาบาลเป็นอาคารสูง ที่แบ่งพื้นที่ของอาคารสำหรับหน่วยงานย่อยทางการแพทย์ต่างๆ อาคารไม่มีการออกแบบระบบระบายอากาศเชิงกล (Mechanical Ventilation) อาศัยความแตกต่างของแรงดัน และการรั่วของอากาศภายนอก อย่างไรก็ตามพบว่าการออกแบบระบบ Fresh Air เฉพาะในห้องผ่าตัดเท่านั้น

4.1.4.3.3 การแบ่งพื้นที่ในการศึกษา

ในการศึกษานี้ทางทีมงานได้ทำการตรวจวัดตามพื้นที่การใช้งานรูปแบบต่างอันประกอบไปด้วย ล็อบบี้ ห้องตรวจ ทางเดิน โรงอาหาร ห้องประชุม และบริเวณด้านหน้าห้องผ่าตัด

4.1.4.3.4 ข้อมูลระบบปรับอากาศ

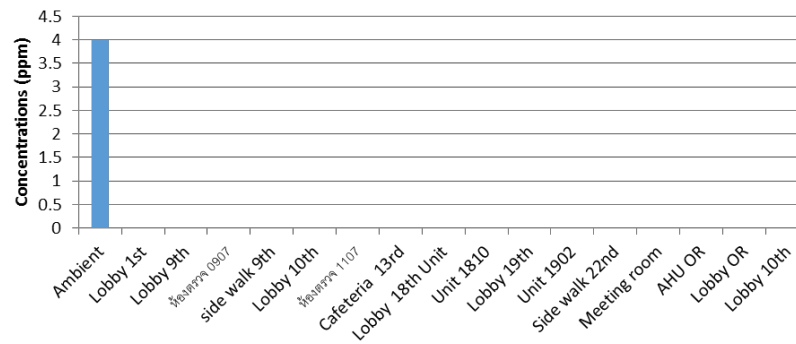
ระบบปรับอากาศของโรงพยาบาล เป็นระบบปรับอากาศแบบส่วนกลาง โดยมีการจ่ายอากาศเย็นผ่าน AHU ต่างๆของแต่ละชั้น อย่างไรก็ตามอาคารดังกล่าวไม่มีการติดตั้งระบบระบายอากาศ อาศัยเพียงการรั่วของอากาศภายนอกที่เข้าสู่อาคารเท่านั้น

4.1.4.3.5 คุณภาพอากาศในอาคาร

การตรวจวัดคุณภาพอากาศในอาคารโรงพยาบาล แบบเบื้องต้น ได้ทำการตรวจวัดทั้งหมด 23 พื้นที่ด้วยกัน ทั้งนี้ผลของการตรวจวัดได้แสดงไว้ดัง**Error! Reference source not found.**

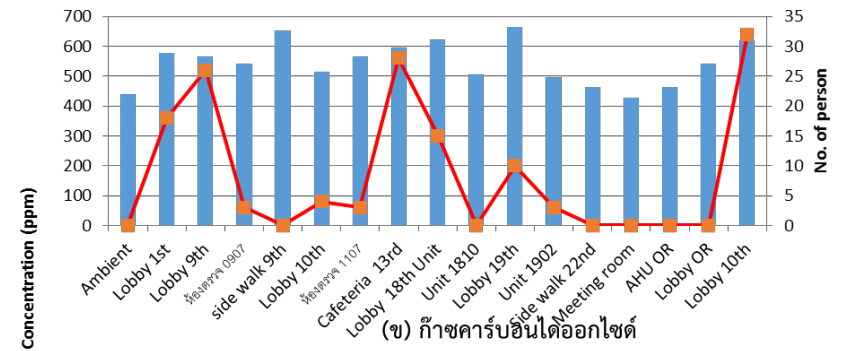
จากผลการศึกษาพบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เนื่องจากเป็นพื้นที่เปิดโล่ง มีปริมาณผู้ที่เข้ามาใช้บริการไม่มากนัก ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อาจสูงขึ้นเป็นบางช่วงเวลา ซึ่งอาจเกิดจากผู้เข้ามาใช้บริการเข้ามาใกล้จุดตรวจวัด อุณหภูมิและความชื้นในพื้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ผู้ดูแลเองมีค่าแปรปรวนสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในช่วงที่มีผู้เข้ามาใช้บริการในพื้นที่เป็นอย่างมาก คือ 9:00 11:00 13:00 และ 15:00 น. อย่างไรก็ตามในการตรวจวัดในพื้นที่ดังกล่าว มีการตรวจพบสารฟอร์มัลดีไฮด์ ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเช้า ซึ่งอาจเกิดจากการใช้สารเคมีในการทำความสะอาดในพื้นที่

CO



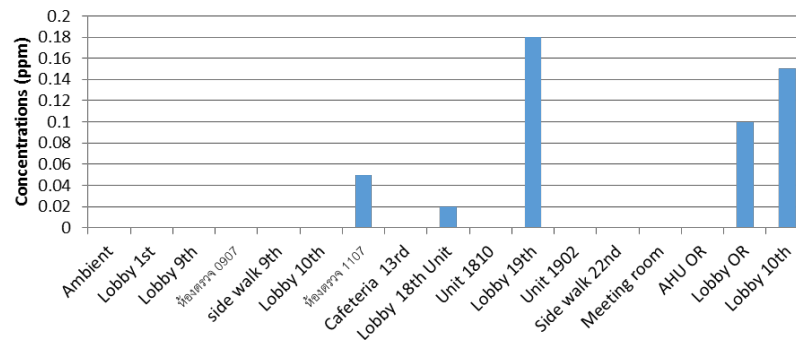
(ก) ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์

CO2

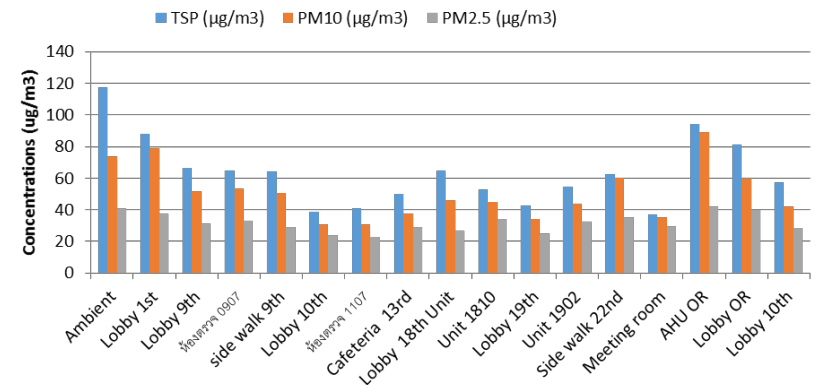


(ข) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Formaldehyde

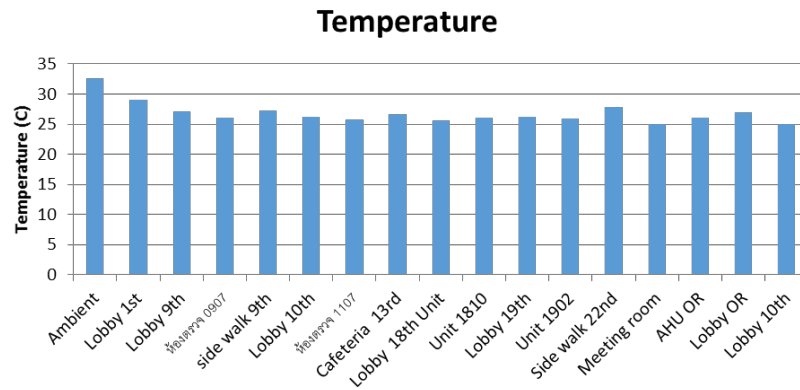


(ค) ฟอรัมาลดีไฮด์

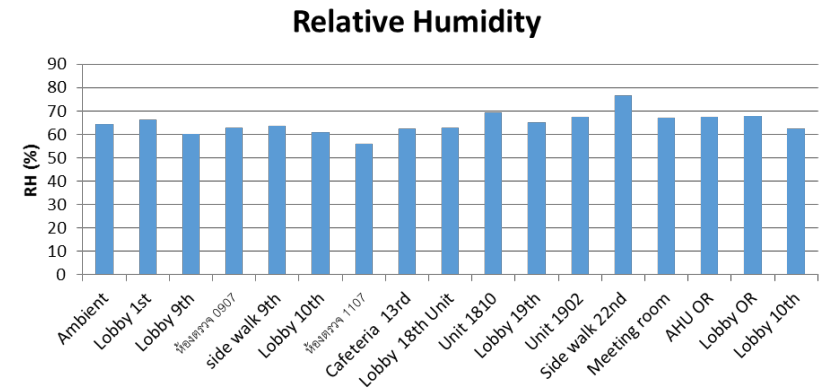


(จ) ฝุ่นละอองขนาดเล็ก

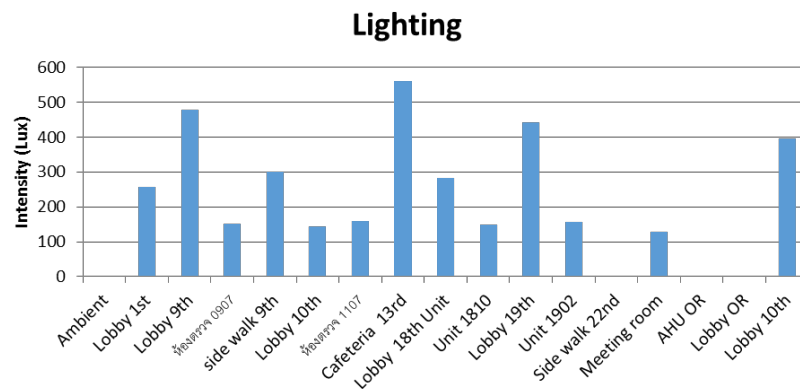
รูปที่ 4.24 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารโรงพยาบาลที่ 3



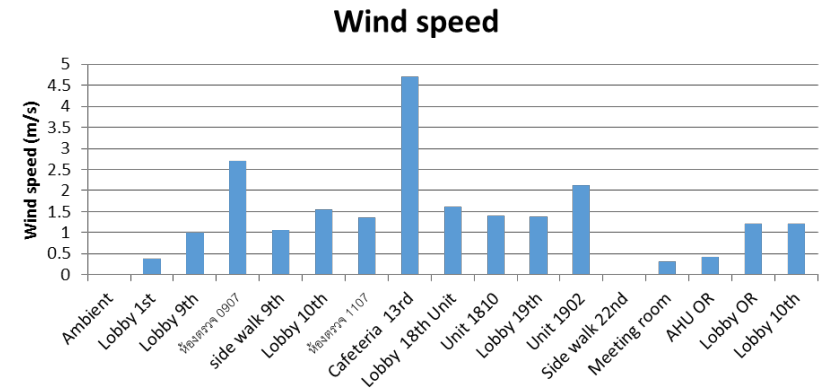
(จ) อุณหภูมิอากาศ



(ฉ) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ



(ช) ความสว่าง



(ซ) อัตราเร็วของอากาศ

รูปที่ 4.24 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารโรงพยาบาลที่ 3 (ต่อ)

จากการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ในโรงพยาบาล ไม่ตรวจพบก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ในทุกพื้นที่ แม้ว่าภายนอกจะมีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ เนื่องจากถนนด้านหน้าของอาคารมีปริมาณการจราจรที่หนาแน่นตลอดทั้งวันก็ตาม

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่ของโรงพยาบาล มีปริมาณที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด ทั้งนี้พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ เป็นพื้นที่กว้าง มีปริมาณอากาศมาก แม้จะมีผู้ใช้งานในพื้นที่มาก แต่ไม่เกิดการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่

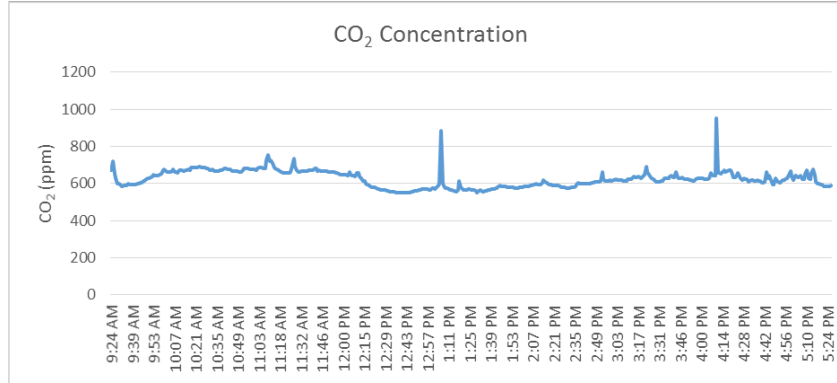
มีการตรวจพบสารฟอร์มัลดีไฮด์ในบางพื้นที่ของโรงพยาบาล แต่มีปริมาณน้อยมาก โดยอาจเกิดจากการใช้สารเคมีต่างๆในพื้นที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สารเคมีที่ใช้ในการทำมาสะอาด

การตรวจวัดฝุ่นละอองในอากาศ พบว่าโรงพยาบาลมีปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กต่ำกว่าค่ามาตรฐานทั้งหมด อุณหภูมิและความชื้นในห้องต่างๆ ส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ปกติ มีเพียงพื้นที่ล๊อบบี้ชั้น 1 เท่านั้นที่มีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นที่อื่นๆ แสงในพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นแสงจากโคมไฟ อย่างไรก็ตามพบว่าบางพื้นที่มีปริมาณแสงน้อย ทั้งนี้ความเร็วลมภายในห้องมีค่าสูง มีอากาศถ่ายเทดี

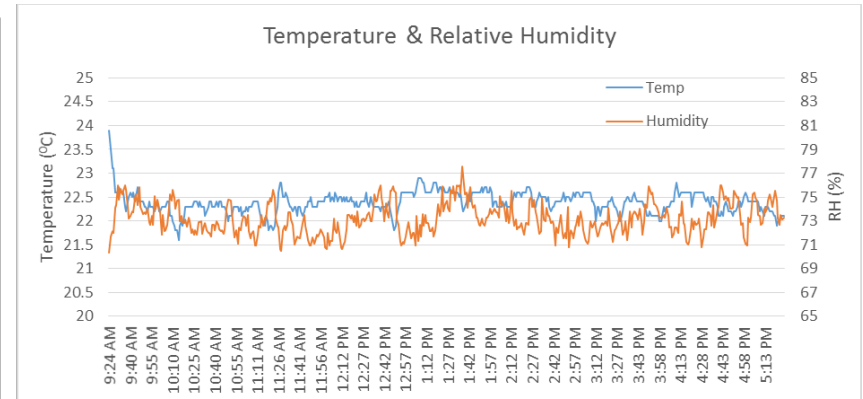
4.1.4.3.6 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในอาคาร

จากการสำรวจเบื้องต้นในหัวข้อที่ 5 ทางทีมงานได้เลือกทำการศึกษา การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในอาคารโดยละเอียด ในพื้นที่ล๊อบบี้ของโรงพยาบาล ที่มีผู้ใช้งานห้องดังกล่าวตลอดทั้ง ผลการตรวจวัดได้แสดงไว้ ดัง

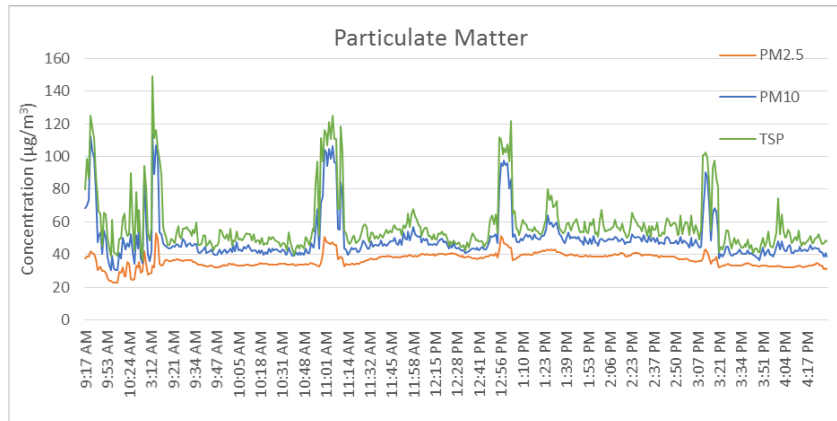
Error! Reference source not found.



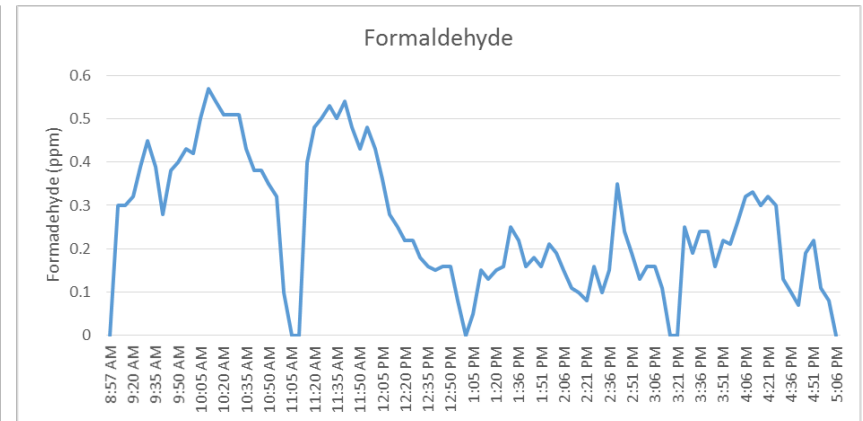
(ก) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



(ข) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ



(ค) ฝุ่นละออง



(ง) ฟORMALดีไฮด์

รูปที่ 4.25 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในระยะเวลา 8 ชั่วโมง ภายในห้องประชุม

4.1.5 อาคารประเภทสำนักงาน

4.1.5.1 อาคารสำนักงานที่ 1

4.1.5.1.1 สถานที่ตั้ง

สำนักงานตั้งอยู่ในเขตบางซื่อ จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยมีด้านทิศตะวันตก และทิศใต้ติดกับถนนขนาดกลางที่มีการจราจรหนาแน่นตลอดทั้งวัน พื้นที่โดยรอบของสำนักงานเป็นพื้นที่ชุมชน ใกล้สถานีรถไฟฟ้า มีผู้คนสัญจรเป็นจำนวนมาก มีความหนาแน่นของประชากรปานกลาง อาคารและสิ่งปลูกสร้างโดยรอบมีลักษณะไม่สูงมาก มีอาคารสูงอยู่เป็นปริมาณไม่มาก คุณภาพอากาศโดยรวมของพื้นที่อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง

4.1.5.1.2 ลักษณะทั่วไปของอาคารและการระบายอากาศ

อาคารโดยทั่วไปเป็นอาคารที่สูง โดยทั้งหมดเป็นอาคารสำนักงาน มีพื้นที่เชื่อมถึงกันตลอดทั้งชั้น มีห้องย่อยเล็กน้อย อาคารทั้งหมดเหล่านี้มีการออกแบบระบบระบายอากาศเชิงกล (Mechanical Ventilation) ที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละอาคาร

4.1.5.1.3 การแบ่งพื้นที่ในการศึกษา

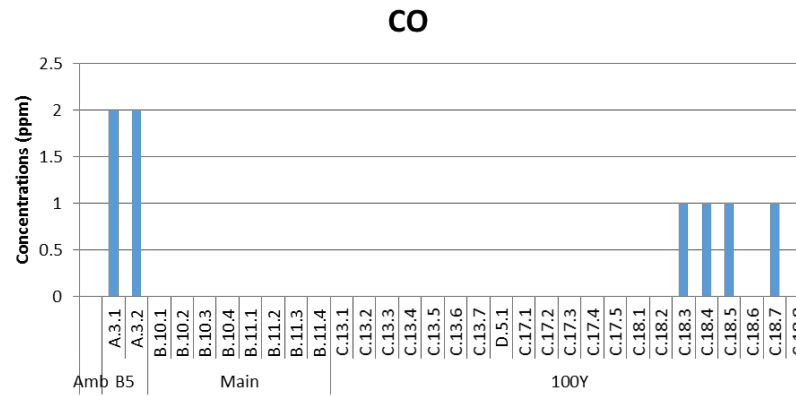
ในการศึกษานี้ทางทีมงานได้แบ่งพื้นที่การศึกษาตามลักษณะการใช้งานของพื้นที่ ออกเป็น 3 ส่วนหลักด้วยกันคือ (1) อาคาร 5 (2) อาคารสำนักงานใหญ่ และ (3) อาคาร 100 ปี เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของสำนักงาน

4.1.5.1.4 ข้อมูลระบบปรับอากาศ

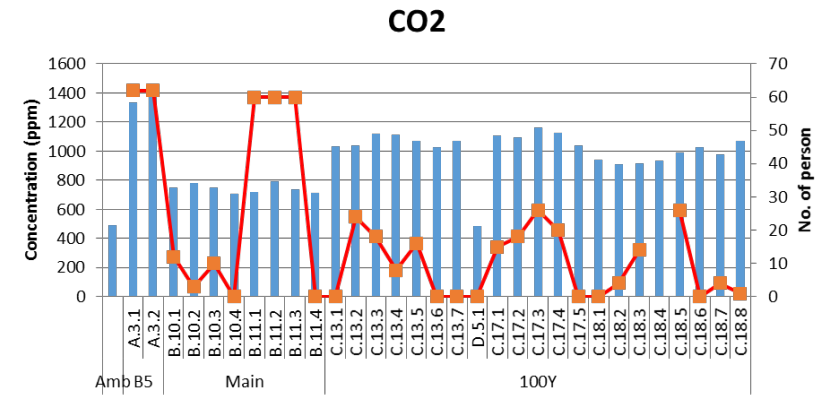
ระบบปรับอากาศเป็นระบบปรับอากาศแบบส่วนกลาง มีห้อง AHU ของแต่ละชั้น และมีระบบควบคุมการระบายอากาศที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละอาคาร โดยอาคาร 5 และอาคารสำนักงานใหญ่ มีระบบการดูด Fresh Air จากบนดาดฟ้าของอาคาร ตลอดจนระบบ Pre-Cool แยกจากระบบหลัก เพื่อลดความร้อนจากอากาศภายนอก ก่อนจ่ายเข้าสู่ห้อง AHU ในแต่ละห้อง สำหรับระบบปรับอากาศของอาคาร 100 ปี นั้น เป็นอาคารอัจฉริยะที่ควบคุมการดึง Fresh Air ผ่าน Sensor CO2 ภายในอาคารในแต่ละพื้นที่

4.1.5.1.5 คุณภาพอากาศในอาคาร

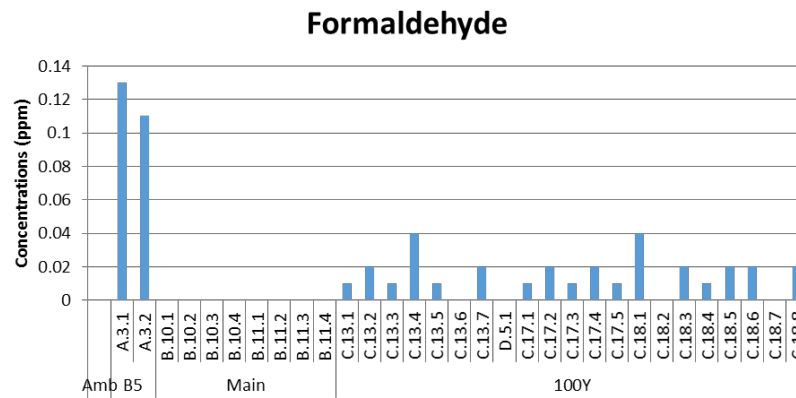
การตรวจวัดคุณภาพอากาศในอาคารสำนักงาน แบบเบื้องต้น ได้ทำการตรวจวัดทั้งหมด 31 พื้นที่ด้วยกัน ทั้งนี้ผลของการตรวจวัดได้แสดงไว้ดังError! Reference source not found.



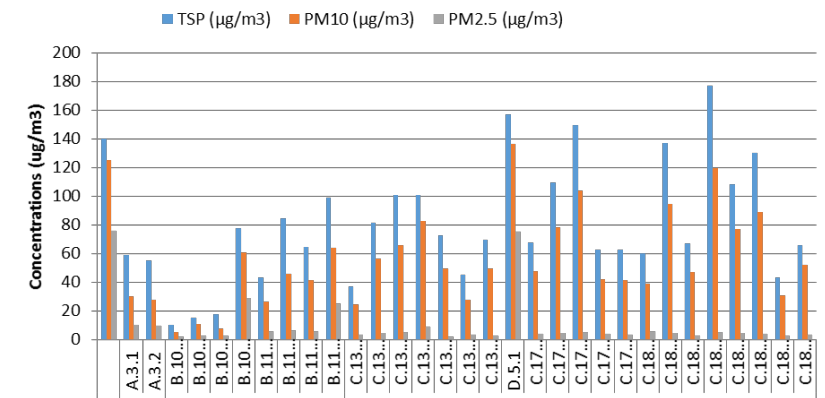
(ก) ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์



(ข) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

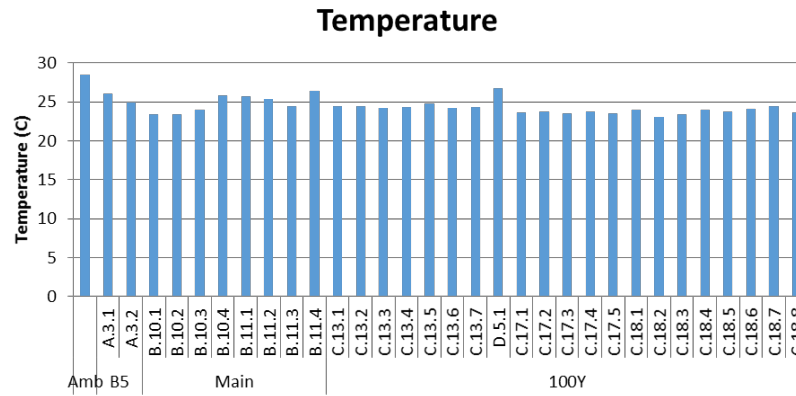


(ค) ฟอรัมาลดีไฮด์

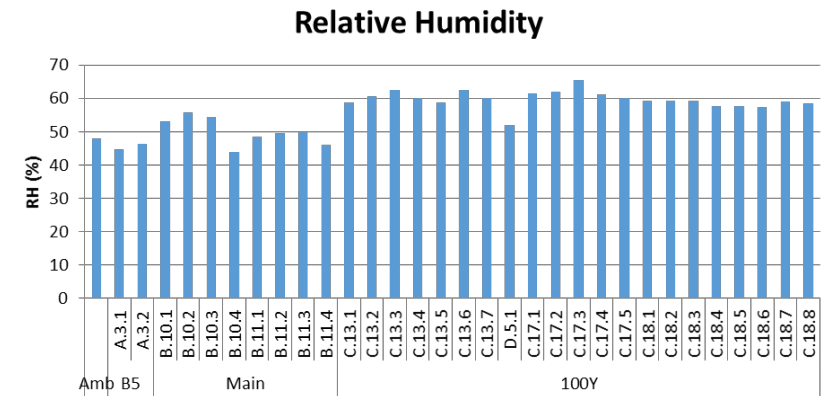


(จ) ฝุ่นละอองขนาดเล็ก

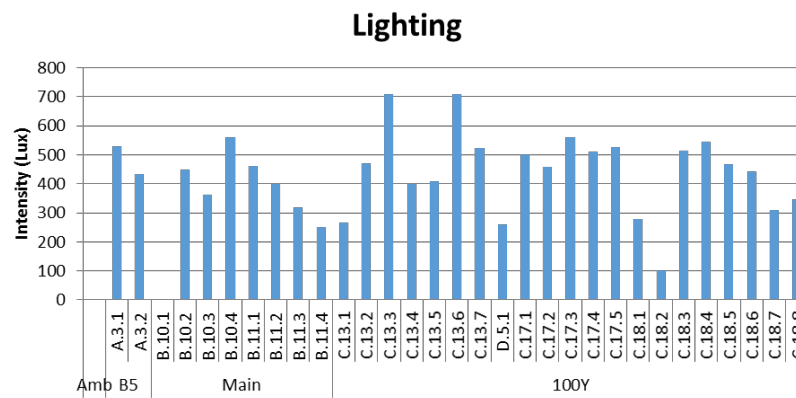
รูปที่ 4.26 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารสำนักงานที่ 1



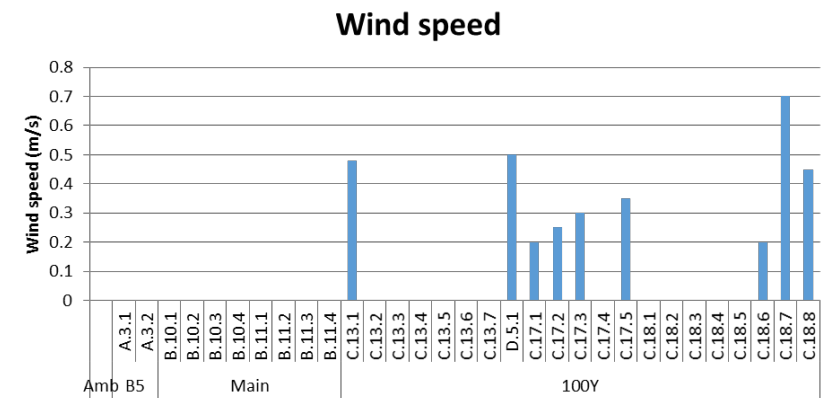
(จ) อุณหภูมิอากาศ



(ฉ) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ



(ช) ความสว่าง



(ช) อัตราเร็วของอากาศ

รูปที่ 4.26 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารสำนักงานที่ 1 (ต่อ)

จากการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ภายในพื้นที่สำนักงาน พบก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ในบางพื้นที่แต่ในปริมาณที่น้อยมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตึกอาคาร 5 ซึ่งอยู่ใกล้ถนนมากที่สุด แต่อยู่ต่ำกว่า เกณฑ์มาตรฐาน อย่างไรก็ตามพบว่าในอาคาร 100 ปี มีการตรวจพบก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เล็กน้อยเช่นกัน

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่ของสำนักงาน มีปริมาณที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานโดยส่วนใหญ่ ทั้งนี้พบว่า ในอาคาร 5 มีค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณสูงกว่าค่าที่กำหนด เนื่องจากมีผู้ใช้งานต่อพื้นที่เป็นจำนวนมาก สำหรับอาคารสำนักงานใหญ่ มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด แม้ในบางพื้นที่จะมีผู้ใช้งานมาก อย่างไรก็ตามสำหรับอาคาร 100 ปี ถึงแม้ว่าจะมีระบบการควบคุมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้ Sensor แต่ยังพบว่ามีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่ามาตรฐานเล็กน้อยเช่นกัน อาจเนื่องจากระบบ ต้องใช้เวลาในการจ่าย Fresh Air เพื่อลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ลงมาให้ถึงค่าที่กำหนด

ผลการตรวจวัดสารฟอร์มัลดีไฮด์ในอาคารสำนักงาน พบว่ามีสารดังกล่าวบ้างเป็นบางพื้นที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาคาร 100 ปี เนื่องจากเป็นอาคารใหม่ และมีเฟอร์นิเจอร์ใหม่ซึ่งอาจเป็นแหล่งกำเนิดของสาร ฟอร์มัลดีไฮด์ในพื้นที่ดังกล่าวได้ นอกจากนี้การตรวจวัดยังพบสารฟอร์มัลดีไฮด์ในอาคาร 5 สูงเช่นกัน ซึ่งอาจจะ มาจากสิ่งของภายในอาคารเช่นกัน

การตรวจวัดฝุ่นละอองในอากาศ พบว่า อาคาร 100 ปี เป็นพื้นที่ที่มีปริมาณฝุ่นละอองมากที่สุด แต่ส่วนใหญ่ยังมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ทั้งนี้เนื่องจากอาคารดังกล่าว มีการใช้พรมที่พื้น และมีการทำความสะอาดที่ แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่

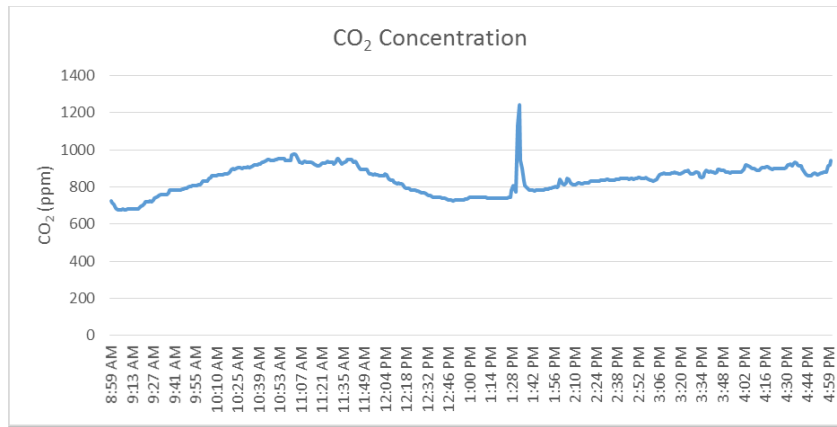
อุณหภูมิในห้องต่างๆ ส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ปกติ และมีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่ตรวจพบความชื้นสูง เล็กน้อยในอาคาร 100 ปี ส่วนอาคาร 5 และอาคารสำนักงานใหญ่มีความชื้นอยู่ประมาณ 50%

แสงในพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นแสงจากธรรมชาติ ผ่านทางช่องแสงต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาคาร 100 ปี อย่างไรก็ตามพบว่าบางพื้นที่มีปริมาณแสงน้อยเนื่องจากไม่มีช่องแสง หรือมีช่องแสงน้อย

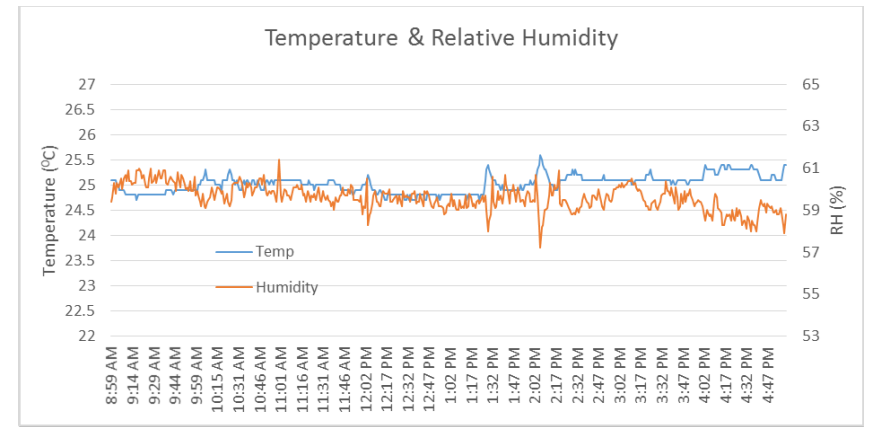
ความเร็วลมภายในห้องมีค่าสูง มีอากาศถ่ายเทดี แต่พบว่าในบางพื้นที่มีการเคลื่อนที่ของอากาศน้อย

4.1.5.1.6 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในอาคาร

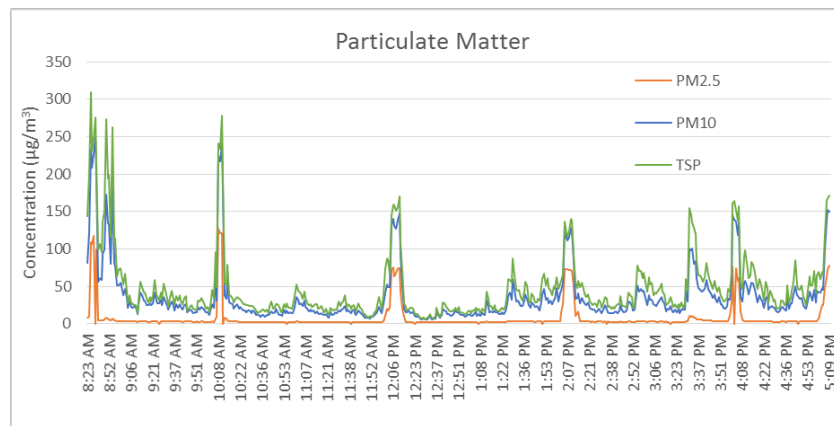
จากการสำรวจเบื้องต้นในหัวข้อที่ 5 ทางทีมงานได้เลือกทำการศึกษา การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศใน อาคารโดยละเอียด ในพื้นที่ทำงานของอาคาร 100 ปี ที่มีผู้ใช้งานห้องดังกล่าวตลอดทั้งวัน ทั้งนี้ห้องดังกล่าวนี้มี ลักษณะกว้าง พื้นที่เชื่อมถึงกันหมด มีลิฟท์อยู่ตรงกลางของชั้น ใช้ระบบปรับอากาศแบบส่วนกลาง และมี Sensor ในการควบคุม ผลการตรวจวัดได้แสดงไว้ ดังError! Reference source not found.



(ก) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



(ข) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ



(ค) ฝุ่นละออง

รูปที่ 4.27 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศของพื้นที่ในอาคาร 100 ปี ของอาคารสำนักงานที่ 1 ในระยะเวลา 8 ชั่วโมง

จากผลการศึกษาพบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีการสะสมตัวสูงขึ้นในช่วงเช้า และบ่าย เนื่องจากมีผู้ใช้งานในพื้นที่เป็นจำนวนมาก โดยมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงอย่างรวดเร็วตั้งแต่ 10:00 ถึง 11:30 แต่จะลดลงหลังจากนั้น อาจเกิดจากระบบทำการดึง Fresh Air เข้ามาในอาคาร เพื่อรักษาระดับของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนี้การตรวจวัดยังพบว่า อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์มีค่าค่อนข้างคงที่ ซึ่งมิลักษณะการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ฝุ่นละอองมีค่าแปรปรวนสูงในช่วงที่มีผู้ใช้งานพื้นที่ดังกล่าวในปริมาณมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเช้างกลางวัน และเย็น เนื่องจากการกิจกรรมต่างๆ ประกอบกับพื้นที่ดังกล่าวนั้นมีการใช้พื้นพรม ทำให้เกิดการสะสมของฝุ่นละอองได้ง่าย

4.2.1.1 อาคารสำนักงานที่ 2

4.2.1.1.1 สถานที่ตั้ง

สถานที่ตั้งสำนักงาน ตั้งอยู่ในบริเวณถนนวิภาวดี โดยทางด้านหน้าติดกับถนนมีรถสัญจรปริมาณ มาก ซึ่งทางสำนักงานตั้งอยู่ตรงกันข้ามกับสวนสาธารณะสิ่งปลูกสร้างโดยรอบเป็นอาคาร และห้องแถวขนาด 3-5 ชั้น สลับกัน และมีตึกขนาดใหญ่อยู่ข้างเล็กน้อยในทางทิศใต้ของอาคารคุณภาพอากาศโดยรวมของพื้นที่อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง

4.2.1.1.2 ลักษณะทั่วไปของอาคารและการระบายอากาศ

เป็นอาคารสำนักงาน ขนาดใหญ่ มีจำนวนชั้นประมาณ 30 ชั้น โดยในแต่ละชั้นจะมีการออกแบบใกล้เคียงกัน โดยสามารถแบ่งออกเป็นส่วนได้ประมาณ 4 ส่วนด้วยกัน นั่นคือ ส่วนห้องประชุม ส่วนสำนักงาน Lobby และ ส่วนของห้องอาหาร โดยส่วนมากใช้ระบบปรับอากาศแบบ AHU โดยการดึง Fresh air จากบริเวณ ด้านข้างของตัวตึกผ่าน Filter มาในระบบ และถ่ายออกไปโดยกระจายผ่าน AHU ของแต่ละชั้น

4.2.1.1.3 การแบ่งพื้นที่ในการศึกษา

ในการศึกษานี้ทางทีมงานได้แบ่งพื้นที่การศึกษาตามลักษณะการใช้งานของพื้นที่ ออกเป็น 4 ส่วนด้วยกัน นั่นคือ ส่วนห้องประชุม ส่วนสำนักงาน Lobby และ ส่วนของห้องอาหาร ซึ่งได้ทำการเก็บตัวอย่างในส่วนต่างๆ ตามพื้นที่ที่ได้วางแผนไว้

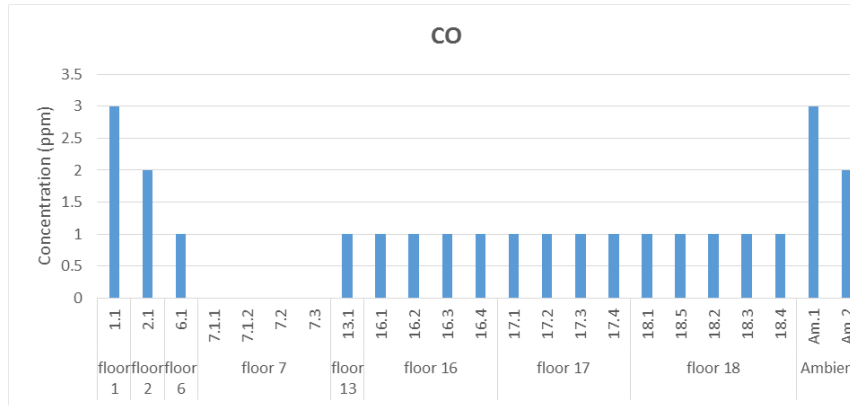
4.2.1.1.4 ข้อมูลระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศส่วนใหญ่ในแต่ละชั้นนั้น เป็นแบบ AHU โดยการดึง Fresh air จากบริเวณ ด้านข้างของตัวตึกผ่าน Filter มาในระบบ และกระจายเข้า AHU ของแต่ละชั้น โดยจะมี AHU จำนวน 2 ตัวแบ่งออกเป็น ส่วนด้านซ้าย และด้านขวาของอาคาร โดยมีการนำอากาศกลับผ่าน Return ที่มีในแต่ละส่วนของสำนักงาน

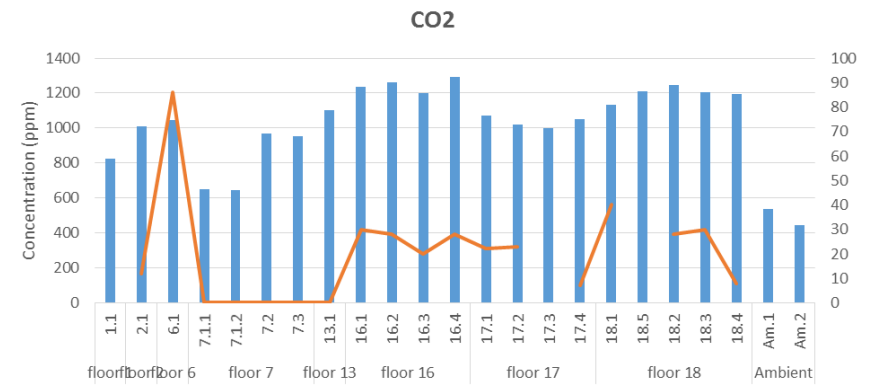
4.2.1.1.5 คุณภาพอากาศในอาคาร

การตรวจวัดคุณภาพอากาศในอาคารแบบเบื้องต้น ได้ทำการตรวจวัดทั้งหมด 21 จุดด้วยกัน ทั้งนี้ผลของการตรวจวัดได้แสดงไว้ดัง

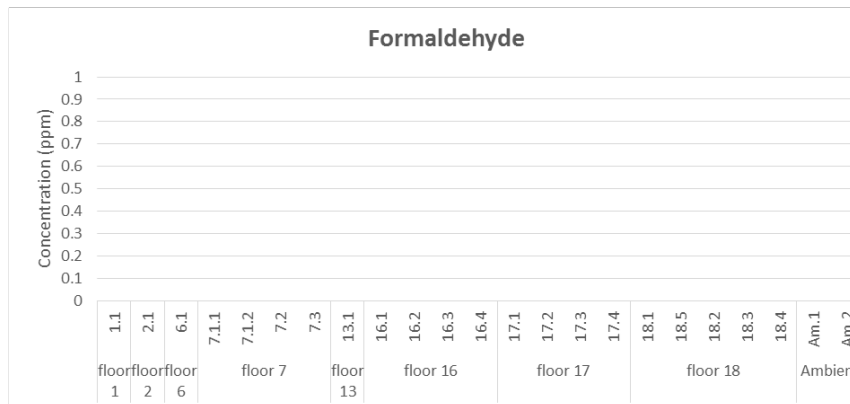
Error! Reference source not found.



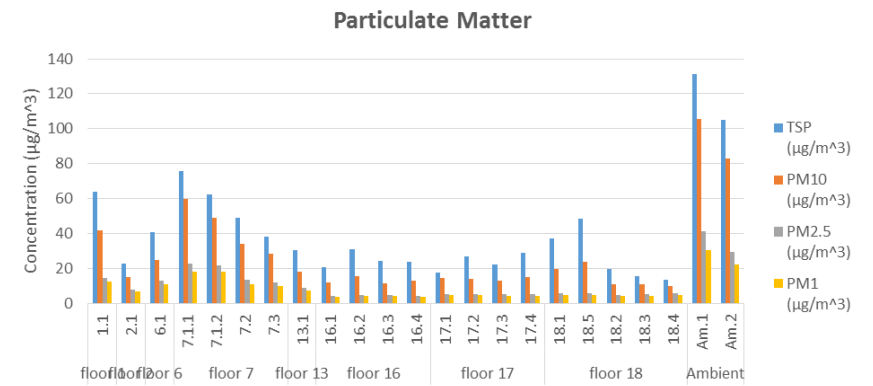
(ก) ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์



(ข) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

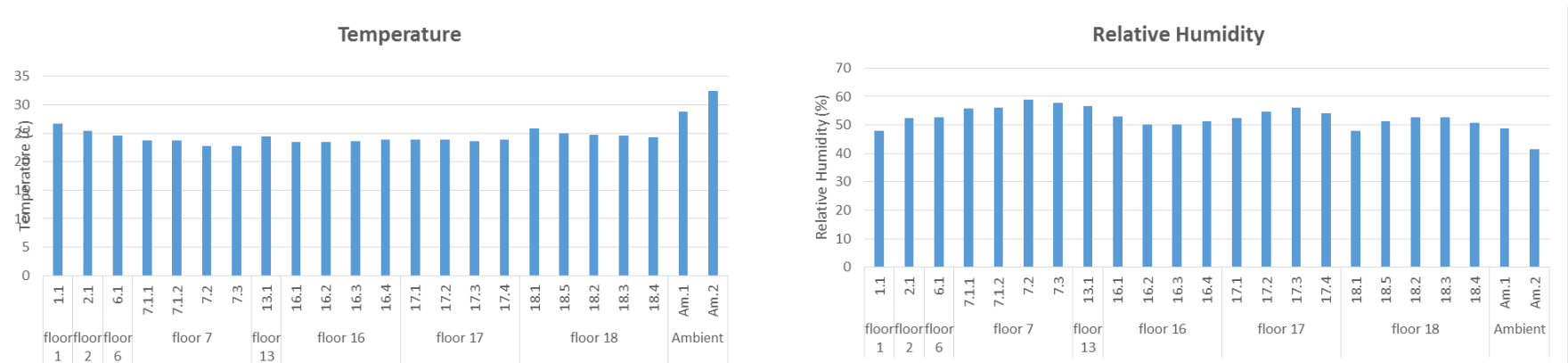


(ค) ฟอรัมาลดีไฮด์



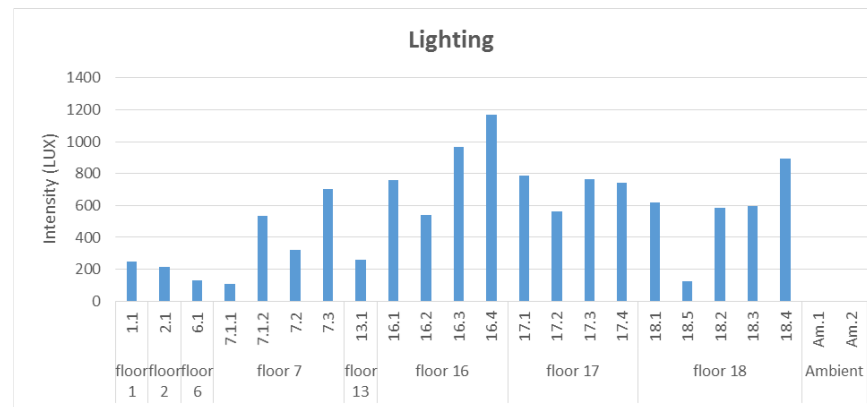
(จ) ฝุ่นละอองขนาดเล็ก

รูปที่ 4.28 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารสำนักงานที่ 2



(จ) อุณหภูมิอากาศ

(ฉ) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ



(ช) ความสว่าง

รูปที่ 4.28 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารสำนักงานที่ 2 (ต่อ)

จากการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ภายในพื้นที่สำนักงาน พบก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ในบางพื้นที่แต่ในปริมาณที่น้อยมาก อาจเพราะอาคารดังกล่าวอยู่ใกล้ถนนที่มีการจราจรหนาแน่น แต่ความเข้มข้น ยังอยู่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่ของสำนักงาน พบว่าพื้นที่ส่วนมากที่ทำการตรวจวัดมีค่าเกินกว่าค่า มาตรฐาน โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีผู้ใช้งาน แต่สำหรับพื้นที่ที่ไม่มีการใช้ ค่าดังกล่าวมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน

ผลการตรวจวัดสารฟอร์มาลดีไฮด์ในอาคารสำนักงานแห่งนี้ พบว่าไม่มีพื้นที่ใดตรวจพบสารฟอร์มาลดีไฮด์ เนื่องจาก อาคารแห่งนี้เป็นอาคารที่ถูกสร้างนานแล้ว และไม่มีการปรับปรุงตกแต่งอีกด้วย ส่งผลให้ไม่มีแหล่งกำเนิด ของสารดังกล่าว

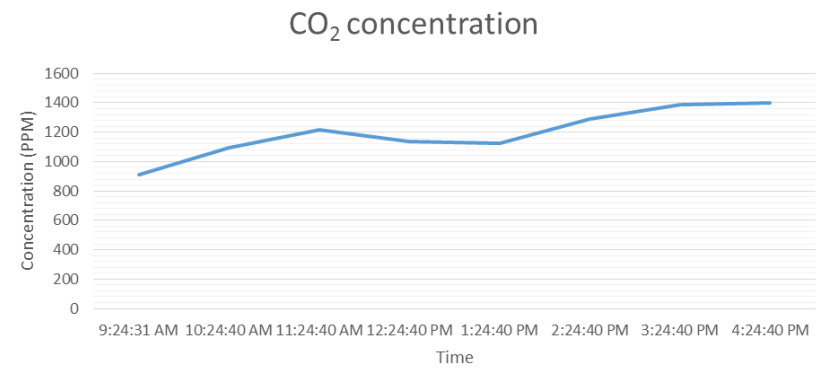
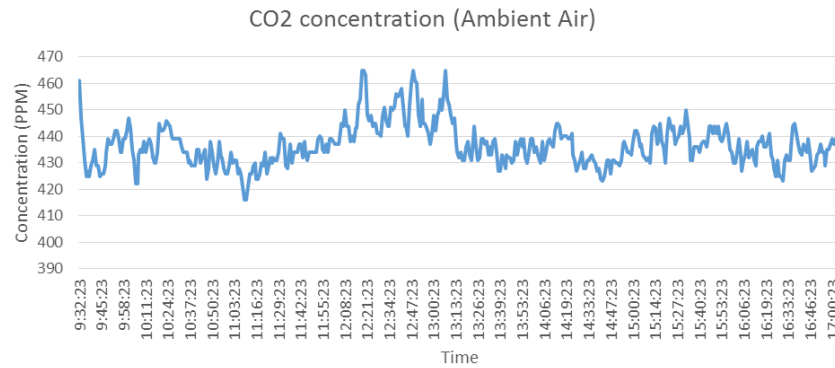
ในส่วนของการตรวจวัดฝุ่นละอองในอากาศ พบว่ามีเพียงบางพื้นที่เท่านั้นที่มีค่าฝุ่นละอองเกินมาตรฐาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของชั้นที่ 7 ของอาคารดังกล่าว

อุณหภูมิในห้องต่างๆ ส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ปกติ และมีค่าใกล้เคียงกัน โดยในส่วนของความชื้นอยู่ในเกณฑ์ มาตรฐาน

4.2.1.1.6 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในอาคาร

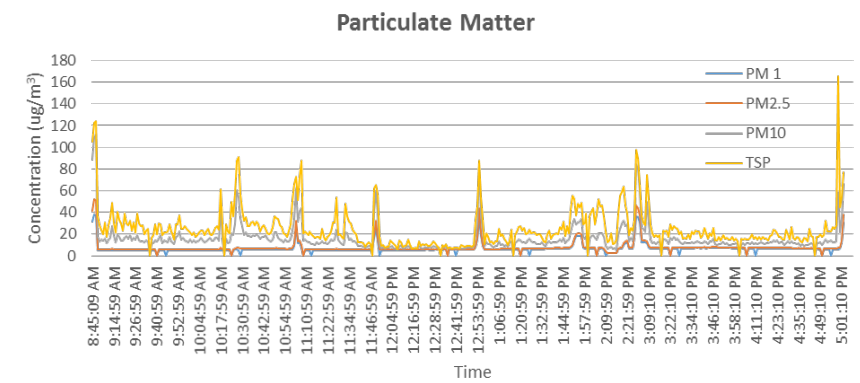
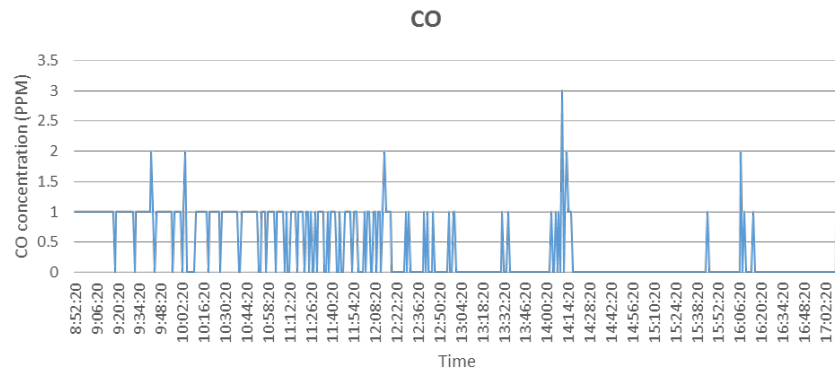
จากการสำรวจเบื้องต้นในหัวข้อที่ 5 ทางทีมงานได้เลือกทำการศึกษา การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศใน อาคารโดยละเอียด ในพื้นที่ส่วนสำนักงานชั้น 17 โดยมีผู้ใช้งานบริเวณดังกล่าวตลอดทั้งวันทำงาน ซึ่งแสดงผลการ ตรวจวัดไว้ดังError! Reference source not found.

เอกสารปกปิด ห้ามเผยแพร่ก่อนได้รับอนุญาต



(ก) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอกอาคาร

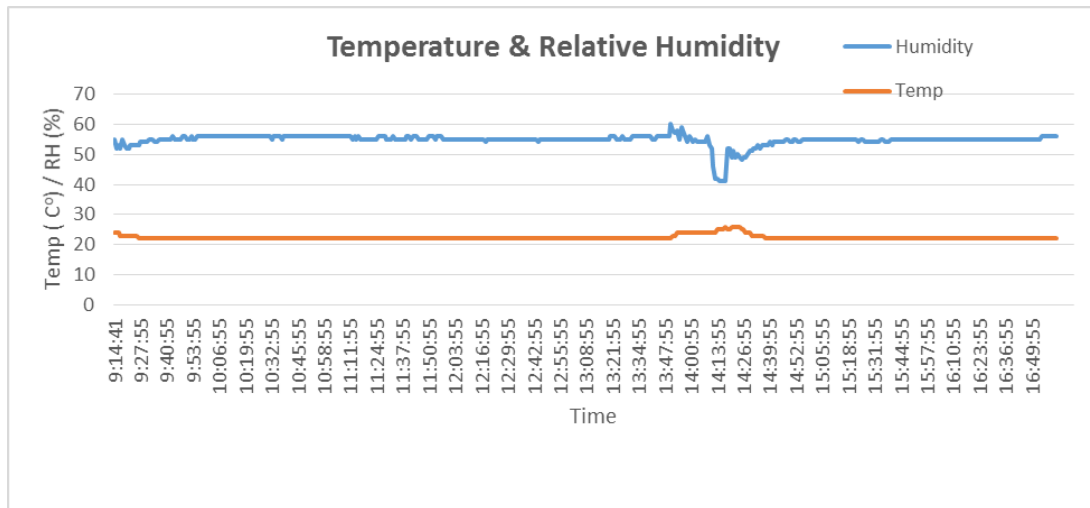
(ข) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคาร



(ค) ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์

(ง) ฝุ่นละออง

รูปที่ 4.29 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในระยะเวลา 8 ชั่วโมง ภายในสำนักงานแห่งที่ 2



(จ) อุณหภูมิ และ ความชื้น

รูปที่ 4.29 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในระยะเวลา 8 ชั่วโมง ภายในสำนักงานแห่งที่ 2 (ต่อ)

โดยจากการศึกษาพบว่า ภายในอาคารสำนักงานนั้นมีการควบคุมการระบายอากาศได้ไม่ค่อยดีนัก ส่งผลให้เกิดการสะสมก๊าซคาร์บอนมอนไดออกไซด์ภายในอาคารตลอดเวลาทำงาน จึงควรที่จะมีการเพิ่มการระบายอากาศให้มากขึ้น ส่วนระบบปรับอากาศสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นคงที่

4.3.1.1 อาคารสำนักงานที่ 3

4.3.1.1.1 สถานที่ตั้ง

สำนักงานตั้งอยู่ติดกับ ถนนบางนา-ตราดโดยสถานที่โดยรอบ มีการจราจรปานกลาง และสิ่งปลูกสร้างโดยรอบเป็นอาคารขนาดปานกลาง มีความสูงไม่เกิน 10 ชั้น โดยมีลานจอดรถอยู่ด้านข้างของสำนักงาน แล้วทางทิศเหนือเป็นโรงงาน โดยรวมสภาพอากาศอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง

4.3.1.1.2 ลักษณะทั่วไปของอาคารและการระบายอากาศ

ลักษณะอาคาร เป็นอาคารที่สูง ภายในอาคารมีการออกแบบระบบระบายอากาศเชิงกล (Mechanical Ventilation) มีการแบ่งระบบระบายอากาศเพื่อให้เหมาะกับ ห้องประเภทต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น ห้องประชุม ห้องพัก โรงอาหาร

4.3.1.1.3 การแบ่งพื้นที่ในการศึกษา

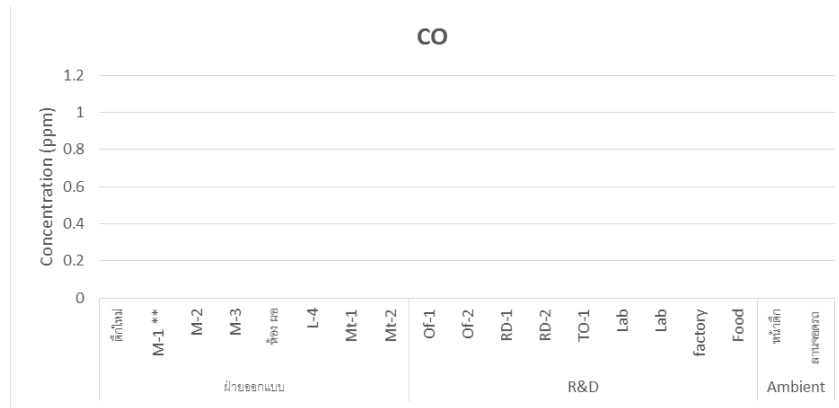
ในการศึกษานี้ทางทีมงานได้ทำการตรวจวัดตามพื้นที่การใช้งานรูปแบบต่างอันประกอบไปด้วย ส่วนสำนักงาน ห้องพัก บริเวณทางเดิน โรงอาหาร ห้องประชุม และห้อง Lab ส่วนวิทยาศาสตร์ (RD)

4.3.1.1.4 ข้อมูลระบบปรับอากาศ

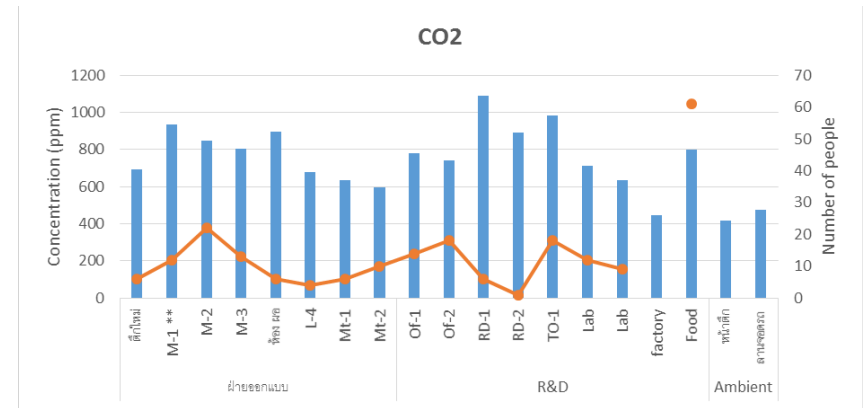
ระบบปรับอากาศของอาคารทั้ง 2 อาคารของ TOA เป็นระบบปรับอากาศแบบ Split type สำหรับห้องสำนักงาน และมีการจ่ายอากาศเย็นผ่าน AHU ในส่วนของสำนักงานขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามอาคารดังกล่าวมีการติดตั้งระบบระบายอากาศ อยู่เล็กน้อย โดยอาศัยเพียงการรั่วของอากาศภายนอกที่เข้าสู่อาคารเพียงอย่างเดียวในการดึง Fresh air

4.3.1.1.5 คุณภาพอากาศในอาคาร

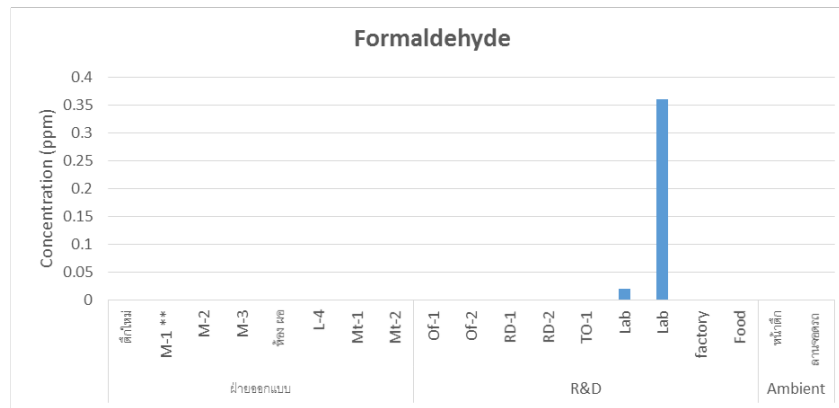
การตรวจวัดคุณภาพอากาศในอาคารสำนักงาน แบบเบื้องต้น ได้ทำการตรวจวัดทั้งหมด 19 พื้นที่ด้วยกัน ทั้งนี้ผลของการตรวจวัดได้แสดงไว้ดัง



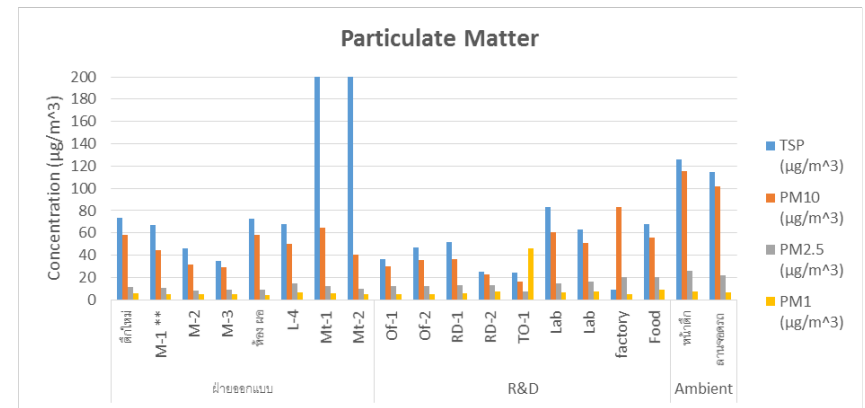
(ก) ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์



(ข) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

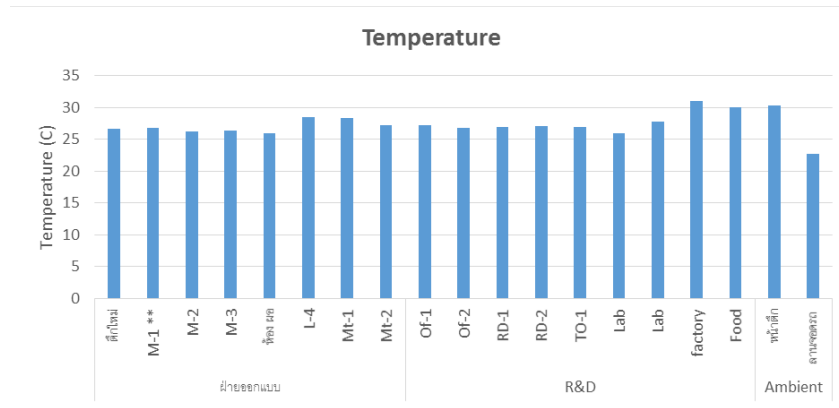


(ค) ฟอรัมาลดีไฮด์

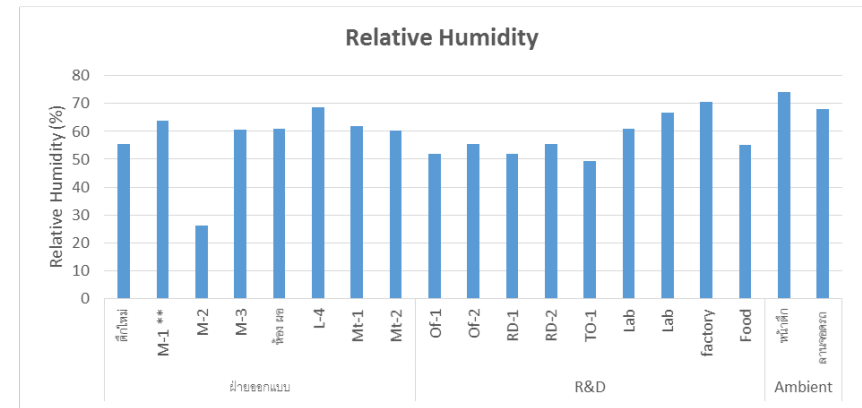


(จ) ฝุ่นละอองขนาดเล็ก

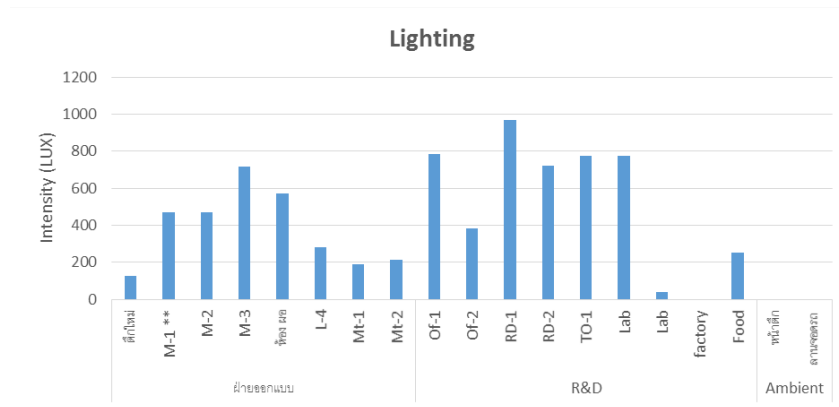
รูปที่ 4.30 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารสำนักงานที่ 3



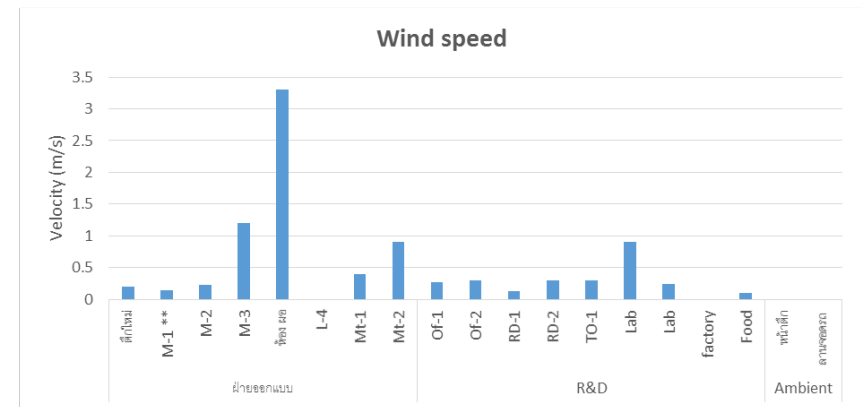
(จ) อุณหภูมิอากาศ



(ฉ) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ



(ช) ความสว่าง



(ซ) อัตราเร็วของอากาศ

รูปที่ 4.30 ผลการตรวจวัดปริมาณเชิงคุณภาพอากาศในอาคารสำนักงานที่ 3 (ต่อ)

จากการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ภายในพื้นที่สำนักงาน ไม่พบพื้นที่ใดมีก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่ของสำนักงานแห่งนี้ ไม่มีพื้นที่ใดมีค่าเกินมาตรฐาน แม้จะมีผู้ใช้งานอยู่ก็ตาม ซึ่งหมายความว่ามียุทธศาสตร์การระบายอากาศที่เหมาะสม

ผลการตรวจวัดสารฟอร์มัลดีไฮด์ในอาคารสำนักงาน จะตรวจพบสารดังกล่าวเฉพาะบริเวณห้องปฏิบัติการ (LAB) ซึ่งมีค่าเกินกว่ามาตรฐาน

การตรวจวัดฝุ่นละอองในอากาศ พบว่าในบางพื้นที่ PM10 มีค่าเกินมาตรฐาน แต่ในขณะเดียวกันพบว่า PM2.5 มีค่าผ่านมาตรฐานในทุกพื้นที่ที่ทำการตรวจวัด

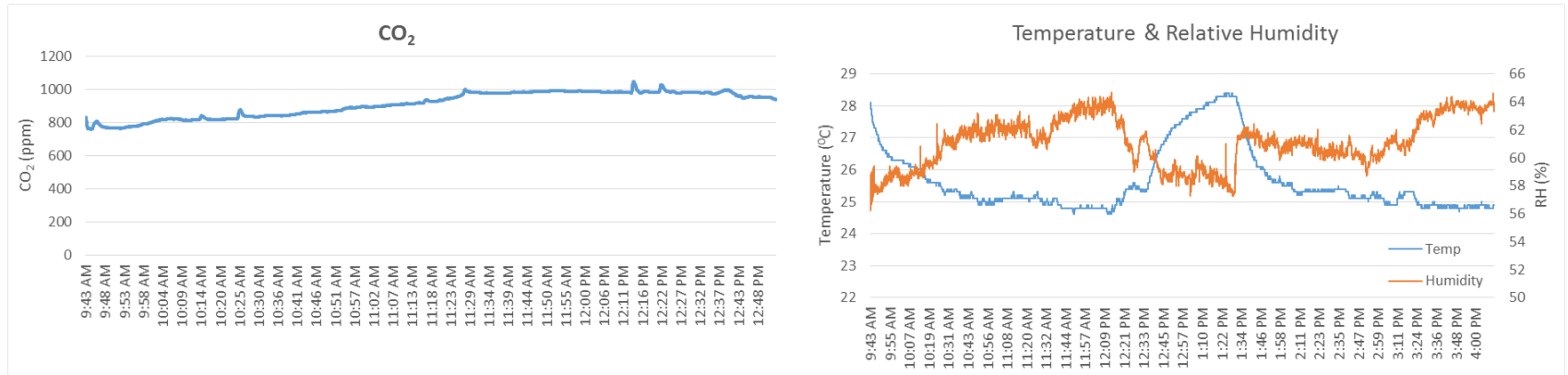
อุณหภูมิในพื้นที่ต่างๆ พบว่า ในส่วนของโรงงานและร้านอาหารมีค่าอุณหภูมิค่อนข้างสูง ทั้งนี้ในบริเวณอื่นพบว่าค่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ

4.3.1.1.6 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในอาคาร

จากการสำรวจเบื้องต้นในหัวข้อที่ 5 ทางทีมงานได้เลือกทำการศึกษา การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศในอาคารโดยละเอียด ในพื้นที่สำนักงานฝ่ายขาย เนื่องจากมีการใช้พื้นที่ตลอดเวลาทำงาน และมีการเข้าออกของผู้คนเป็นจำนวนมากโดยได้ทำการเก็บค่าห้องดังกล่าวตลอดทั้งวัน ผลการตรวจวัดได้แสดงไว้ ดัง**Error!**
Reference source not found.

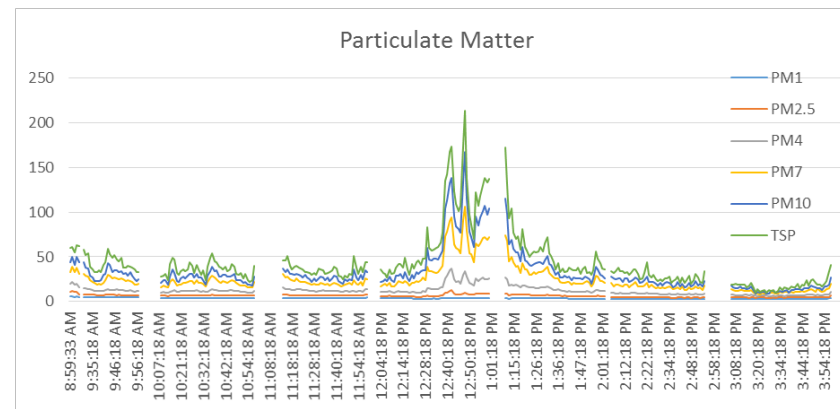
จากผลการศึกษาพบว่าในช่วงเช้าจะเห็นได้ว่าการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่เมื่อถึงสภาวะคงตัวพบว่าค่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าสูงสุดไม่เกิน 1000 ppm ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าอาคารดังกล่าวมีการระบายอากาศที่เหมาะสม ในส่วนอุณหภูมิและความชื้น จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงในช่วงตอนเที่ยงเนื่องมาจากการปิดระบบปรับอากาศส่งผลให้อุณหภูมิสูงขึ้นและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำลง แต่โดยภาพรวมจะเห็นว่าการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 25 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ยังพบว่าอีกกว่าความชื้นในอาคารแห่งนี้มีค่าอยู่ในช่วง 60 ถึง 64 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมาตรฐานแนะนำไว้ที่ 40 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์

จากการตรวจวัดฝุ่นละอองในอากาศ พบว่าโดยภาพรวมมีค่าผ่านมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ แต่อย่างไรก็ดีพบว่าในช่วงพักเที่ยงที่มีการปิดระบบปรับอากาศรวมถึงมีการเคลื่อนที่ของผู้ใช้งานอาคารเลยส่งผลให้มีฝุ่นละอองสูงกว่าปกติ



(ก) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

(ข) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ



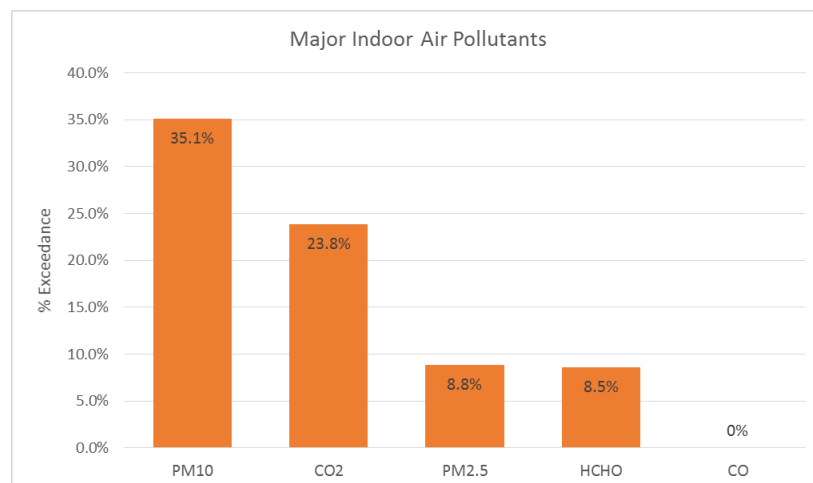
(ค) ฝุ่นละออง

รูปที่ 4.31 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศภายในพื้นที่อาคารสำนักงานแห่งที่ 3 ในระยะเวลา 8 ชั่วโมง

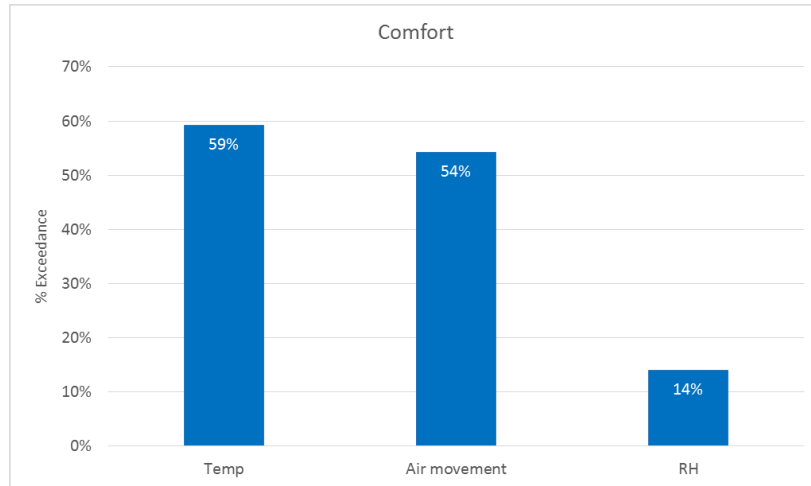
4.4 สรุปภาพรวมของการศึกษาคุณภาพอากาศภายในอาคาร

จากการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคารจำนวน 15 แห่ง ซึ่งประกอบไปด้วย อาคารสถานศึกษา อาคารสำนักงาน อาคารโรงแรม อาคารโรงพยาบาล และห้างสรรพสินค้า สามารถสรุปปัญหาของคุณภาพอากาศภายในอาคารสาธารณะได้ดังต่อไปนี้

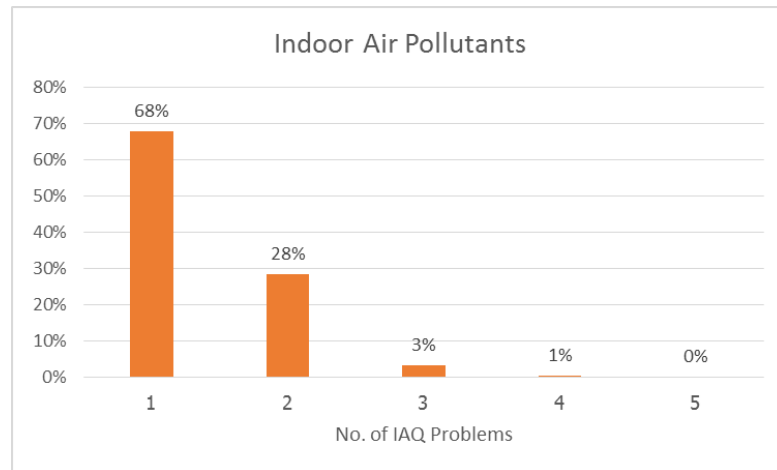
อาคารสาธารณะส่วนใหญ่ที่ได้เข้าทำการสำรวจ พบว่าอาคารทั้งหมดที่เข้าสำรวจมีปัญหาทางด้านคุณภาพอากาศภายในอาคารน้อยมาก ปัญหาที่พบโดยหลักคือ ปริมาณฝุ่น PM10 ภายในอาคาร โดยตรวจพบปัญหาดังกล่าวเฉพาะในอาคารที่มีผู้ใช้งานจำนวนมาก และมีพื้นที่จำกัด จากการสำรวจในอาคารทั้งหมด 15 อาคาร 328 พื้นที่ พบว่ามีพื้นที่ทั้งหมด 35.1% ที่มีปัญหา PM10 สูงเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ของกรมอนามัย รองลงมาคือ CO2 PM2.5 และ Formaldehyde ที่พบว่ามีค่าเกินกว่าค่าที่แนะนำของกรมอนามัย เป็นจำนวน 23.8% 8.8% และ 8.5% ตามลำดับ (ดังแสดงในError! Reference source not found.) สำหรับการสำรวจความสบายในอาคารทั้งหมดนั้น พบว่าอาคารส่วนใหญ่ไม่มีปัญหาทางด้านอุณหภูมิมากที่สุด โดยมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่แนะนำเป็นจำนวน 59% ของพื้นที่สำรวจทั้งหมด รองลงมาคือ การเคลื่อนที่ของอากาศ และความชื้น คิดเป็น 54% และ 14% ตามลำดับ (ดังแสดงในError! Reference source not found.) หากพิจารณาในแต่ละพื้นที่แล้วพบว่า มีพื้นที่ที่มีปัญหาทางคุณภาพอากาศภายในอาคารอย่างน้อย 1 ปัญหา คิดเป็นจำนวน 68% ของพื้นที่ที่มีปัญหาคุณภาพอากาศในอาคารทั้งหมด ขณะที่พื้นที่ที่มีปัญหาน้อย 2 และ 3 ปัญหาคิดเป็นจำนวน 28% และ 3% ตามลำดับ (Error! Reference source not found.)



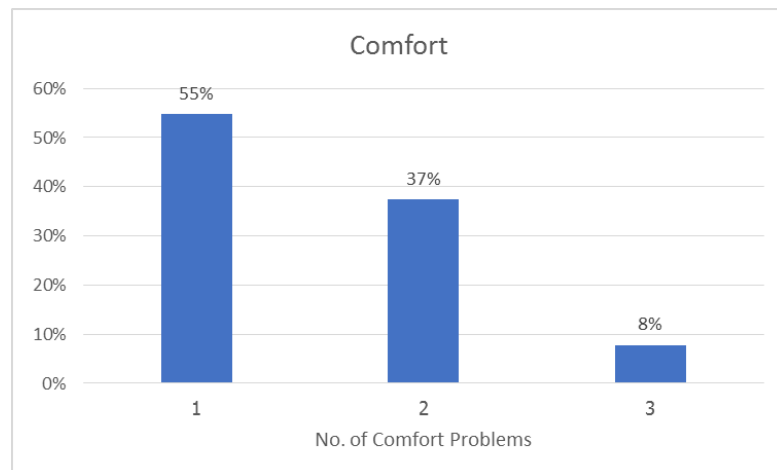
รูปที่ 4.32 ร้อยละของอาคารที่มีปริมาณบ่งชี้คุณภาพอากาศสูงเกินเกณฑ์ที่กำหนดโดยกรมอนามัย



รูปที่ 4.33 สัดส่วนของพื้นที่ที่มีคุณภาพอากาศภายในอาคารสูงกว่า / ความสบายต่ำกว่าเกณฑ์ที่แนะนำ

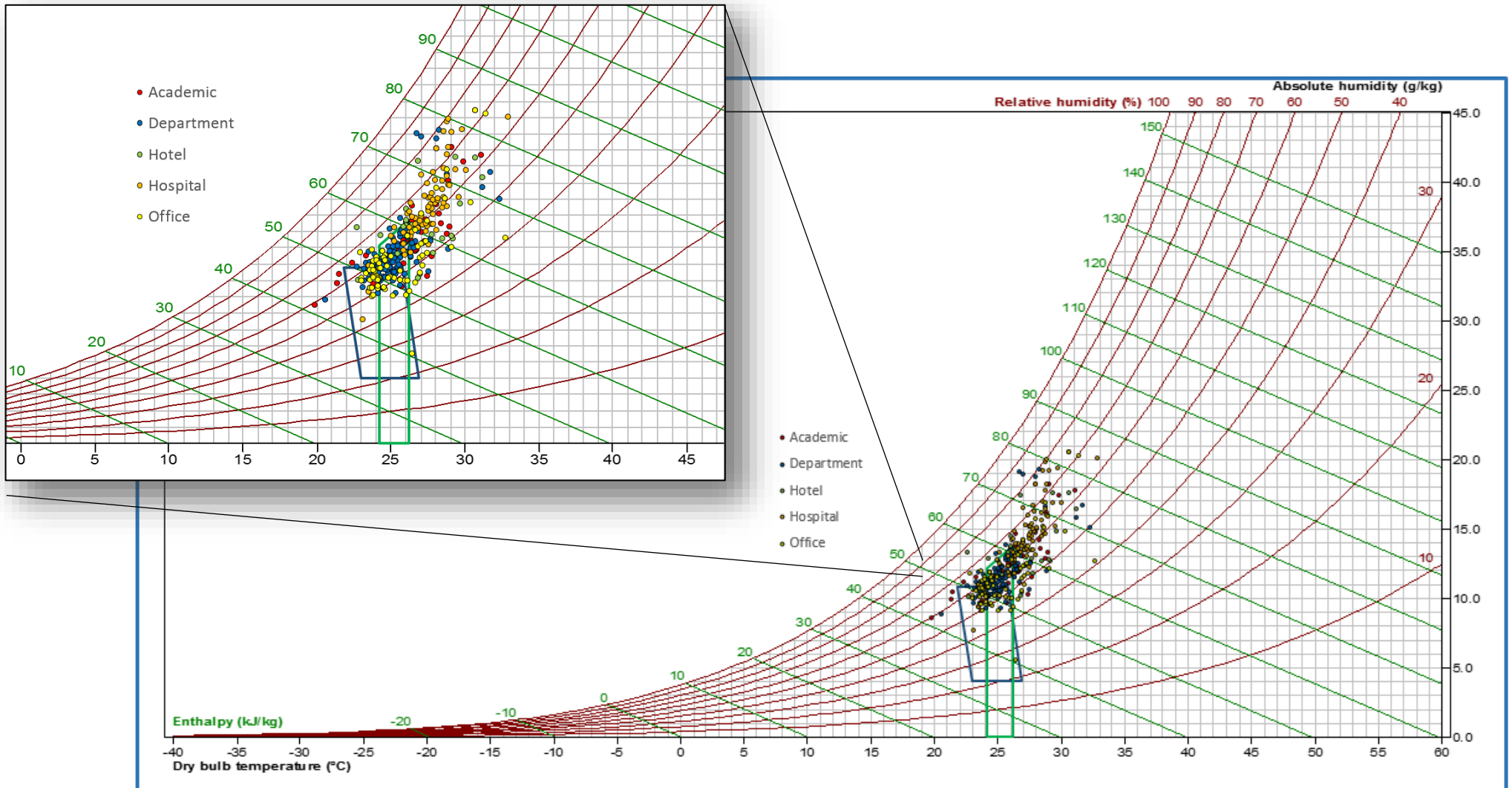


รูปที่ 4.34 ร้อยละของพื้นที่ภายในอาคารที่มีจำนวนปัญหาด้านคุณภาพตั้งแต่ 1 – 5 ปัญหา



รูปที่ 4.35 ร้อยละของพื้นที่ภายในอาคารที่มีจำนวนปัญหาด้านสภาพสบายตั้งแต่ 1 – 3 ปัญหา

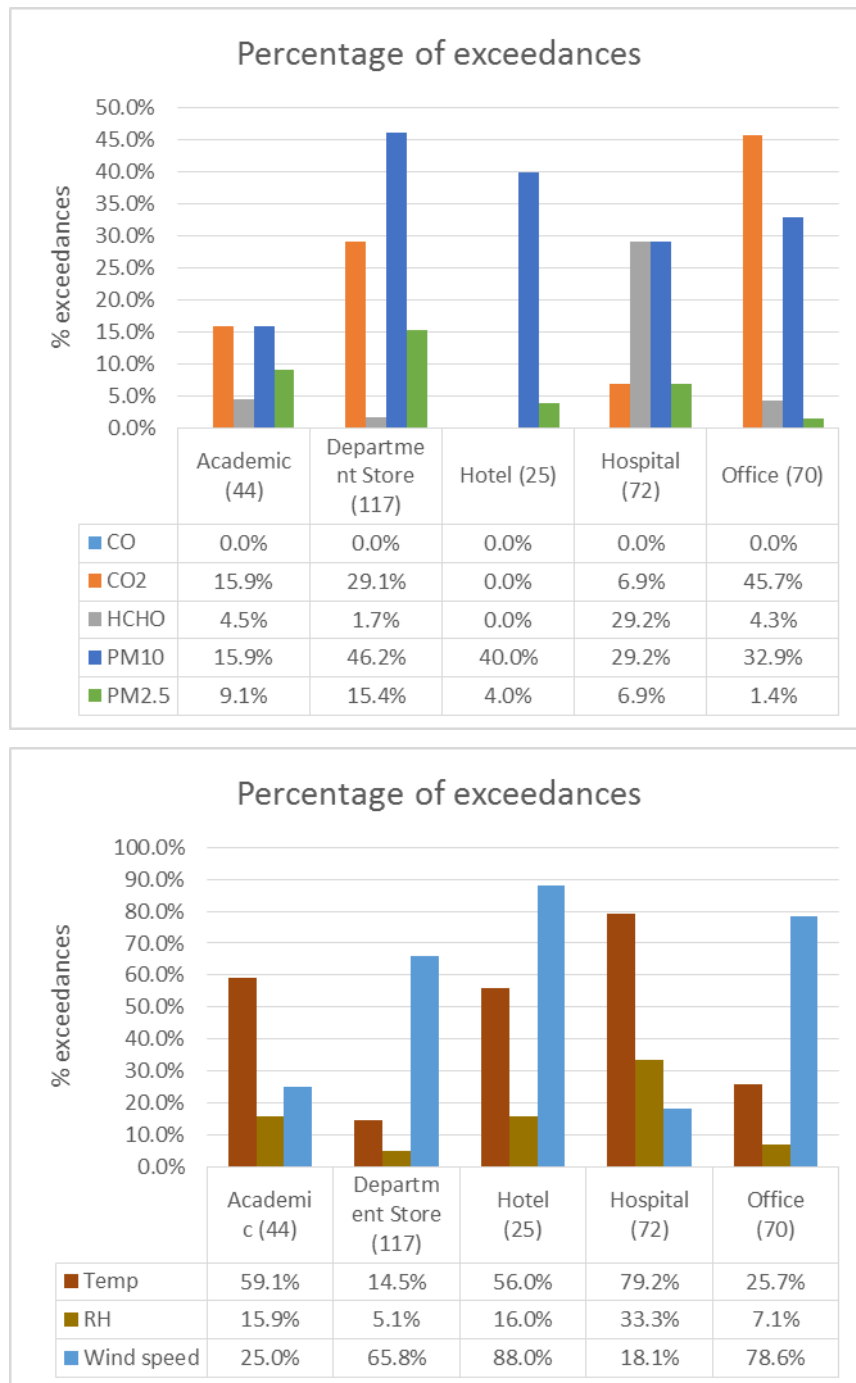
จากการ Plot ข้อมูลลงบน psychrometric chart ของอุณหภูมิและความชื้น พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มีปัญหาทางด้านการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้น ทั้งนี้พบว่า จากข้อมูล Comfort Zone ที่แนะนำโดย ASHRAE (เส้นสีน้ำเงิน) พบว่า อาคารส่วนใหญ่ไม่สามารถควบคุมสภาพอากาศได้ โดยมีเพียง 22% ของพื้นที่ทั้งหมดที่อยู่ใน Comfort Zone ขณะที่หากเทียบกับข้อกำหนดของทางกรมอนามัยแล้วพบว่ามี 36% ของพื้นที่ทั้งหมด ที่ทำการสำรวจสามารถควบคุมสภาพอากาศภายในอาคารอยู่ใน Comfort Zone ได้



รูปที่ 4.36 ข้อมูลการตรวจวัดอุณหภูมิ และความชื้นในอาคารเทียบกับ Comfort Zone

(สีน้ำเงิน = Comfort Zone ที่แนะนำโดย ASHRAE และ สีเขียว = Comfort Zone ที่แนะนำโดยกรมอนามัย)

หากพิจารณาตามประเภทของอาคารที่เข้าสำรวจจำนวน 5 ชนิด อันประกอบไปด้วย อาคารสถานศึกษา อาคารสำนักงาน อาคารโรงแรม อาคารโรงพยาบาล และห้างสรรพสินค้า นั้น พบว่าอาคารแต่ละชนิดจะพบปัญหาทางด้านคุณภาพอากาศที่แตกต่างกันออกไป **Error! Reference source not found..** แสดงสัดส่วนของพื้นที่ที่มีปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารแต่ละประเภท โดยอาคารสถานศึกษา พบปัญหา PM10 (16% ของพื้นที่ทั้งหมด) และ CO2 (16% ของพื้นที่ทั้งหมด) มากที่สุด และพบปัญหา Formaldehyde และ PM2.5 เป็นบางส่วน ปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็ก นั้นมาจากการกิจกรรมต่างๆ ของผู้ใช้งานอาคาร ตลอดจนการเคลื่อนไหวของผู้ที่อยู่ในอาคาร ส่งผลเกิดฝุ่นละอองที่เกาะติดตามที่ต่างๆ ลอยขึ้นมาใหม่ โดยปริมาณฝุ่นละอองมีการแปรผันกันโดยตรงกับผู้ใช้งานในพื้นที่ หากมีผู้ใช้งานมากขึ้น ปริมาณฝุ่นละอองจะมีค่าสูงขึ้น และจะมีค่าสูงมากขึ้นหากพื้นที่ดังกล่าวมีการใช้พรม ซึ่งเป็นแหล่งสะสมของฝุ่นละอองขนาดเล็ก กิจกรรมบางประเภทภายในอาคารอาจก่อให้เกิดปัญหาฝุ่นละอองในอาคารได้ เช่น การก่อสร้าง การทำอาหาร และฝุ่นละอองจากลานจอดรถ เป็นต้น สำหรับปัญหาทางด้าน CO2 นั้น เกิดจากห้องเรียนในอาคารสถานศึกษามักมีผู้ใช้งานในพื้นที่จำนวนมาก และมีขนาดห้องที่จำกัด นอกจากนี้ภายในห้องเรียนยังมักพบว่า มีการใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยก (Split type) หรือใช้ระบบปรับอากาศแบบ Fan Coil Unit โดยไม่มีระบบระบายอากาศใดๆ ในห้องเรียน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการหายใจของผู้ที่ใช้งานภายในห้องจะเกิดการสะสมตัวและมีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงระบบที่คงที่ โดยอาจมีค่าสูงถึง 3,000 – 5,000 ppm อย่างไรก็ตาม การรั่วไหลของอากาศจากช่องเปิดขนาดเล็กต่างๆ (Infiltration) สามารถทำให้เกิดการเจือจางของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้บ้าง แต่ไม่สามารถควบคุมได้ ส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานที่เกินความจำเป็น จากการประเมินโดยใช้หลักการสมดุล มวลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น พบว่า หากมีผู้ใช้งานในพื้นที่น้อยกว่า 5 ตร.ม.ต่อคน มักมีแนวโน้มที่จะเกิดปัญหาการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หากไม่มีการติดตั้งระบบระบายอากาศที่เหมาะสม ปัญหาด้าน Formaldehyde นั้นพบเฉพาะในพื้นที่ที่ก่อสร้างใหม่ ขณะที่ PM2.5 พบมากในพื้นที่ที่มี PM10 สูง และมีผู้ใช้งานเป็นจำนวนมาก ทางด้านความสบายพบว่า มีปัญหาทางด้านอุณหภูมิมากที่สุด ในขณะที่มีปัญหาด้านการเคลื่อนที่ของอากาศนั้นมีน้อยเนื่องจากใช้เครื่องปรับอากาศแบบ split type ในห้องขนาดเล็ก



รูปที่ 4.37 ปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารประเภทต่างๆ ที่ทำการสำรวจ

ปัญหาคุณภาพอากาศในอาคารที่พบมากในพื้นที่ของห้างสรรพสินค้าคือ ปริมาณฝุ่น PM10 และ ร่องลงมาคือ CO2 โดยพบว่า มีปัญหา PM10 มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอาคารทั้งหมดที่ทำการศึกษา ทั้งนี้ เนื่องจากว่าอาคารห้างสรรพสินค้าส่วนใหญ่แล้วมีผู้เข้ามาใช้งานในพื้นที่เป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตามพื้นที่ที่ตรวจพบฝุ่นละอองมากที่สุด คือพื้นที่ในส่วน of ร้านอาหารขนาดเล็ก ทั้งนี้ค่าที่ตรวจพบว่ามีค่าเกินกว่าค่าแนะนำของกรมอนามัยทั้งหมดนั้น ส่วนใหญ่แล้วยังมีค่าต่ำกว่าหรือใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจพบในบรรยากาศภายนอก ปัญหาดังกล่าวจะลดลงหากมีการดูแลรักษา และทำความสะอาดระบบกรองฝุ่นในห้อง AHU สำหรับปัญหา

CO₂ นั้น พบมากในพื้นที่ที่มีผู้ใช้งานเป็นจำนวนมากเท่านั้น เช่น ลานแสดงสินค้า เป็นต้น สำหรับปัญหา Formaldehyde และ PM_{2.5} นั้น มีแนวโน้มแหล่งกำเนิด เช่นเดียวกับอาคารสถานศึกษา คือ Formaldehyde มักตรวจพบในพื้นที่ที่มีเฟอร์นิเจอร์ใหม่ หรือ บูธแสดงสินค้า ขณะที่ PM_{2.5} พบมากในพื้นที่ที่มีปริมาณผู้ใช้งานอาคารเป็นจำนวนมาก สำหรับความสายนั่น อาคารห้างสรรพสินค้า มักมีปัญหาทางด้านการเคลื่อนที่ของอากาศ เนื่องจากมีเพดานสูง ทำให้การจ่ายอากาศไม่สามารถจ่ายให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศได้ตามที่กำหนดไว้ในคำแนะนำ

อาคารโรงแรมนั้นเป็นอาคารที่มีปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารน้อยที่สุด ในกลุ่มอาคารทั้งหมดที่ทำการสำรวจ โดยพบเพียงปัญหาฝุ่นละอองเท่านั้น เนื่องจากการใช้พรมเป็นวัสดุรองพื้นเป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้จากการสำรวจในพื้นที่อาคารที่มีการทำความสะอาดเป็นประจำพบว่า สามารถลดปริมาณฝุ่นละอองในอาคารได้เป็นปริมาณมาก อาคารโรงพยาบาลดังกล่าวนี้ มักใช้ระบบปรับอากาศแบบส่วนกลางที่มีทั้งการดึง Fresh Air จากภายนอกมาเจือจาง หรือเกิดจากการ Infiltration ในห้อง AHU เอง ตลอดจนมีผู้ใช้งานภายในพื้นที่น้อย จึงทำให้มีปัญหาเรื่องการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าอาคารอื่นๆ สำหรับการสำรวจด้านความสลายในพื้นที่นั้นพบว่าอาคารโรงแรมมีปัญหาด้านการเคลื่อนที่ของอากาศมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารประเภทอื่น และรองลงมาคือทางด้านอุณหภูมิ

โรงพยาบาลที่มีการสำรวจนั้น พบว่ามีปัญหาทางด้านสาร formaldehyde และฝุ่นละออง PM₁₀ มากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง formaldehyde นั้น มีการตรวจพบมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอาคารอื่นๆ อย่างไรก็ตาม การตรวจวัดด้วยเครื่อง Formaldehyde analyzer นั้นอาจถูกรบกวนจากการระเหยของสารเคมีที่มีองค์ประกอบของ Alcohol ได้ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้สารเคมีภายในอาคารสำหรับการทำความสะอาดในอาคารที่มักจะมีองค์ประกอบของ Alcohol เป็นหลัก จึงทำให้ผลการตรวจวัดพบสารดังกล่าวในหลายพื้นที่ เช่นเดียวกับอาคารโรงแรม อาคารของโรงพยาบาลมีผู้ใช้งานต่อพื้นที่น้อย จึงให้เกิดการสะสมของ CO₂ น้อย นอกจากนี้การสำรวจความสลายในพื้นที่พบว่า อาคารโรงพยาบาลมีปัญหาด้านอุณหภูมิ และความชื้นสูงสุดในกลุ่มอาคารทั้งหมดที่ทำการศึกษ โดยเกิดจากการจัดการทางด้านระบบปรับอากาศของหน่วยงานในโรงพยาบาลเอง

จากการสำรวจอาคารสำนักงานทั้งหมดนั้น พบว่าปัญหาที่พบมากที่สุดในอาคารดังกล่าวคือปัญหา CO₂ ในอาคาร ซึ่งเกิดจากมีพื้นที่น้อย และมีผู้ใช้งานเป็นจำนวนมาก ตลอดจนไม่มีการระบายอากาศ หรือ มีการระบายอากาศน้อย ปัญหา CO₂ ในอาคารสำนักงานนี้ พบมากที่สุดเมื่อทำการเปรียบเทียบกับอาคารประเภทอื่นๆ คิดเป็น 46% ของพื้นที่ที่ทำการสำรวจทั้งหมด รองลงมาคือปัญหาทางด้าน PM₁₀ เช่นเดียวกับอาคารอื่นๆ สำหรับปัญหาทางด้านความสายนั่น จะมีลักษณะเหมือนอาคารห้างสรรพสินค้า และโรงแรมที่ใช้เพดานสูง และใช้ระบบปรับอากาศแบบส่วนกลาง จึงส่งผลให้การเคลื่อนที่ของอากาศที่ตำแหน่งการใช้งานของผู้ใช้อาคารมีค่าต่ำกว่าคำแนะนำของกรมอนามัย

ระบบปรับอากาศที่ตรวจพบในอาคารต่าง ๆ นั้นมีความแตกต่างกันไปในเชิงเทคโนโลยี ทั้งเป็นแบบ Split Type แบบ Fan Coil Unit ผ่านท่อน้ำเย็นเพื่อจ่ายในแต่ละห้อง แบบ AHU หรือแบบที่มีระบบควบคุมอัตโนมัติต่างๆ ทั้งนี้ระบบส่วนใหญ่ๆนั้นมักไม่มีการติดตั้งระบบระบายอากาศเชิงกล อาศัยการซึมผ่านของอากาศตามรอยรั่วต่างๆ (Infiltration) จากการประเมินเบื้องต้นพบว่าในห้องที่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบ Split Type และ Fan Coil Unit จะมีการซึมผ่านของอากาศเข้ามาน้อยที่สุด ขณะที่ระบบ AHU จะใช้ความต่างของแรงดันภายในห้องดึงอากาศสะอาดภายนอกเข้ามา อย่างไรก็ตามยังพบว่าอาคารสูงหลายแห่งมีการติดตั้งระบบดึง Fresh Air จากภายนอกเข้ามาที่ด้านบนของอาคาร โดยส่วนใหญ่จะมีการติดตั้งระบบกรองฝุ่นละอองเบื้องต้นเท่านั้นสำหรับการบำบัดอากาศ มีเพียงอาคารแห่งเดียวที่มีการติดตั้งระบบ Pre Cool เพื่อลดอุณหภูมิก่อนจ่ายเข้าสู่ระบบปรับอากาศส่วนกลาง

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีการตรวจพบบ้างในบางพื้นที่ของอาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาคารที่อยู่ในเมืองและติดถนนใหญ่ที่มีการจราจรหนาแน่น ทั้งนี้เกิดจากการซึมผ่านของอากาศภายนอกที่มีการปนเปื้อนของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เข้ามาในอาคาร อย่างไรก็ตามจากการตรวจวัดทั้งหมดพบว่า ยังไม่มีพื้นที่ใดที่มีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดกว่าค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้

นอกจากนี้ยังพบว่าการซึมผ่านของอากาศ (Infiltration Rate) ภายนอกเข้าสู่อาคารนั้น มีปริมาณที่สูงมากในบางแห่ง ทั้งนี้การศึกษานี้ได้ทำการประเมินจากการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบละเอียด (Intensive Sampling) โดยทำการเลือกช่วงเวลาที่ไม่มีผู้อาศัยอยู่ในพื้นที่ และประเมินการลดลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามช่วงเวลา จากผลการศึกษาพบว่า มีเพียงสถานศึกษา และโรงแรม จำนวน 4 แห่งเท่านั้น ที่สามารถประเมินได้ เนื่องจากมีช่วงเวลาที่ไม่มีผู้อยู่อาศัย ขณะที่ทำการตรวจวัด โดยผลการศึกษาพบว่า มีอัตราการซึมผ่านของอากาศประมาณ 1 ACH มีเพียงสถานที่เดียวเท่านั้นที่มีการซึมผ่านของอากาศน้อยเนื่องจากห้องดังกล่าวไม่มีช่องเปิดแต่อย่างใด การสูญเสียดังกล่าวคิดเป็นพลังงานประมาณ 1% และอาจสูงขึ้นหากอากาศภายนอกมีความร้อนสูงมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 4.3 การซึมผ่านของอากาศที่ประเมินได้จากการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของก๊าซ
คาร์บอนไดออกไซด์

สถานที่เก็บ ตัวอย่าง	ขนาดห้อง โดยประมาณ (ก × ย × ส)	Infiltration Rate (m3/h)	Infiltration Rate (ACH)	Energy loss (BTU)*	% Loss**
สถานศึกษาที่ 1	10 × 10 × 4	381.4	0.95	1142	1.4%
สถานศึกษาที่ 2	15 × 15 × 4	998.5	1.11	2990	1.7%
สถานศึกษาที่ 3	7.8 × 8.25 × 4	177.7	0.79	532	1.0%
โรงแรมที่ 1	5 × 5 × 4	8.9	0.09	27	0.1%

Note: * = กำหนดให้อุณหภูมิภายนอก = 30°C และภายใน = 25°C

** = ประเมินจากปริมาณ BTU ที่สูญเสีย ต่อ ปริมาณ BTU ที่ต้องการ (ขนาดห้องกว้าง × ยาว × 800)

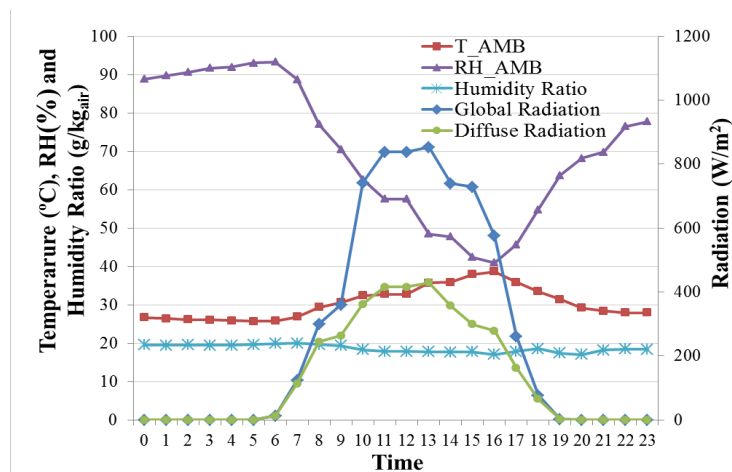
บทที่ 5 ผลการศึกษาการทำงานและภาระการทำความเย็นของ ระบบเติมอากาศแบบอิสระ

บทนี้จะกล่าวถึงผลศึกษาการจำลองระบบเติมอากาศแบบอิสระ (Dedicated Outdoor Air System: DOAS) รูปแบบต่างๆ ที่ทำงานร่วมกับเครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่ (Air Handling Unit: AHU) ผลลัพธ์ที่ได้สามารถใช้กำหนดเครื่องเติมอากาศที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานกับอาคารประเภทต่างๆ ได้แก่ อาคารสำนักงาน อาคารโรงแรม และอาคารห้างสรรพสินค้า รายละเอียดต่างๆ มีดังนี้

5.1 อาคารสำนักงาน

5.1.1 ภาระทำความเย็น

ในงานวิจัยนี้ การศึกษาระบบ DOAS เริ่มจากการพิจารณาการทำงานของระบบในลักษณะรายวัน โดยเลือกวันที่มีสภาพอากาศร้อนและชื้น รูปที่ 5.1 แสดงสภาพอากาศและปริมาณรังสีอาทิตย์ของวันที่ใช้ในการจำลอง



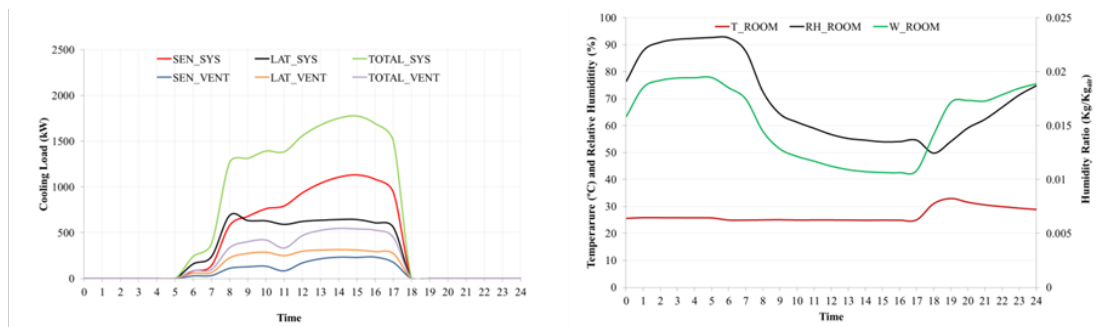
รูปที่ 5.1 สภาพอากาศและรังสีอาทิตย์ของวันที่สภาพอากาศร้อนชื้น (4 กรกฎาคม)

จากรูปจะพบว่า วันนี้มีค่ารังสีอาทิตย์สูงถึง 850 W/m² ณ เวลา 12.00 น. โดยระหว่างวันอุณหภูมิและอัตราส่วนความชื้นของอากาศสูงถึง 38°C และ 19 gw/kgda ตามลำดับ

รูปที่ 5.2 (ก) แสดงภาระทำความเย็นของอาคารสำนักงานที่ใช้ระบบปรับอากาศปกติ จะพบว่าภาระทำความเย็นเริ่มตั้งแต่ 8.00 น. ถึง 18.00 น. ตามเวลาทำการของอาคาร ภาระทำความเย็นจะสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เริ่มปรับอากาศและสูงสุดในเวลา 15:00 น. หลังจากรังสีอาทิตย์มีค่าสูงสุดประมาณ 2 ชั่วโมง ค่าภาระทำความเย็นตลอดช่วงเวลาทำการอยู่ระหว่าง 240-1775 kWth สำหรับภาระการระบายอากาศพบว่าอยู่ระหว่าง 85-550 kWth โดยส่วนใหญ่เป็นความร้อนแฝง ในขณะที่ภาระความร้อนสัมผัสจะแปรผันตามอุณหภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง

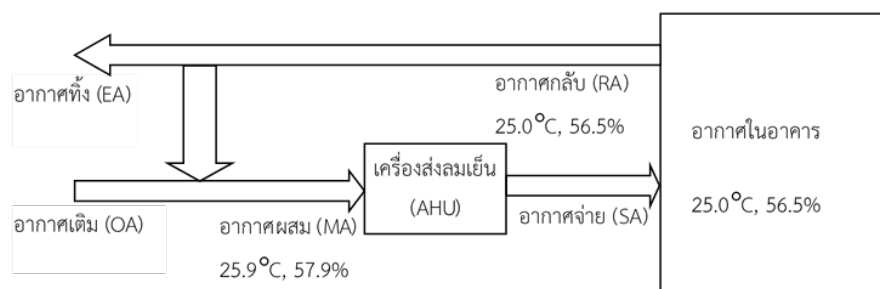
รูปที่ 5.2 (ข) แสดงสภาวะอากาศในพื้นที่ปรับอากาศ จะเห็นว่ก่อนปรับอากาศ (0.00–8.00 น.) อากาศในอาคารจะมีความชื้นสูง โดยค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 80-90%RH อัตราความชื้นอยู่ในช่วง 0.0110-0.020 kgw/kgda และมีอุณหภูมิสูงกว่าค่าอุณหภูมิที่ตั้งเพื่อปรับอากาศ (25°C) ทั้งนี้ส่วนหนึ่งเป็นผลจากการรั่วของอากาศจากภายนอกเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศ อย่างไรก็ตาม เมื่อระบบปรับอากาศทำงาน อุณหภูมิของอากาศในอาคารจะถูกควบคุมให้เท่ากับ 25°C ตามที่ตั้งไว้ ซึ่งค่อนข้างคงที่ตลอดเวลาทำการของอาคาร โดยมีค่าความชื้นสัมพัทธ์และอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 58.6%RH และ 0.0116 kgw/kgda ตามลำดับ

รูปที่ 5.3 (ค) แสดงสภาวะของอากาศ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในระบบ ณ เวลาหนึ่งของวันที่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกเท่ากับ 31.3°C และ 61.5% ตามลำดับ ในรูปเครื่องส่งลมเย็น 1 ชุดถูกใช้ในการทำหน้าที่ปรับอากาศทั้งหมด โดยการลดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายนอกก่อนจ่ายเข้าสู่อาคาร รวมถึงรับภาระความร้อนที่เกิดขึ้นจากอาคารทั้งหมด สำหรับระบบนี้จะเห็นว่า อากาศเย็นภายในอาคารจะถูกทิ้งสู่ภายนอกโดยไม่มีกรนำความเย็นคงเหลือมาใช้ประโยชน์



(ก) ภาระทำความเย็น

(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ



(ค) สภาวะอากาศในระบบ เมื่ออุณหภูมิและความชื้นอากาศภายนอก 31.3°C และ 61.5%

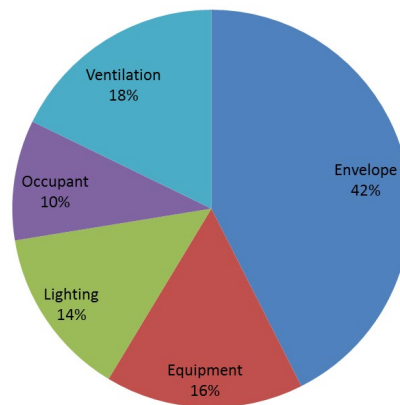
รูปที่ 5.2 สภาวะของระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป

สำหรับภาระทำความเย็นของระบบปรับอากาศสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน

ส่วนที่ 1 ภาระทำความเย็นที่เกิดจากแหล่งกำเนิดภายในอาคาร เช่น ผู้ใช้อาคาร ระบบส่องสว่าง และเครื่องมืออุปกรณ์ภายในอาคาร

ส่วนที่ 2 ภาระทำความเย็นที่เกิดจากแหล่งกำเนิดภายนอกอาคาร เช่น ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนัง อากาศรั่วไหล และอากาศที่เติมเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศในอาคาร

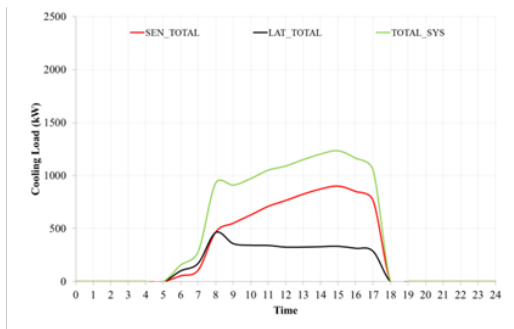
โดยอาคารสำนักงานจะมีภาระทำความเย็นที่เกิดจากการระบายอากาศและความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังเป็นภาระหลัก โดยมีสัดส่วนอยู่ที่ 18% และ 42% ตามลำดับ ของภาระทำความเย็นทั้งหมดตามลำดับ สำหรับภาระทำความเย็นอื่นๆ สามารถแสดงดังรูปที่ 5.3 อนึ่งค่าความร้อนจากผนังอาคารที่มีสัดส่วนค่อนข้างต่ำเป็นผลจากลักษณะอาคารที่มีสัดส่วนพื้นที่ผนังต่อพื้นที่ใช้สอยต่ำ (พื้นที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส)



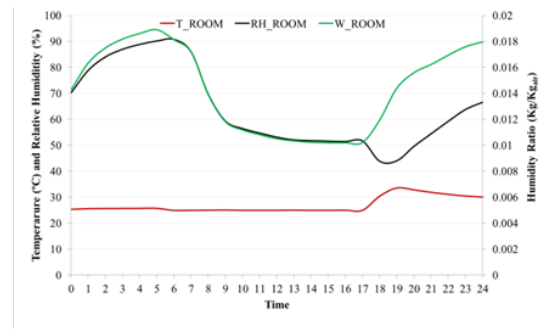
รูปที่ 5.3 สัดส่วนภาระทำความเย็นของอาคารสำนักงานตัวอย่าง

รูปที่ 5.4 (ก) และ (ข) แสดงภาระทำความเย็นและสภาวะอากาศภายในอาคารของระบบปรับอากาศปกติที่สมมุติให้มีการปิดระบบระบายอากาศ จะให้เห็นว่าภาระทำความเย็นทั้งระบบลดลงประมาณ 30% โดยมีค่าภาระทำความเย็นอยู่ในช่วง 160-1230 kW_{th} สภาวะอากาศภายในมีค่าความชื้นสัมพัทธ์และอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 55.2%RH และ 0.0109 kg_w/kg_{da} ตามลำดับ ซึ่งแห้งกว่าระบบปรับอากาศทั่วไป อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาจากคุณภาพอากาศร่วมด้วย พบว่า การปิดระบบปรับอากาศจะทำให้คุณภาพอากาศภายในมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

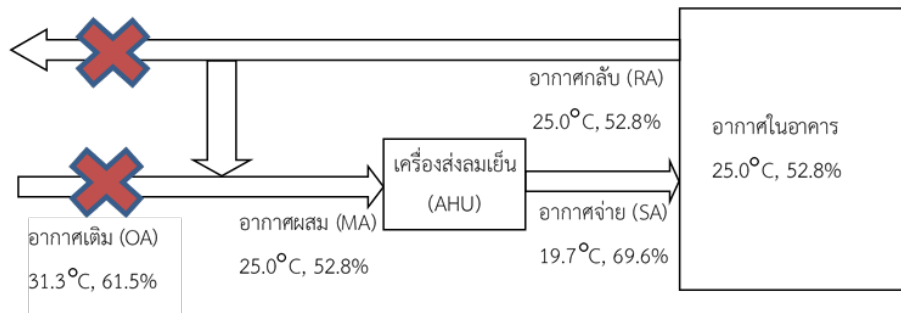
รูปที่ 5.4 (ค) แสดงสภาวะของอากาศ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในระบบ ณ เวลาหนึ่งของวันที่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกเท่ากับ 31.3°C และ 61.5% ตามลำดับ จะเห็นว่าในกรณีนี้เครื่องส่งลมเย็นไม่มีการรับภาระของอากาศเดิมจากภายนอกทำให้โหลดความร้อนของระบบลดลง



(ก) ภาระทำความเย็น



(ข) สภาพอากาศในพื้นที่ปรับอากาศ



(ค) สภาพอากาศในระบบ เมื่ออุณหภูมิและความชื้นอากาศภายนอก 31.3°C และ 61.5%

รูปที่ 5.4 สภาพของระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป (ปิดระบบระบายอากาศ)

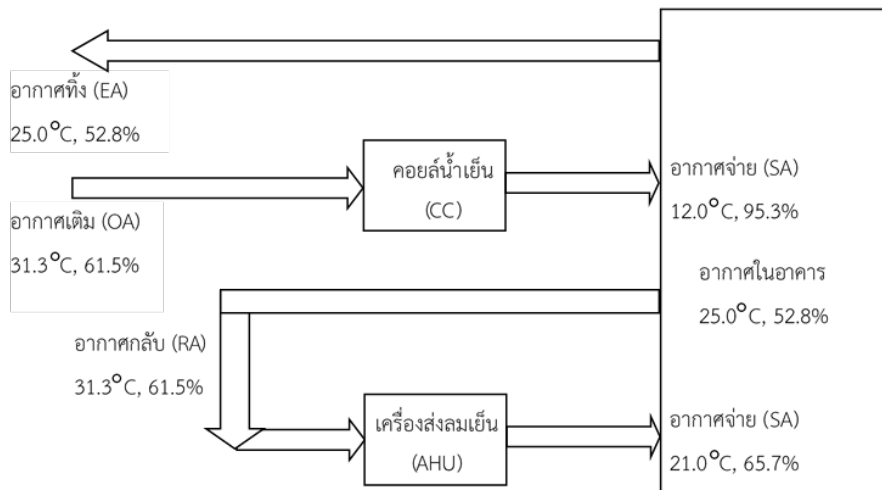
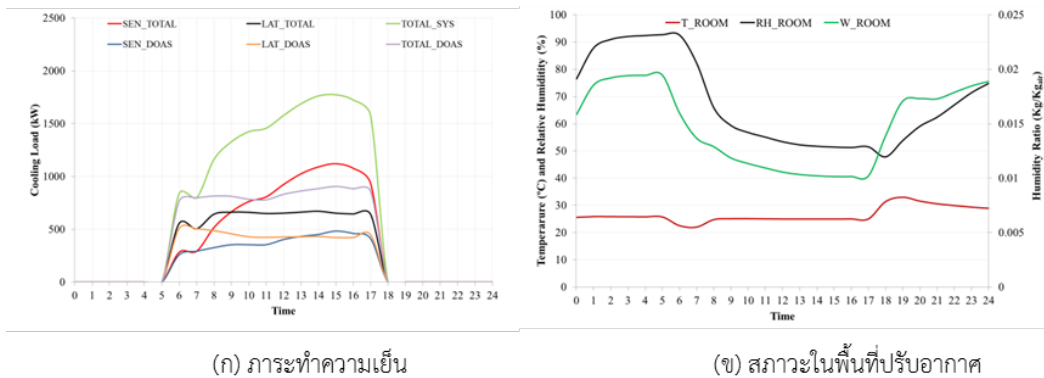
5.1.2 ระบบเติมอากาศแบบอิสระ

เครื่องเติมอากาศอิสระทุกรูปแบบที่นำมาพิจารณาถูกกำหนดให้มีการระบายอากาศที่เพียงพอสำหรับคุณภาพอากาศที่ดีภายในอาคารโดยทำงานร่วมกับเครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่ซึ่งมีความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในพื้นที่ให้คงที่ที่ 25°C ดังนั้น ในการเปรียบเทียบความสามารถการทำงานของเครื่องเติมอากาศอิสระรูปแบบต่างๆ ด้านหนึ่งจะพิจารณาจากอัตราส่วนความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในพื้นที่ปรับอากาศตลอดช่วงเวลาทำการของอาคาร รวมถึงการใช้พลังงานโดยรวมของทั้งระบบ

รูปที่ 5.5 (ก) และ (ข) แสดงภาระทำความเย็นและสภาวะอากาศภายในอาคารของระบบที่ใช้เครื่องเติมอากาศซึ่งมีเฉพาะคอยล์น้ำเย็นเท่านั้น (FC) จะเห็นว่า ระบบนี้มีค่าภาระทำความเย็นทั้งระบบสูงกว่าระบบปรับอากาศปกติเล็กน้อย

เมื่อพิจารณาภาระทำความเย็นที่เครื่องเติมอากาศพบว่ามีสัดส่วน 40-45% (770-900 kW_{th}) ของภาระทำความเย็นทั้งหมด ทั้งนี้เป็นเพราะเครื่องเติมอากาศจะปรับภาวะอากาศภายนอกให้ได้อุณหภูมิ 12°C (ความชื้นสัมพัทธ์ใกล้เคียง 100% และอุณหภูมิควบแน่น 12°C) ก่อนจ่ายเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศ ดังนั้น เครื่องเติมอากาศจึงรับภาระความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารเข้าไปด้วย และด้วยเหตุนี้ขนาดของเครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่จึงเล็กลง

เมื่อพิจารณาความชื้นสัมพัทธ์และอัตราส่วนความชื้นของอากาศในอาคารเฉลี่ยตลอดเวลาทำการพบว่าอยู่ที่ 54.8%RH และ 0.0109 kg_w/kg_{da} ระบบนี้จึงมีความสามารถในการลดความชื้นที่ดีกว่าระบบปรับอากาศปกติทั่วไป



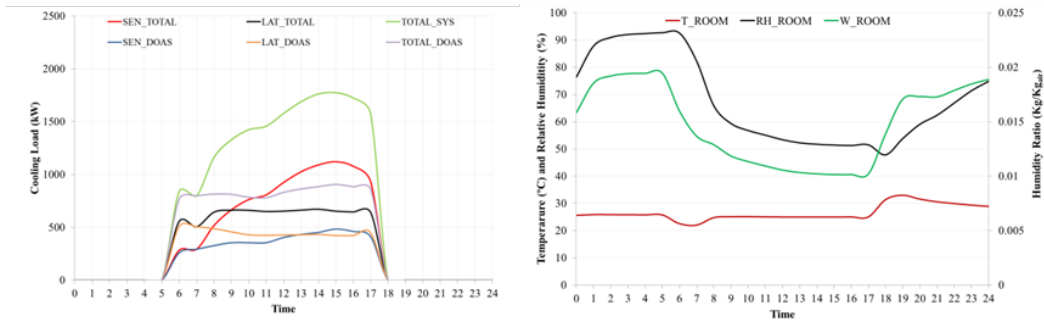
(ค) สภาวะอากาศในระบบ เมื่ออุณหภูมิและความชื้นอากาศภายนอก 31.3°C และ 61.5%

รูปที่ 5.5 สภาวะของระบบที่มีเครื่องเดิมอากาศแบบมีคอยล์น้ำเย็นเท่านั้น (CC)

รูปที่ 5.5 (ค) แสดงให้เห็นว่าในตอนนี้อย่างไรก็ตามเครื่องส่งลมเย็นรับภาระทำความเย็นลดลงทั้งในส่วนของการร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง อุณหภูมิอากาศจ่ายเข้าสู่อาคารสูงขึ้นอย่างมีนัย (21°C) เมื่อเทียบกับสองกรณีแรก

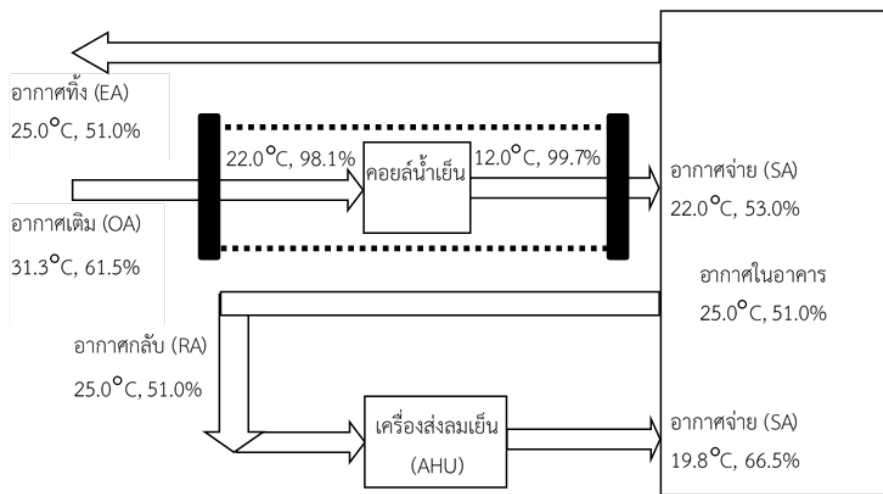
รูปที่ 5.6 แสดงภาระปรับอากาศและสภาวะอากาศในอาคารของระบบที่เครื่องเดิมอากาศใช้คอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวด์คอยล์ สำหรับระบบนี้ที่อุณหภูมิที่ออกจากคอยล์ยังคงกำหนดที่ 12°C โดยภาระทำความเย็นของเครื่องเดิมอากาศรูปแบบนี้จะอยู่ที่ 565-640 kW_{th} ต่ำกว่าเครื่องเดิมอากาศแบบคอยล์เย็น (แบบแรก) ประมาณ 27-28% นอกจากนี้ ค่าภาระทำความเย็นที่เกิดจากความร้อนแฝงของเครื่องเดิมอากาศรูปแบบนี้มีค่าน้อยกว่า แสดงถึงการเกิดการควบแน่นของไอน้ำในอากาศภายนอกเมื่อเข้าสู่รันอะราวด์คอยล์ ทำให้มีความชื้นสัมพัทธ์และอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยภายในพื้นที่ปรับอากาศตลอดเวลาทำการอยู่ที่ 52.3%RH

และ $0.0104 \text{ kg}_w/\text{kg}_{da}$ ระบบนี้มีค่าภาระทำความเย็นทั้งระบบที่ใกล้เคียงกับระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบมีเฉพาะคอยล์เย็น แต่มีขนาดของเครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่ที่ใหญ่กว่าเล็กน้อย



(ก) ภาระทำความเย็น

(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

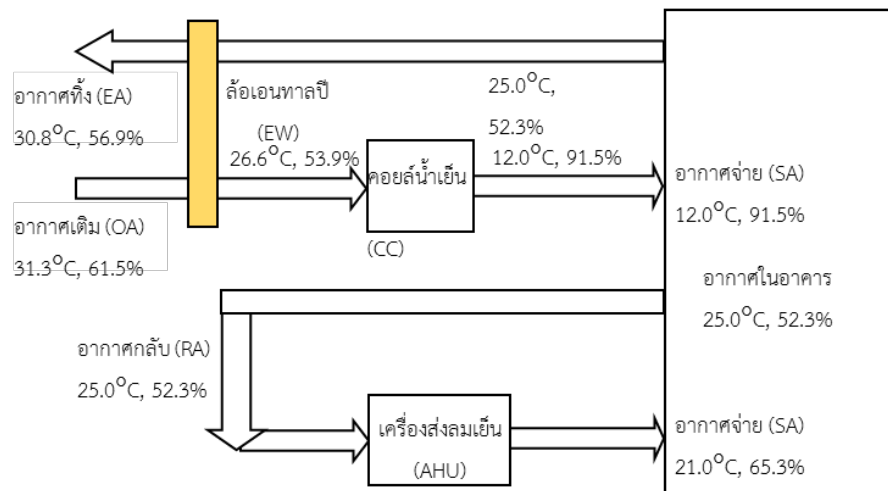
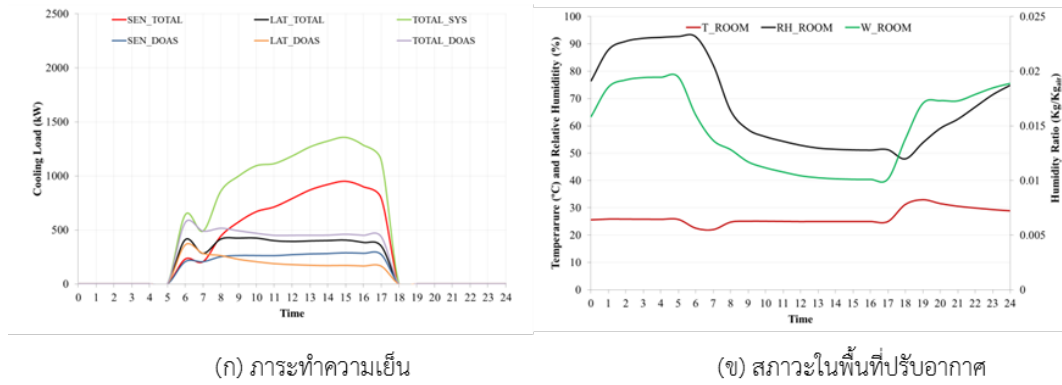


(ค) สภาวะอากาศในระบบ เมื่ออุณหภูมิและความชื้นอากาศภายนอก 31.3°C และ 61.5%

รูปที่ 5.6 สภาวะของระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวด์คอยล์ (RC)

รูปที่ 5.6 (ค) แสดงภาวะของอากาศ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในระบบเติมอากาศแบบอิสระชนิดใช้คอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวด์คอยล์ (RC) จะเห็นว่าอากาศที่จ่ายเข้าอาคารมีอุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อเทียบกับเครื่องเติมอากาศแบบ FC และที่เครื่องส่งลมเย็น อากาศถูกจ่ายเข้าอาคารที่ 19.8°C ต่ำกว่าแบบ FC (21.0°C) เพราะต้องการความร้อนจากอาคารมากขึ้น

รูปที่ 5.7 (ก) และ (ข) แสดงภาระทำความเย็นและสภาวะอากาศภายในอาคารของระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบใช้คอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน ภาระทำความเย็นของเครื่องเติมอากาศทั้งที่เกิดจากความร้อนแฝงและความร้อนสัมผัสลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน โดยภาระทำความเย็นของเครื่องเติมอากาศมีค่า 440-570 kW_{th} ลดลงประมาณ 22% เทียบกับระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวด์คอยล์ ทำให้ภาระทำความเย็นทั้งระบบมีค่าลดลงตามไปด้วย โดยที่สภาวะภายในมีความชื้นสัมพัทธ์และอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาทำการอยู่ที่ 54.4 %RH และ 0.0108 kgw/kgda

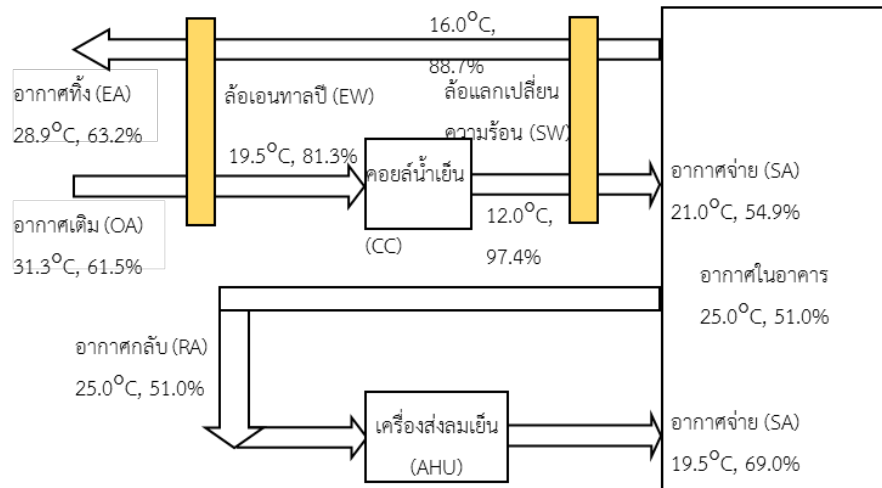
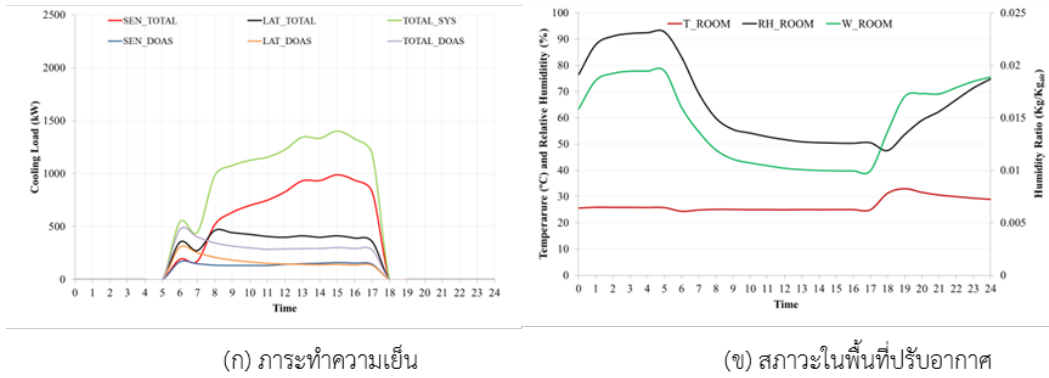


(ค) สภาวะอากาศในระบบ เมื่ออุณหภูมิและความชื้นอากาศภายนอก 31.3°C และ 61.5%

รูปที่ 5.7 สภาวะของระบบเมื่อมีเครื่องเดิมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน

รูปที่ 5.7 (ค) แสดงภาวะอากาศ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในระบบ จะเห็นว่าเครื่องแลกเปลี่ยนเอนทาลปีสามารถถ่ายโอนความเย็นคงเหลือของอากาศทิ้งให้กับอากาศเดิมก่อนผ่านเข้าคอยล์น้ำเย็น อุณหภูมิของอากาศเดิมลดลงอย่างมากจาก 31.1°C เป็น 26.6°C รวมทั้งความชื้นของอากาศเดิมก็ลดลงด้วย ในระบบนี้ อุณหภูมิอากาศทิ้งสู่นอกอาคารหลังภายหลังเครื่องแลกเปลี่ยนเอนทาลปีต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเล็กน้อย

รูปที่ 5.8 แสดงภาระทำความเย็นและสภาวะภายในของระบบที่มีเครื่องเดิมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน ผลจากการจำลองพบว่าเมื่อมีการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มเข้ามามีผลทำให้ภาระของเครื่องเดิมอากาศลดลงเมื่อเทียบกับระบบที่มีเครื่องเดิมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตาม ระบบนี้จะมีขนาดเครื่องปรับอากาศในพื้นที่ที่ใหญ่กว่า แต่จะมีภาระทำความเย็นทั้งระบบที่ใกล้เคียงกัน สำหรับสภาวะภายในมีความชื้นสัมพัทธ์และอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาทำการอยู่ที่ 52.7%RH และ 0.0104 kg_w/kg_{da}



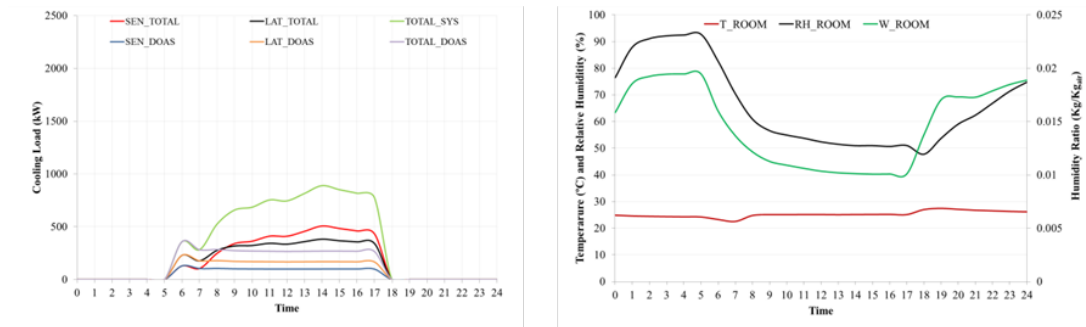
(ค) สภาวะอากาศในระบบ เมื่ออุณหภูมิและความชื้นอากาศภายนอก 31.3°C และ 61.5%

รูปที่ 5.8 สภาวะของระบบเมื่อมีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยน
พลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน

รูปที่ 5.8 (ค) แสดงสภาวะอากาศ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในระบบเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน จะเห็นว่าล้อแลกเปลี่ยนความร้อนจะทำให้อากาศก่อนจ่ายเข้าห้องมีอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เครื่องส่งลมเย็นต้องจ่ายลมที่มีอุณหภูมิต่ำลง เพื่อรองรับโหลดที่เพิ่มขึ้นเทียบกับกรณีที่มีเฉพาะคอยล์น้ำเย็นและเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงาน

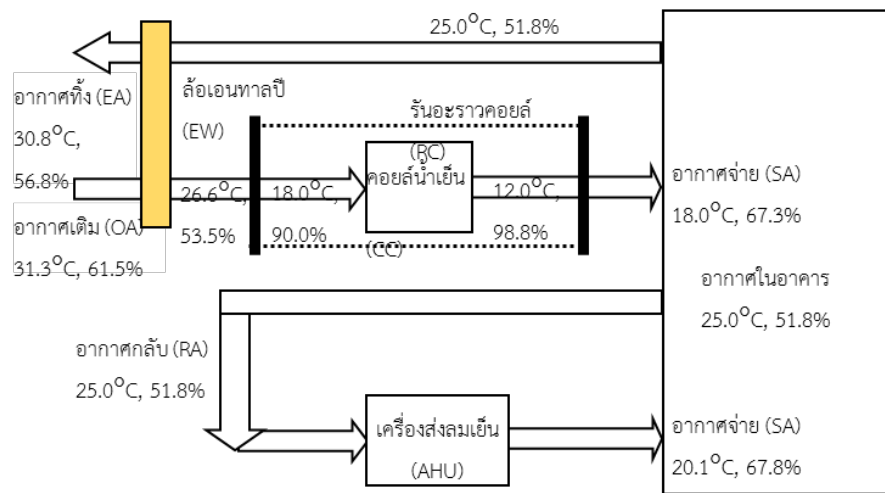
รูปที่ 5.9 (ก) และ (ข) แสดงภาระทำความเย็นและสภาวะอากาศภายในอาคารที่ใช้ระบบปรับอากาศที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและรั่นอะราวด์คอยล์ จะเห็นว่าระบบนี้มีภาระทำความเย็นของเครื่องเติมอากาศอยู่ที่ 270-370 kW_{th} ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับเครื่องเติมอากาศรูปแบบอื่นๆ และเมื่อเปรียบเทียบเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน พบว่า การใช้รั่นอะราวด์คอยล์สามารถลดภาระทำความเย็นที่เกิดจากความร้อนสัมผัสลงได้อีกเล็กน้อย สำหรับสภาวะภายในมีความชื้นสัมพัทธ์และอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาทำการอยู่ที่ 53.3%RH และ 0.0106 kg_w/kg_{da}

รูปที่ 5.9 (ค) แสดงสภาวะอากาศของเครื่องเติมอากาศแบบคอล์ยเย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและรันอะราวด์คอล์ย จะเห็นว่าเมื่อเทียบกับกรณีข้างต้น (รูปที่ 5.8 (ค)) ระบบนี้สามารถลดความชื้นของอากาศเติมลงได้มากกว่า



(ก) ภาระทำความเย็น

(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ



(ค) สภาวะอากาศในระบบ เมื่ออุณหภูมิและความชื้นอากาศภายนอก 31.3°C และ 61.5%

รูปที่ 5.9 สภาวะของระบบเมื่อมีเครื่องเติมอากาศแบบคอล์ยเย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและรันอะราวด์คอล์ย

5.1.3 ภาระการทำความเย็นทั้งปี

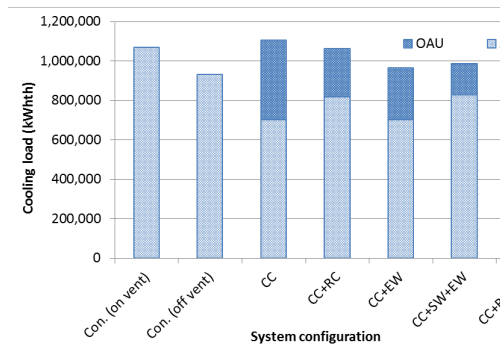
ภาระการทำความเย็นตลอดทั้งปีเป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่น่าสนใจใช้วิเคราะห์รูปแบบเครื่องเติมอากาศที่เหมาะสมรวมถึงประสิทธิภาพพลังงานภายใต้สภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานครตลอดทั้งปี โดยภาระการทำความเย็นของระบบต่างๆ แสดงดังตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.10

ตารางที่ 5.1 การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศสำหรับอาคารสำนักงานตัวอย่าง

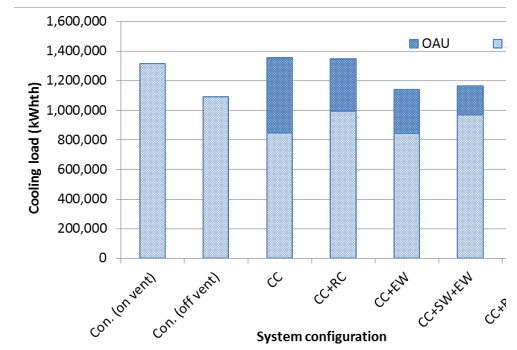
ระบบ	สภาพอากาศ	ภาระทำความเย็น (kWth)			ขนาดเครื่อง (kWth)	
		เครื่องส่งลมเย็น	เครื่องเติมอากาศ	ทั้งระบบ	เครื่องส่งลมเย็น	เครื่องเติมอากาศ
ระบบปกติ	เย็นและแห้ง	1,069,652.22	-	1,069,652.22	2,961.4	0
	ร้อนและแห้ง	1,316,424.97	-	1,316,424.97		
	ร้อนและชื้น	960,121.98	-	960,121.98		
	เย็นและชื้น	944,576.09	-	944,576.09		
	ทั้งปี	4,290,775.26	-	4,290,775.26		
ระบบปกติ (ปิดระบบระบายอากาศ)	เย็นและแห้ง	932,213.25	-	932,213.25	2,483.2	0
	ร้อนและแห้ง	1,090,005.20	-	1,090,005.20		
	ร้อนและชื้น	794,364.48	-	794,364.48		
	เย็นและชื้น	785,845.30	-	785,845.30		
	ทั้งปี	3,601,305.50	-	3,601,305.50		
DOAS #1	เย็นและแห้ง	703,371.11	402,583.38	1,105,954.49	2,115.6	537.7
	ร้อนและแห้ง	845,194.51	511,988.65	1,357,183.15		
	ร้อนและชื้น	621,064.96	370,374.48	991,439.45		
	เย็นและชื้น	609,551.90	369,798.74	979,350.64		
	ทั้งปี	2,779,182.49	1,654,745.25	4,433,927.74		
DOAS #2	เย็นและแห้ง	819,649.74	243,663.73	1,063,313.47	2,237.4	394.6
	ร้อนและแห้ง	992,517.91	356,582.23	1,349,100.14		
	ร้อนและชื้น	720,870.54	260,268.23	981,138.77		
	เย็นและชื้น	697,881.84	260,458.95	958,340.80		

	ทั้งปี	3,230,920.03	1,120,973.14	4,351,893.17		
DOAS #3	เย็นและแห้ง	703,516.81	261,265.31	964,782.12	2,099.6	363.8
	ร้อนและแห้ง	841,218.17	300,077.56	1,141,295.73		
	ร้อนและชื้น	617,172.75	215,604.29	832,777.04		
	เย็นและชื้น	605,500.61	216,406.39	821,907.01		
	ทั้งปี	2,767,408.35	993,353.55	3,760,761.90		
DOAS #4	เย็นและแห้ง	828,277.55	156,833.38	985,110.92	2,226.8	301.8
	ร้อนและแห้ง	969,474.60	193,606.50	1,163,081.10		
	ร้อนและชื้น	699,980.71	139,794.41	839,775.12		
	เย็นและชื้น	683,421.14	140,301.28	823,722.43		
	ทั้งปี	3,181,154.01	630,535.57	3,811,689.57		
DOAS #5	เย็นและแห้ง	792,724.20	139,579.43	932,303.63	2,199.1	299.2
	ร้อนและแห้ง	928,196.01	174,547.54	1,102,743.55		
	ร้อนและชื้น	670,415.05	126,078.66	796,493.71		
	เย็นและชื้น	651,221.64	126,601.78	777,823.42		
	ทั้งปี	3,042,556.90	566,807.41	3,609,364.32		

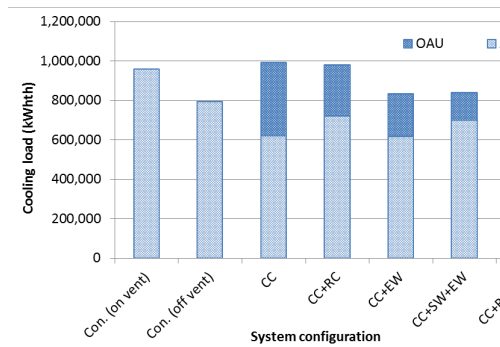
จากรูปที่ 5.10 เมื่อนำระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไปเป็นกรณีอ้างอิง พบว่ารูปแบบของเครื่องเติมอากาศที่มีเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนเป็นส่วนหนึ่งในองค์ประกอบภายในสามารถลดภาระการปรับอากาศทั้งระบบได้ 15-23% โดยระบบที่ใช้เครื่องเติมอากาศที่ประกอบด้วยคอยล์เย็น เครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและรันอะราวด์คอยล์สามารถลดภาระการปรับอากาศได้เทียบเท่ากับกรณีที่มีการปิดระบบปรับอากาศ



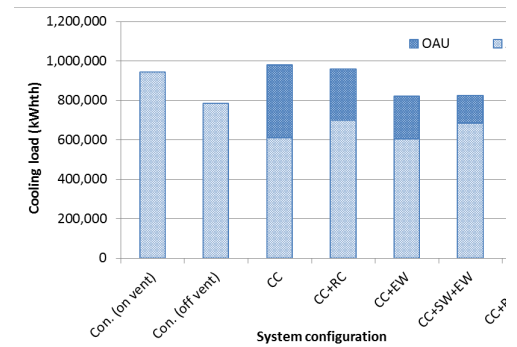
(ก) ช่วงอากาศเย็นและแห้ง



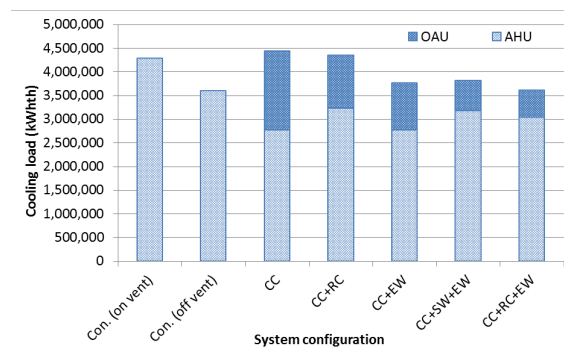
(ข) ช่วงอากาศร้อนและแห้ง



(ค) ช่วงอากาศร้อนและชื้น



(ง) ช่วงอากาศเย็นและชื้น



(จ) ตลอดทั้งปี

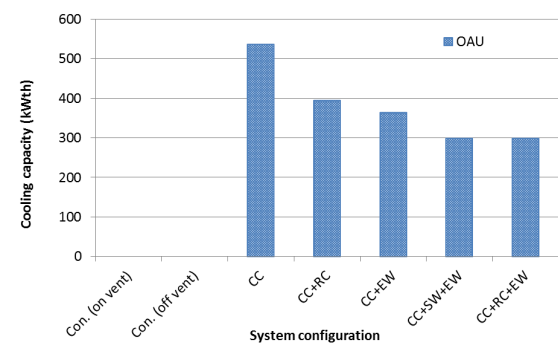
รูปที่ 5.10 การทำความเย็นของระบบปรับอากาศสำหรับอาคารสำนักงานตัวอย่าง

5.1.4 ขนาดเครื่องเติมอากาศอิสระและเครื่องปรับอากาศในพื้นที่

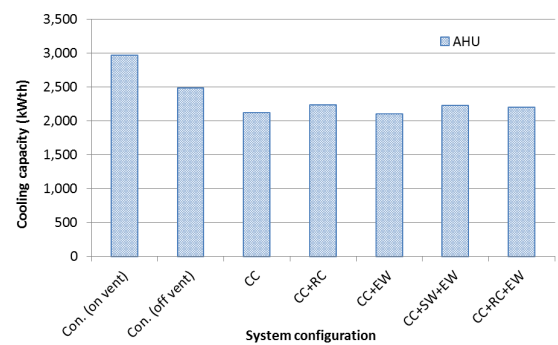
ขนาดของเครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่และเครื่องเติมอากาศแสดงได้ดังรูปที่ 5.11 โดยขนาดเครื่องนั้นหาได้จากค่าภาระทำความเย็นสูงสุดที่เกิดขึ้นที่เครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่และที่เครื่องเติมอากาศจากการจำลองระบบปรับอากาศและระบายอากาศในอาคารตัวอย่างตลอดระยะเวลา 1 ปี

จากรูปที่ 5.11(ก) พบว่า เครื่องเติมอากาศแบบที่มีเฉพาะคอยล์เย็น (FC) จะมีขนาดของคอยล์ใหญ่ที่สุด เนื่องจากไม่มีอุปกรณ์ช่วยลดเอนทัลปีของอากาศจากภายนอก คอยล์จำเป็นต้องมีขนาดใหญ่เพื่อลดอุณหภูมิอากาศให้ต่ำเพียงพอ (อุณหภูมิควบแน่นที่ 12°C) สำหรับควบแน่นน้ำและลดความชื้นในอากาศให้ได้ตามที่ต้องการ

สำหรับเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวด์คอยล์ (RC) จะมีขนาดคอยล์น้ำเย็นใหญ่ในลำดับรองลงมา ชุดรันอะราวด์คอยล์ช่วยลดเอนทัลปีและอุณหภูมิของอากาศจากภายนอกลงก่อนผ่านเข้าสู่คอยล์ ลักษณะนี้คอยล์จึงรับภาระความร้อนแฝงจากการลดความชื้นลงเป็นหลัก อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิของอากาศที่จ่ายจากเครื่องเติมอากาศแบบนี้จะสูงกว่าแบบแรกที่มีคอยล์อย่างเดียว เพราะอากาศมีการให้ความร้อนซ้ำก่อนจ่ายเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศ



(ก) เครื่องเติมอากาศอิสระ



(ข) เครื่องปรับอากาศในพื้นที่

รูปที่ 5.11 ขนาดคอยล์น้ำเย็นของระบบปรับอากาศ

ในกรณีของเครื่องเติมอากาศที่ประกอบด้วยคอยล์เย็นและเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน (EW) พบว่าขนาดของคอยล์เล็กกว่าสองแบบแรก ผลของการนำความร้อนกลับมาใช้ด้วยการถ่ายโอนความร้อนที่มีในอากาศทิ้งให้กับอากาศเดิมก่อนจ่ายเข้าสู่อาคารทำให้สามารถลดได้ทั้งการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศและขนาดของคอยล์น้ำเย็น

สำหรับเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนแบบหมุน (EW+SW) ขนาดคอยล์น้ำเย็นจะเล็กลงไปอีกเนื่องจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัสแบบหมุนที่ทำหน้าที่ให้ความร้อนซ้ำแก่อากาศบริสุทธิ์โดยการดึงความร้อนจากอากาศระบายทิ้ง ส่งผลทำให้เอนทัลปีของอากาศระบายทิ้งมีค่าต่ำลง จึงทำให้เอนทัลปีของอากาศเดิมต่ำกว่าแบบที่สามที่ใช้คอยล์ร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงาน

จากรูปที่ 5.11(ก) จะเห็นว่าเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและรันอะราวด์คอยล์ (EW+RC) มีขนาดคอยล์เย็นใกล้เคียงกับแบบที่สี่ (EW+SW) ทั้งนี้เป็นเพราะชุดรันอะราวด์คอยล์ช่วยลดเอนทาลปีของอากาศเติมต่ำลงไปอีกหลังจากที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนมาแล้ว

เมื่อพิจารณารูปที่ 5.11 (ข) พบว่า เครื่องปรับอากาศในพื้นที่แบบ AC และ AC (NO VENT) เป็นระบบที่มีขนาดเครื่องใหญ่ที่สุด เนื่องจากเครื่องปรับอากาศในพื้นที่ต้องสามารถรับภาระทำความเย็นได้ทั้งหมดทั้งจากอากาศภายนอก อากาศรั่วไหลและอากาศหมุนเวียน สำหรับระบบปรับอากาศที่มีเครื่องเติมอากาศขนาดของเครื่องปรับอากาศในพื้นที่มีขนาดใกล้เคียงกันทั้งหมด โดยระบบที่ใช้ชุดรันอะราวด์คอยล์จะมีขนาดใหญ่กว่าเล็กน้อย

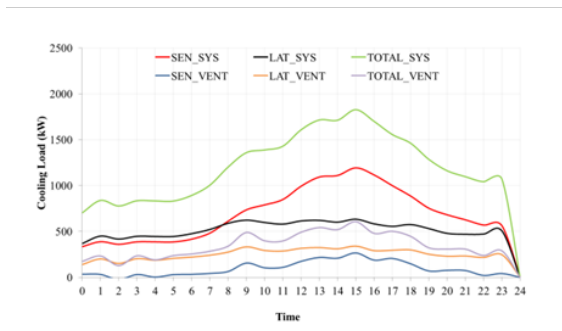
5.2 อาคารโรงแรม

5.2.1 ภาระทำความเย็น

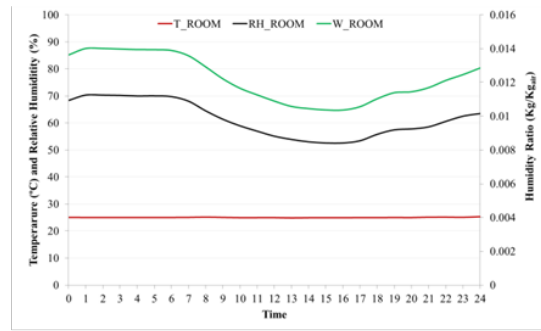
สำหรับอาคารโรงแรม ภาระทำความเย็นจะต่างไปจากอาคารสำนักงาน โดยภาระทำความเย็นของโรงแรมจะเกิดขึ้นตลอดทั้งวัน เนื่องจากลักษณะการใช้งานที่มีผู้ใช้งานทั้งช่วงกลางวันและกลางคืนจึงต้องปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง เพื่อสร้างความสบายเชิงอุณหภูมิและคุณภาพอากาศที่ดีสำหรับผู้ใช้อาคาร

รูปที่ 5.12 (ก) แสดงภาระทำความเย็นของอาคารโรงแรมที่ปรับอากาศด้วยระบบปรับอากาศปกติในวันที่อากาศร้อนและชื้น (รูปที่ 5.1) ซึ่งพบว่าภาระทำความเย็นของอาคารโรงแรมตลอดช่วงเวลาทำการจะอยู่ในช่วง 700–1830 kW_{th} โดยภาระทำความเย็นสูงสุด (1830 kW_{th}) มีค่าสูงกว่ากรณีอาคารสำนักงาน (1775 kW_{th}) เนื่องจากระดับการใช้งานของระบบแสงสว่างและของเครื่องมือและอุปกรณ์ภายในอาคารที่สูงกว่า นอกจากนี้ยังพบว่า ภาระทำความเย็นที่เกิดจากการระบายอากาศจะแปรผันตามอุณหภูมิและความชื้นในอากาศรวมถึงการแผ่รังสีอาทิตย์โดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 600 kW_{th}

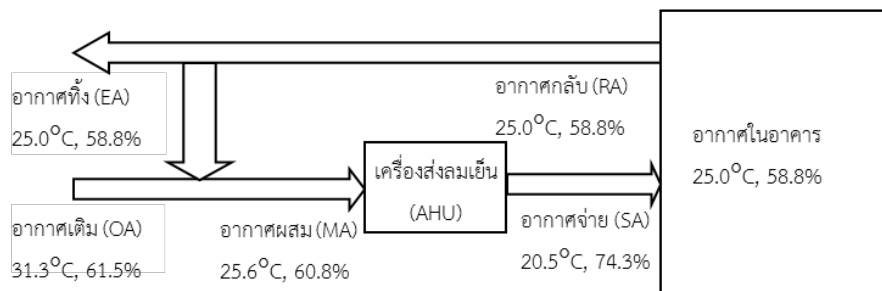
รูปที่ 5.12 (ข) แสดงสภาวะอากาศในของพื้นที่ปรับอากาศที่ปรับอากาศด้วยระบบปรับอากาศปกติ จะเห็นว่า ระบบปรับอากาศดังกล่าวมีความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิภายในพื้นที่ให้คงที่ที่ 25°C โดยสภาวะอากาศในพื้นที่ปรับอากาศจะมีความชื้นสูงในช่วงเช้ามืดและต่ำลงในเวลากลางวัน โดยมีความชื้นสัมพัทธ์และอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาทำการอยู่ที่ 61.3%RH และ 0.0122 kg_w/kg_{da} ตามลำดับ



(ก) ภาระทำความเย็น



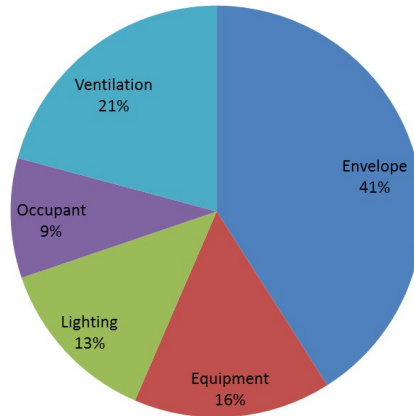
(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ



(ค) สภาวะอากาศในระบบ เมื่ออุณหภูมิและความชื้นอากาศภายนอก 31.3°C และ 61.5%

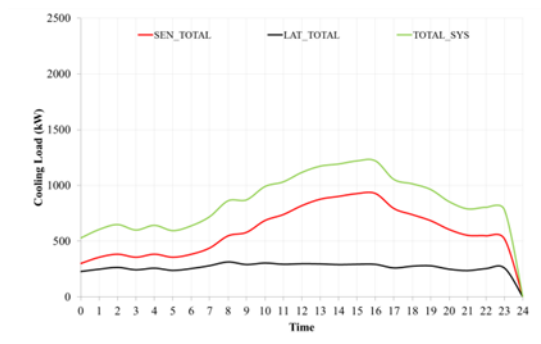
รูปที่ 5.12 ระบบปรับอากาศและระบายอากาศปกติ

เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนภาระทำความเย็นระหว่างอาคารโรงแรมและอาคารสำนักงานที่จำลองขึ้นพบว่า ภาระทำความเย็นหลักมาจากปัจจัยเดียวกัน คือ การระบายอากาศและความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนัง โดยมีสัดส่วนภาระทำความเย็นอยู่ที่ 21% และ 41% ตามลำดับ จากภาระทำความเย็นทั้งหมดตามลำดับ แต่สัดส่วนของภาระทำความเย็นที่เกิดจากการระบายอากาศของอาคารโรงแรมจะมีค่ามากกว่าเนื่องจากต้องระบายอากาศตลอดทั้ง 24 ชั่วโมง ขณะที่สัดส่วนภาระทำความเย็นที่มาจากผู้ใช้อาคารจะน้อยลงเนื่องจาก อัตราความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารที่น้อยกว่า สำหรับปัจจัยภาระการทำความเย็นอื่นจะมีค่าใกล้เคียงกันดังรูปที่ 5.13

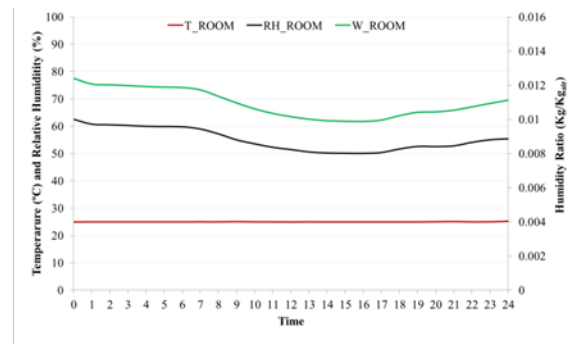


รูปที่ 5.13 สัดส่วนของภาระทำความเย็น

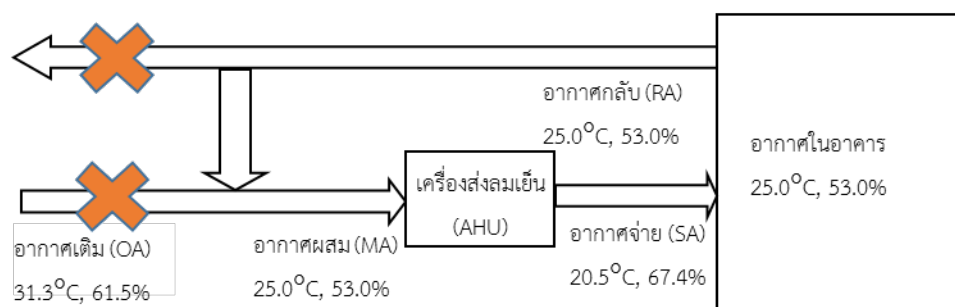
รูปที่ 5.14 แสดงภาระทำความเย็นและสภาวะอากาศในอาคารกรณีการปิดระบบระบายอากาศ พบว่าลักษณะการทำงานมีแนวโน้มเหมือนกับอาคารสำนักงาน โดยภาระทำความเย็นทั้งระบบลดลง 25-33% และมีค่าภาระทำความเย็นอยู่ในช่วง 530-1220 kW_{th} โดยมีค่าความชื้นสัมพัทธ์และอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาทำการอยู่ที่ 55.1%RH และ 0.0109 kg_w/kg_{da} แต่ไม่สามารถให้คุณภาพอากาศภายในที่ดีได้



(ก) ภาระทำความเย็น



(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ



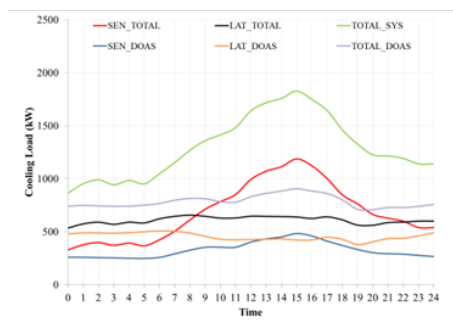
(ค) สภาวะอากาศในระบบ เมื่ออุณหภูมิและความชื้นอากาศภายนอก 31.3°C และ 61.5%

รูปที่ 5.14 ระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป (ปิดระบบระบายอากาศ)

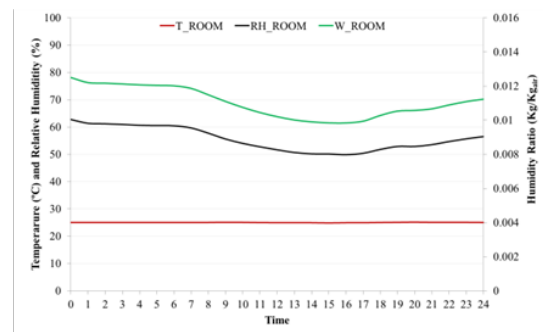
5.2.2 ระบบเติมอากาศอิสระ

ในการเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องเติมอากาศอิสระรูปแบบต่างๆ สำหรับอาคารโรงแรมจะพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ เช่นเดียวกันกับอาคารสำนักงาน

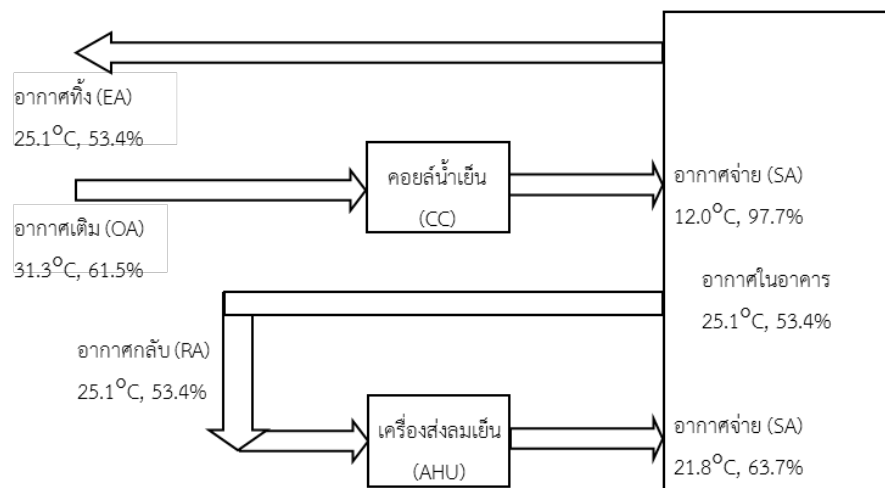
รูปที่ 5.15 แสดงภาระทำความเย็นและสภาวะอากาศภายในอาคารของระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็น จะเห็นว่า ระบบนี้มีค่าภาระทำความเย็นทั้งระบบสูงกว่าระบบปรับอากาศทั่วไปเล็กน้อย โดยบางช่วงของการปรับอากาศที่เติมจากเครื่องเติมอากาศสามารถจัดความร้อนสัมผัสออกจากพื้นที่ได้เกือบทั้งหมด เนื่องจากอัตราความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารน้อยกว่าและยังทำให้ขนาดของเครื่องปรับอากาศในพื้นที่มีขนาดเล็กลงเมื่อเทียบกับระบบปรับอากาศทั่วไป เนื่องจาก เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้จะปรับอากาศภายนอกให้อยู่ที่อุณหภูมิ 12°C ก่อนจ่ายอากาศเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศ โดยภาระทำความเย็นของเครื่องเติมอากาศคิดเป็น 57% จากภาระทำความเย็นทั้งหมด ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์และอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาทำการอยู่ที่ 55.5%RH และ $0.0110 \text{ kg}_w/\text{kg}_{da}$ ระบบนี้มีความสามารถในการลดความชื้นที่ดีกว่าระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป



(ก) ภาระทำความเย็น



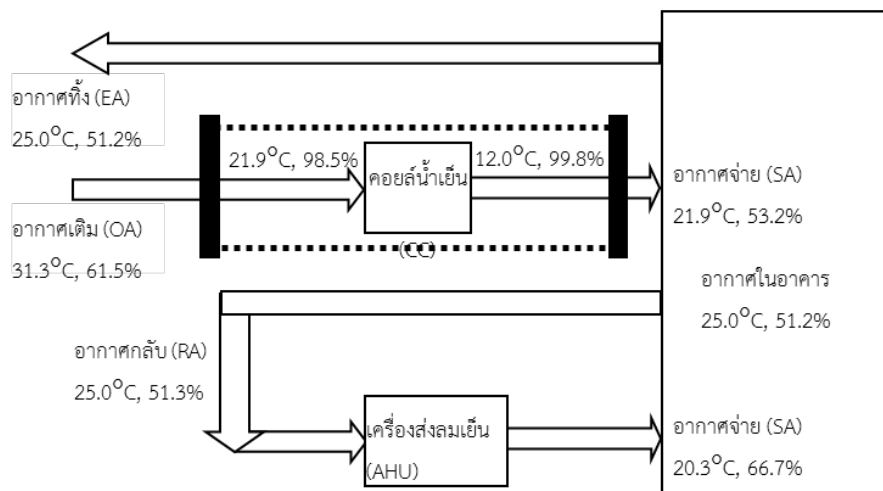
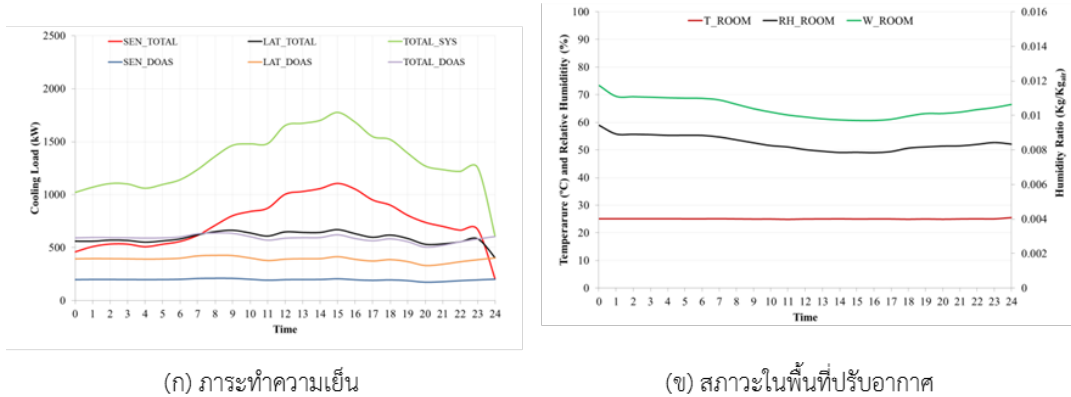
(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ



(ค) สภาวะอากาศในระบบ เมื่ออุณหภูมิและความชื้นอากาศภายนอก 31.3°C และ 61.5%

รูปที่ 5.15 สภาวะของระบบเมื่อมีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็น

รูปที่ 5.16 แสดงภาระทำความเย็นและสภาวะอากาศในอาคารของระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวด์คอยล์ จะเห็นว่าเมื่อมีการใช้รันอะราวด์คอยล์พรีคูลอากาศ (air precooling) ก่อนเข้าสู่คอยล์เย็น ทำให้สามารถลดภาระทำความเย็นที่เครื่องเติมอากาศได้ 25% เหมือนกรณีของอาคารสำนักงาน โดยภาระทำความเย็นของเครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้จะอยู่ที่ 500-640 kW_{th} โดยมีความชื้นสัมพัทธ์และอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยภายในพื้นที่ปรับอากาศตลอดช่วงเวลาทำการอยู่ที่ 52.5%RH และ 0.0104 kg_w/kg_{da} ระบบนี้ยังคงมีภาระทำความเย็นทั้งระบบใกล้เคียงกับระบบที่ใช้เครื่องเติมอากาศมีเฉพาะคอยล์เย็นแต่มีขนาดของเครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่ที่ใหญ่กว่าเล็กน้อย

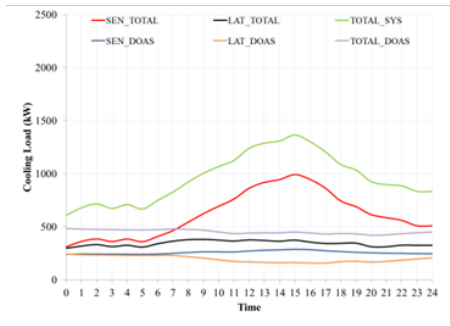


(ค) สภาวะอากาศในระบบ เมื่ออุณหภูมิและความชื้นอากาศภายนอก 31.3°C และ 61.5%

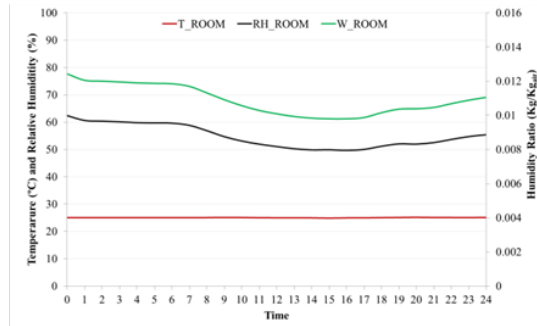
รูปที่ 5.16 สภาวะของระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวด์คอยล์

รูปที่ 5.17 แสดงภาระทำความเย็นและสภาวะอากาศในอาคารของระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน ภาระทำความเย็นของเครื่องเติมอากาศทั้งที่เกิดจากความร้อนแฝงและความร้อนสัมผัสลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานดังกล่าว โดยภาระทำความเย็นของเครื่องเติมอากาศมีค่า 420-485 kW_{th} ลดลงประมาณ 16-24% โดยที่สภาวะอากาศ

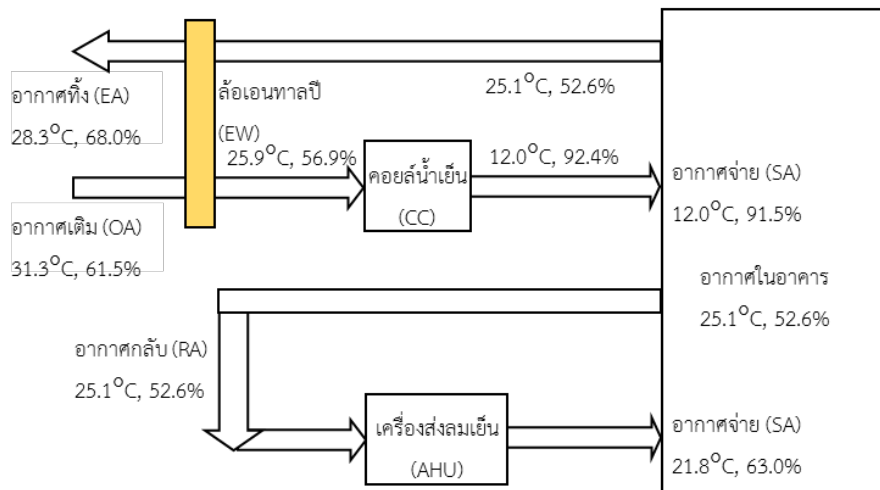
ภายในมีความชื้นสัมพัทธ์และอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาทำการอยู่ที่ 54.8 %RH และ 0.0109 $\text{kg}_w/\text{kg}_{da}$



(ก) ภาระทำความเย็น



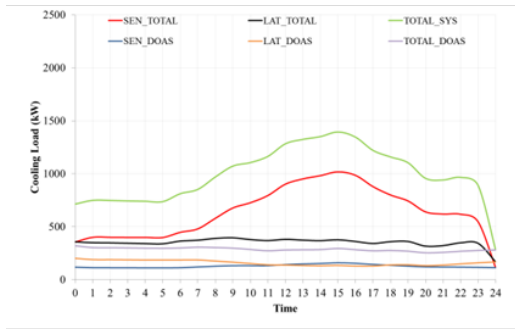
(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ



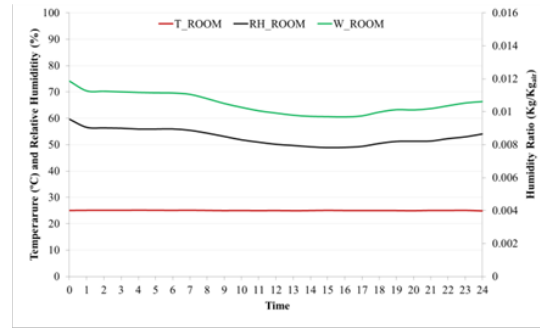
(ค) สภาวะอากาศในระบบ เมื่ออุณหภูมิและความชื้นอากาศภายนอก 31.3°C และ 61.5%

รูปที่ 5.17 สภาวะของระบบเมื่อมีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน

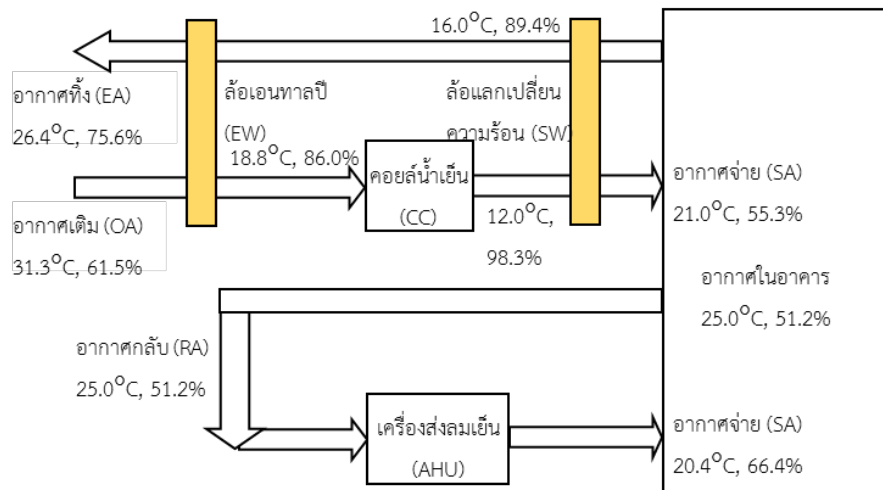
รูปที่ 5.18 แสดงภาระทำความเย็นและสภาวะอากาศในอาคารของระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน ผลการจำลองที่ได้มีแนวโน้มเหมือนอาคารสำนักงาน โดยพบว่า เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบหมุนจะสามารถลดภาระทำความเย็นของเครื่องเติมอากาศลงได้ อย่างไรก็ตามระบบนี้จะมีขนาดเครื่องปรับอากาศในพื้นที่ที่ใหญ่กว่า แต่จะมีภาระทำความเย็นทั้งระบบที่ใกล้เคียงกัน สำหรับสภาวะภายในมีความชื้นสัมพัทธ์และอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาทำการอยู่ที่ 52.8%RH และ 0.0105 $\text{kg}_w/\text{kg}_{da}$



(ก) ภาระทำความเย็น



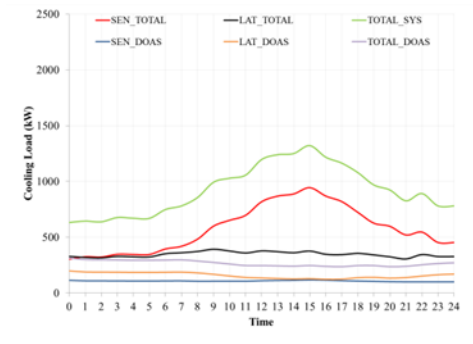
(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ



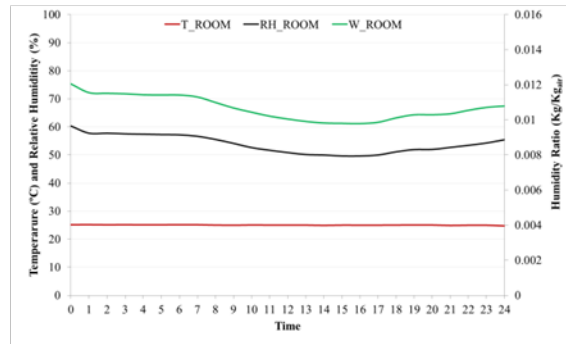
(ค) สภาวะอากาศในระบบ เมื่ออุณหภูมิและความชื้นอากาศภายนอก 31.3°C และ 61.5%

รูปที่ 5.18 สภาวะของระบบเมื่อมีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน

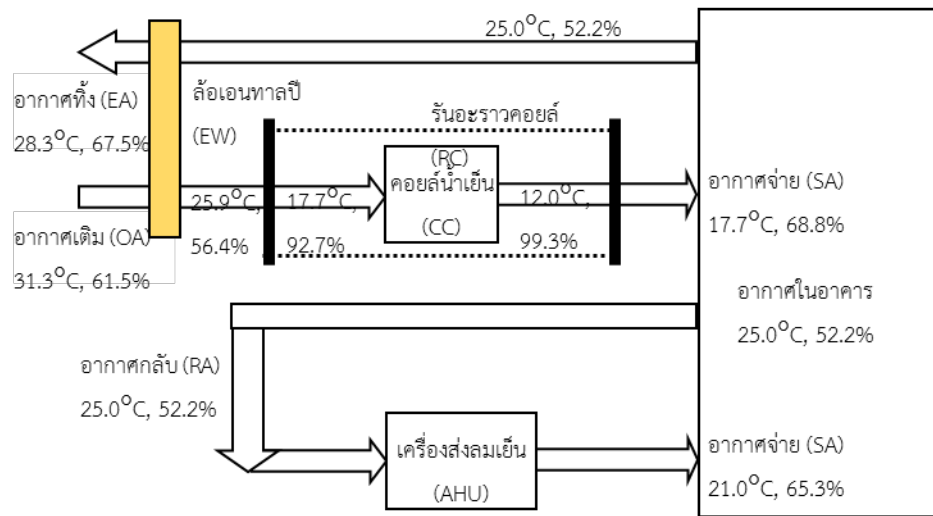
รูปที่ 5.19 แสดงภาระทำความเย็นและสภาวะอากาศภายในอาคารของระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและรันอะราวด์คอยล์ ผลการจำลองพบว่า มีแนวโน้มเหมือนกันสำหรับทั้งอาคารโรงแรมและอาคารสำนักงาน โดยระบบนี้จะมีภาระทำความเย็นน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับระบบที่มีเครื่องเติมอากาศรูปแบบอื่นๆ สำหรับสภาวะอากาศภายในอาคารมีความชื้นสัมพัทธ์และอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาทำการอยู่ที่ 53.8%RH และ 0.0107 kg_w/kg_{da}



(ก) ภาระทำความเย็น



(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ



(ค) สภาวะอากาศในระบบ เมื่ออุณหภูมิและความชื้นอากาศภายนอก 31.3°C และ 61.5%

รูปที่ 5.19 สภาวะของระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและรันอะราวด์คอยล์

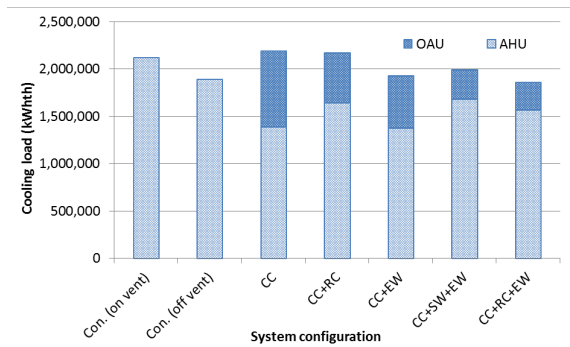
5.2.3 ภาระการทำความเย็นทั้งปี

ภาระการปรับอากาศทั้งปีสำหรับอาคารโรงแรมแสดงดังตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.20 เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารสำนักงาน พบว่า อาคารโรงแรมมีอัตราการใช้พลังงานที่สูงกว่า เนื่องจากมีชั่วโมงทำงานที่ต้องปรับอากาศมากกว่า โดยผลที่ได้นั้นมีแนวโน้มเหมือนกัน คือ รูปแบบของเครื่องเติมอากาศที่มีเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนเป็นส่วนหนึ่งในองค์ประกอบภายในสามารถลดภาระการปรับอากาศทั้งระบบได้ 14-23% ขณะที่ระบบที่ใช้เครื่องเติมอากาศที่ประกอบด้วยคอยล์เย็น เครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและรันอะราวด์คอยล์สามารถภาระการปรับอากาศต่ำที่สุดและใกล้เคียงกับกรณีการปิดระบบระบายอากาศ

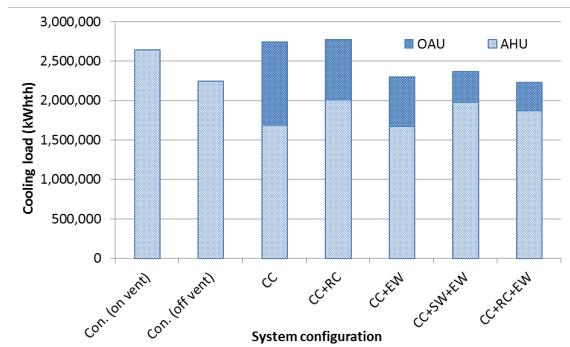
ตารางที่ 5.2 การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศสำหรับอาคารโรงแรมตัวอย่าง

ระบบ	สภาพอากาศ	ภาระทำความเย็น (kWth)			ขนาดเครื่อง (kWth)	
		เครื่องส่ง เย็น	เครื่องเติม อากาศ	ทั้งระบบ	เครื่องส่ง ลมเย็น	เครื่องเติม อากาศ
ระบบปกติ	เย็นและแห้ง	2,115,250.79	-	2,115,250.79	2,801.7	0.0
	ร้อนและแห้ง	2,641,855.47	-	2,641,855.47		
	ร้อนและชื้น	1,928,234.90	-	1,928,234.90		
	เย็นและชื้น	1,884,712.71	-	1,884,712.71		
	ทั้งปี	8,570,053.87	-	8,570,053.87		
ระบบปกติ (ปิดระบบ ระบาย อากาศ)	เย็นและแห้ง	1,889,417.09	-	1,889,417.09	2,404.7	0.0
	ร้อนและแห้ง	2,246,344.72	-	2,246,344.72		
	ร้อนและชื้น	1,639,544.63	-	1,639,544.63		
	เย็นและชื้น	1,606,520.83	-	1,606,520.83		
	ทั้งปี	7,379,702.27	-	7,379,702.27		
DOAS #1	เย็นและแห้ง	1,382,727.65	802,608.84	2,185,336.48	2,008.4	498.8
	ร้อนและแห้ง	1,684,759.96	1,053,738.25	2,738,498.21		
	ร้อนและชื้น	1,236,168.89	762,317.22	1,998,486.12		
	เย็นและชื้น	1,201,597.34	757,507.84	1,959,105.18		
	ทั้งปี	5,505,253.84	3,376,172.15	8,881,426.00		
DOAS #2	เย็นและแห้ง	1,638,996.27	532,741.21	2,171,737.48	2,087.3	360.1
	ร้อนและแห้ง	2,007,667.65	765,722.43	2,773,390.08		
	ร้อนและชื้น	1,460,067.43	559,749.20	2,019,816.63		
	เย็นและชื้น	1,408,153.72	552,914.07	1,961,067.79		
	ทั้งปี	6,514,885.07	2,411,126.91	8,926,011.98		
DOAS #3	เย็นและแห้ง	1,375,013.29	548,640.94	1,923,654.23	1,986.4	266.0
	ร้อนและแห้ง	1,670,253.60	625,245.99	2,295,499.59		
	ร้อนและชื้น	1,224,325.16	450,499.33	1,674,824.49		

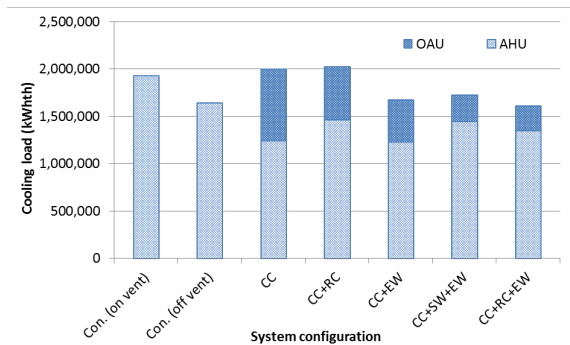
	เย็นและชื้น	1,189,792.23	452,019.95	1,641,812.18		
	ทั้งปี	5,459,384.28	2,076,406.21	7,535,790.49		
DOAS #4	เย็นและแห้ง	1,676,213.46	314,485.74	1,990,699.19	2,091.6	200.4
	ร้อนและแห้ง	1,975,506.80	387,260.30	2,362,767.10		
	ร้อนและชื้น	1,443,552.17	279,857.62	1,723,409.79		
	เย็นและชื้น	1,409,856.93	280,929.33	1,690,786.26		
	ทั้งปี	6,505,129.36	1,262,532.98	7,767,662.33		
DOAS #5	เย็นและแห้ง	1,563,759.00	291,031.90	1,854,790.90	2,062.3	200.1
	ร้อนและแห้ง	1,868,574.53	359,032.04	2,227,606.57		
	ร้อนและชื้น	1,349,584.41	259,162.25	1,608,746.66		
	เย็นและชื้น	1,303,491.26	257,983.08	1,561,474.34		
	ทั้งปี	6,085,409.20	1,167,209.27	7,252,618.47		



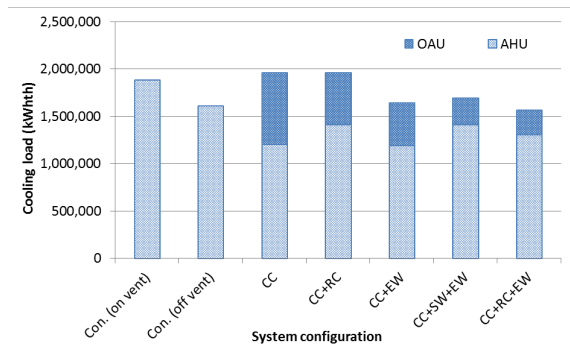
(ก) ช่วงอากาศเย็นและแห้ง



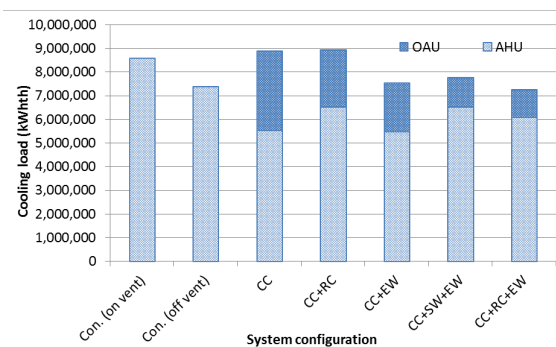
(ข) ช่วงอากาศร้อนและแห้ง



(ค) ช่วงอากาศร้อนและชื้น



(ง) ช่วงอากาศเย็นและชื้น



(จ) ตลอดทั้งปี

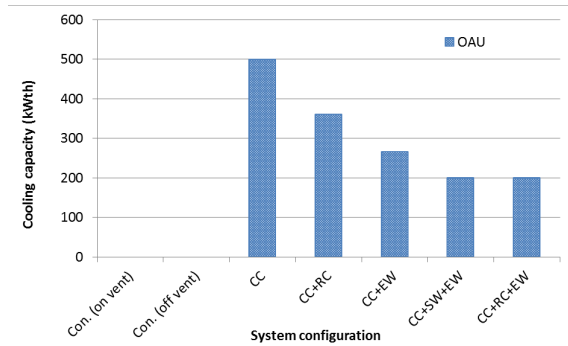
รูปที่ 5.20 การใช้พลังงานของระบบ

5.2.4 ขนาดของเครื่องเติมอากาศอิสระและเครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่

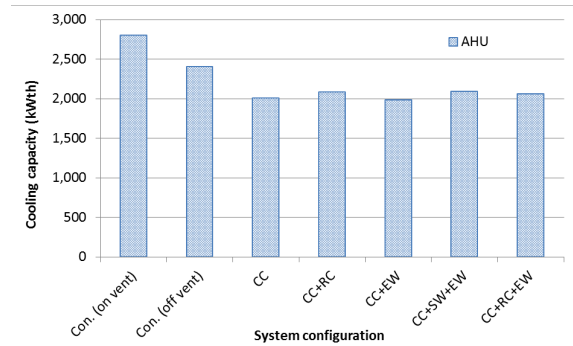
รูปที่ 5.21 แสดงขนาดของเครื่องเติมอากาศและเครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่สำหรับอาคารโรงแรมที่ได้จากการจำลอง ซึ่งพบว่าผลที่ได้มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันกับอาคารสำนักงาน

สำหรับขนาดคอยล์ของเครื่องเติมอากาศ พบว่าเครื่องเติมอากาศแบบที่ 1 (FC) มีขนาดคอยล์ใหญ่ที่สุด รองลงมาเป็นเครื่องปรับอากาศแบบที่ 2 (RC) และแบบที่ 3 (EW) ตามลำดับ โดยเครื่องเติมอากาศแบบที่ 4 (EW+SW) และแบบที่ 5 (EW+RC) มีขนาดใกล้เคียงกันและเล็กกว่าสามแบบแรก จากรูปที่ 5.21(ก) จะพบว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบหมุน (EW) มีศักยภาพสูงในการลดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ

ในกรณีของขนาดของเครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่ของอาคารโรงแรมจะมีขนาดเล็กกว่าของอาคารสำนักงาน เนื่องจากการทำความเย็นที่จากแหล่งกำเนิดภายในอาคารมีค่าน้อยกว่า



(ก) เครื่องเติมอากาศอิสระ



(ข) เครื่องปรับอากาศในพื้นที่

รูปที่ 5.21 ขนาดเครื่องทำความเย็นของระบบปรับอากาศ

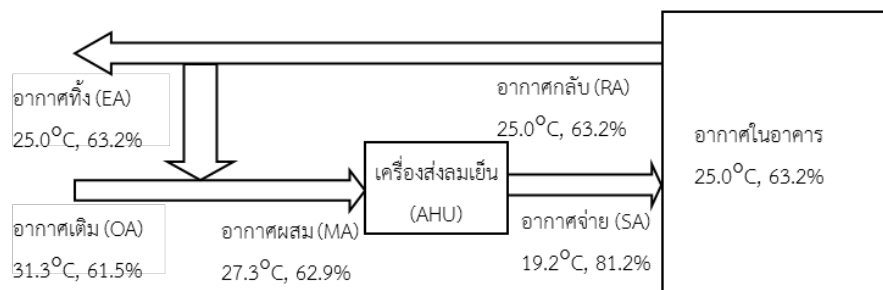
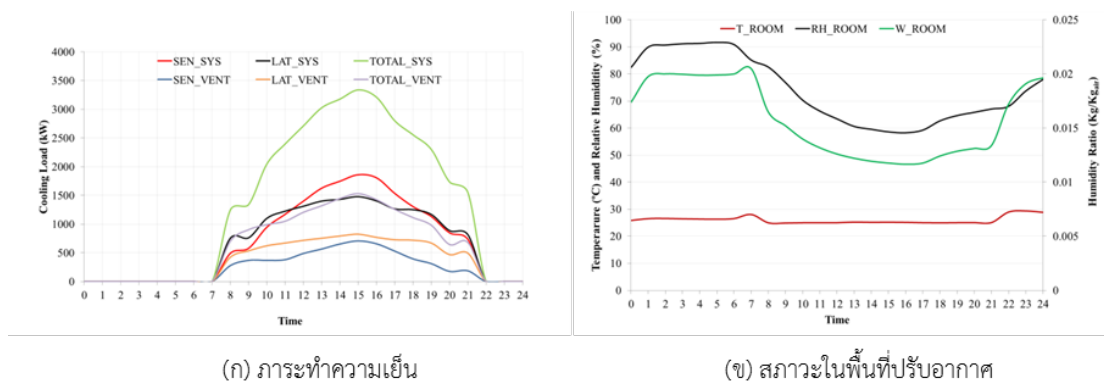
5.3 อาคารห้างสรรพสินค้า

5.3.1 ภาระทำความเย็น

อาคารสรรพสินค้ามีช่วงเวลาทำการ (10.00–22.00 น.) และความต้องการระบายอากาศต่อพื้นที่แตกต่างจากอาคารสำนักงานและโรงแรม จึงทำให้ภาระทำความเย็นของอาคารแตกต่างกัน

รูปที่ 5.22 (ก) แสดงภาระทำความเย็นของอาคารสรรพสินค้าในวันที่สภาพอากาศร้อนและชื้นเป็นดังรูปที่ 5.1 เมื่ออาคารปรับอากาศโดยระบบปรับอากาศทั่วไปพบว่า ภาระทำความเย็นของอาคารเริ่มตั้งแต่ 1250 kW_{th} และสูงสุดที่ 3350 kW_{th} ซึ่งสูงกว่าอาคารสำนักงาน (1775 kW_{th}) และอาคารโรงแรม (1830 kW_{th}) นอกจากนี้ ภาระทำความเย็นของการระบายอากาศอยู่ในช่วง 640-1530 kW_{th} ซึ่งสูงกว่าอาคารประเภทอื่นด้วยเช่นกัน เนื่องจากอาคารสรรพสินค้ามีความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารและมีกำลังไฟฟ้าของเครื่องจักรอุปกรณ์ที่มากกว่า

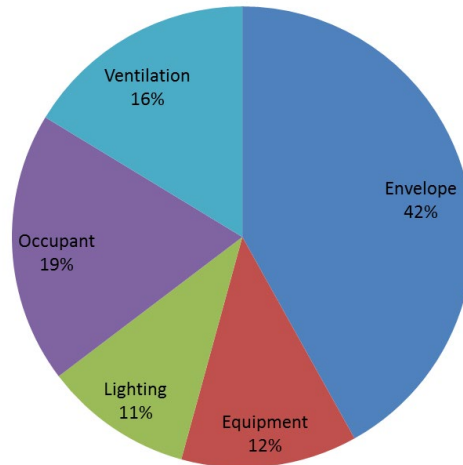
สำหรับสภาวะอากาศในพื้นที่ปรับอากาศมีการถูกควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 25°C จากรูปที่ 5.22 (ข) พบว่า อากาศในพื้นที่ปรับอากาศมีความชื้นและอุณหภูมิสูงในช่วงก่อนปรับอากาศเนื่องจากการรั่วของอากาศเข้าสู่อาคาร สำหรับความชื้นสัมพัทธ์และอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาทำการอยู่ที่ 63.1%RH และ 0.0126 kg_w/kg_{da} ตามลำดับ



(ค) สภาวะอากาศในระบบ เมื่ออุณหภูมิและความชื้นอากาศภายนอก 31.3°C และ 61.5%

รูปที่ 5.22 สภาวะของระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป

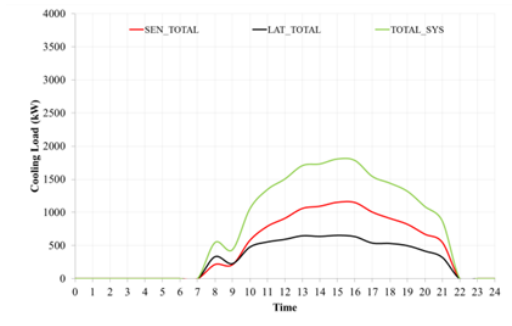
รูปที่ 5.23 แสดงสัดส่วนภาระทำความเย็นของอาคารสรรพสินค้า จากรูปพบว่าภาระทำความเย็นหลักเกิดจาก (1) การระบายอากาศ (2) ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนัง และ (3) ผู้ใช้อาคาร โดยภาระทำความเย็นจากการระบายอากาศมีใกล้เคียงกับอาคารสองประเภทก่อนหน้านี้ที่ 16% จากภาระทำความเย็นทั้งหมด และเมื่อเปรียบเทียบกับอาคารประเภทอื่นๆ พบว่า สัดส่วนของภาระทำความเย็นที่เกิดจากการระบายอากาศและผู้ใช้อาคารของอาคารห้างสรรพสินค้าจะมีค่าสูงที่สุด เนื่องจาก ความต้องการการระบายอากาศสูง รวมถึงความหนาแน่นและกิจกรรมของผู้ใช้อาคารที่ก่อให้เกิดความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงที่มากกว่า



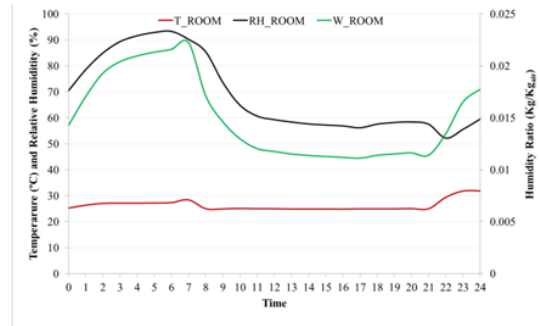
รูปที่ 5.23 สัดส่วนของภาระทำความเย็น

รูปที่ 5.24 แสดงภาระปรับอากาศและสภาวะอากาศภายในอาคารของระบบระบบปรับอากาศทั่วไป เมื่อปิดระบบระบายอากาศ จะพบว่ามีค่าภาระทำความเย็นอยู่ระหว่าง 440-1800 kW_{th} ซึ่งลดลงมากกว่าเมื่อเทียบกับกรณีอาคารสำนักงานและโรงแรม

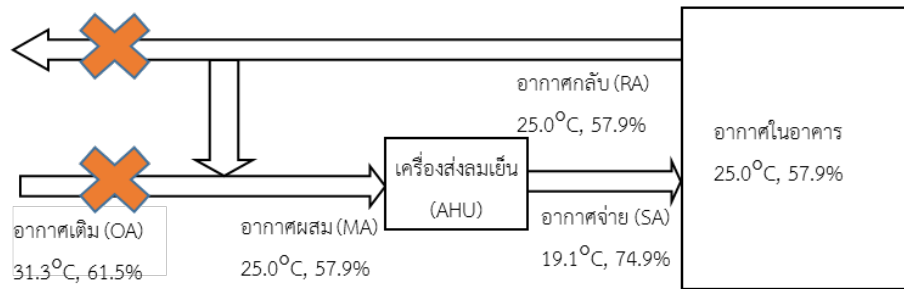
ในช่วงการปรับอากาศ ค่าความชื้นสัมพัทธ์และอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาทำการอยู่ที่ 58.6 %RH และ 0.0112 kg_w/kg_{da} ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าระบบปรับอากาศทั่วไป อย่างไรก็ตาม ในแง่คุณภาพอากาศพบว่าการปิดระบบปรับอากาศจะทำให้คุณภาพอากาศภายในมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน



(ก) ภาระทำความเย็น



(ข) สภาพในพื้นที่ปรับอากาศ



(ค) สภาพอากาศในระบบ เมื่ออุณหภูมิและความชื้นอากาศภายนอก 31.3°C และ 61.5%

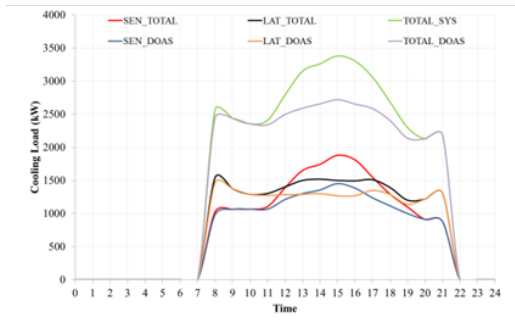
รูปที่ 5.24 สภาพของระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป (ปิดระบบระบายอากาศ)

5.3.2 ระบบเติมอากาศแบบอิสระ

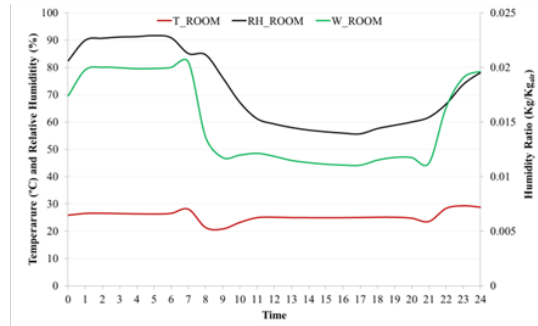
รูปที่ 5.25 แสดงภาระทำความเย็นและสภาพอากาศในอาคารของระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็น (FC) จะเห็นว่าระบบนี้มีค่าภาระทำความเย็นทั้งระบบสูงกว่าระบบปรับอากาศทั่วไปประมาณ 10%

จากรูป ภาระทำความเย็นจากเครื่องเติมอากาศที่มีสัดส่วน 80-85% จากภาระทำความเย็นทั้งระบบ และพบว่าในบางช่วงเวลา เครื่องเติมอากาศสามารถรับความร้อนสัมผัสได้ทั้งหมด เครื่องปรับอากาศในพื้นที่จึงไม่ทำงานตลอดเวลา

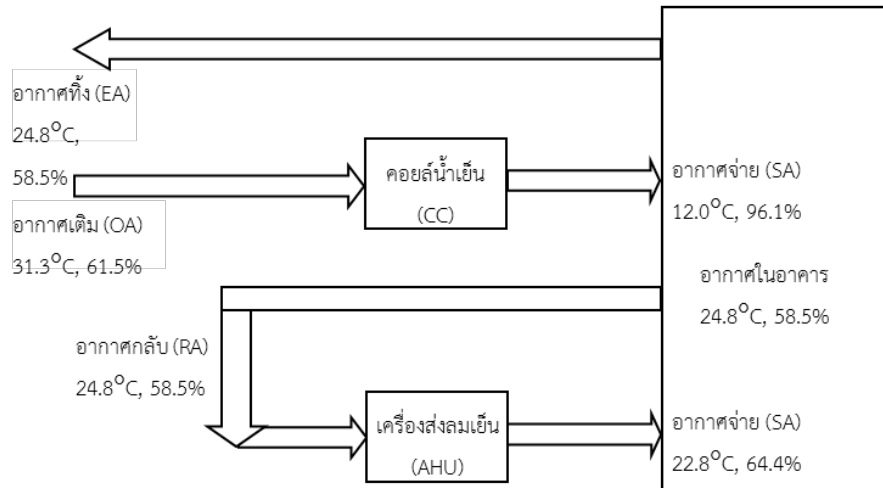
สำหรับความชื้นสัมพัทธ์และอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาทำการพบว่าอยู่ที่ 59.1 %RH และ 0.0115 kg_w/kg_{da} ระบบนี้จึงมีความสามารถในการลดความชื้นที่ดีกว่าระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป



(ก) ภาระทำความเย็น



(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

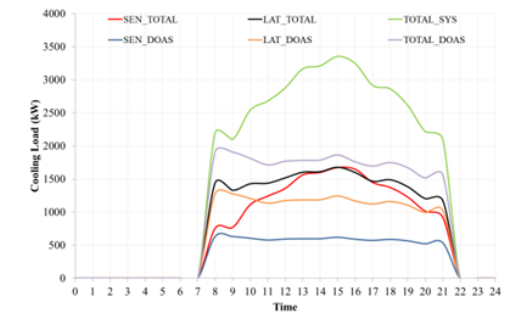


(ค) สภาวะอากาศในระบบ เมื่ออุณหภูมิและความชื้นอากาศภายนอก 31.3°C และ 61.5%

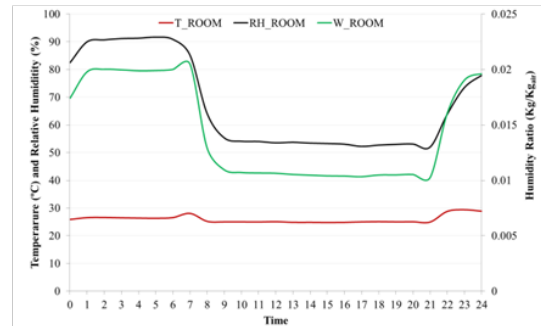
รูปที่ 5.25 สภาวะของระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็น

รูปที่ 5.26 แสดงภาระปรับอากาศและสภาวะอากาศภายในอาคารของระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวด์คอยล์ (RC) ภาระทำความเย็นของเครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้อยู่ที่ 1520-1920 kW_{th} ต่ำกว่าแบบแรกประมาณ 28% เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนสัมผัสของรันอะราวด์คอยล์และคิดเป็น 63% จากภาระทำความเย็นทั้งหมด อย่างไรก็ตาม ระบบนี้จะมีขนาดของเครื่องปรับอากาศในพื้นที่ที่ใหญ่กว่า

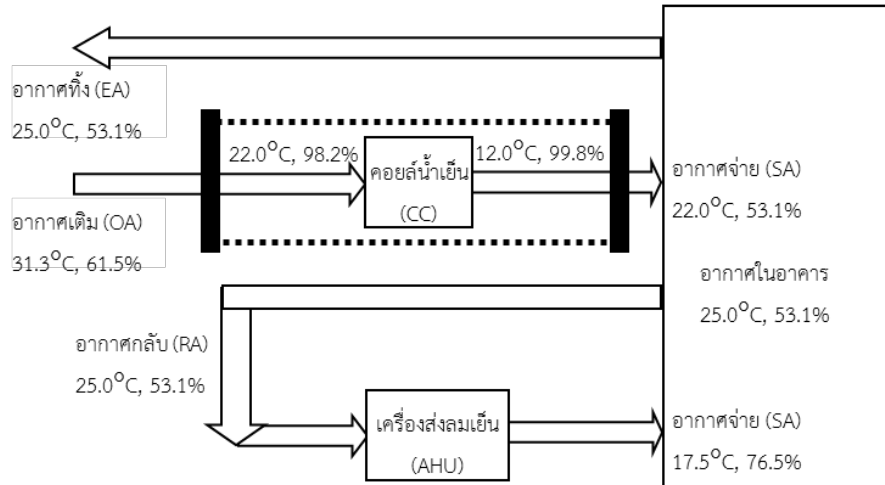
ความชื้นสัมพัทธ์และอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยภายในพื้นที่ปรับอากาศตลอดช่วงเวลาทำการอยู่ที่ 53.2%RH และ 0.0105 kg_w/kg_{da} ระบบนี้สามารถควบคุมความชื้นที่ดีกว่าแบบแรก ขณะที่มีความเย็นทั้งระบบที่ใกล้เคียง



(ก) ภาระทำความเย็น



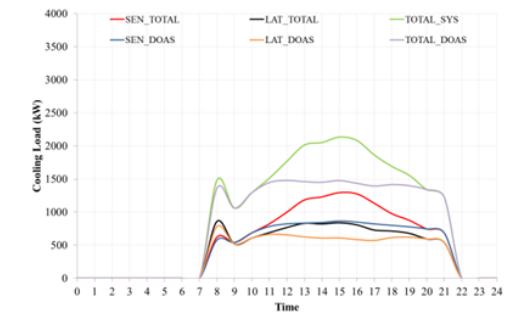
(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ



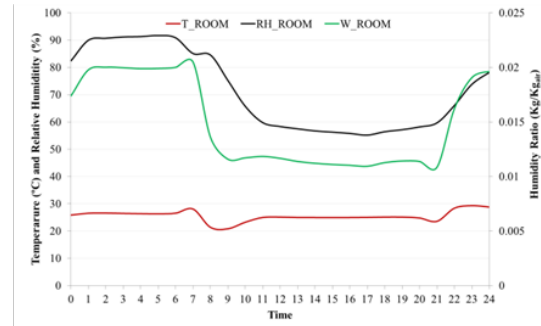
(ค) สภาวะอากาศในระบบ เมื่ออุณหภูมิและความชื้นอากาศภายนอก 31.3 °C และ 61.5%

รูปที่ 5.26 สภาวะของระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวด์คอยล์

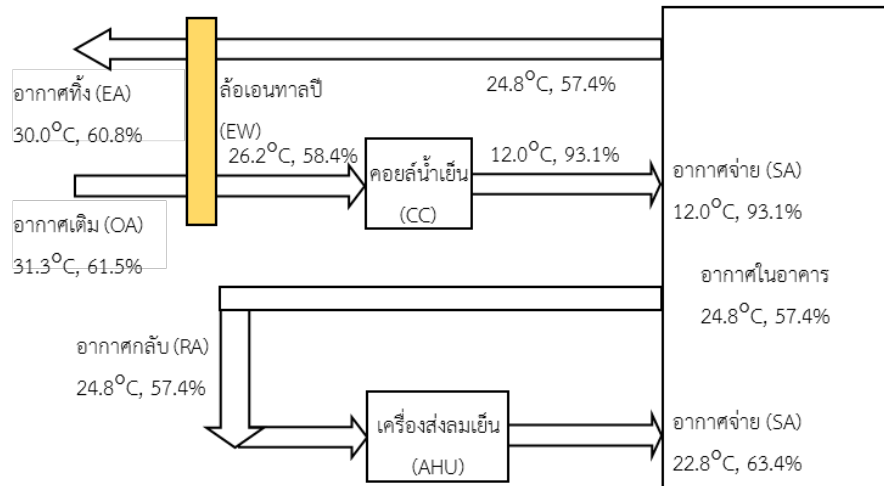
รูปที่ 5.27 แสดงภาระปรับอากาศและสภาวะอากาศกรณีระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน (EW) ภาระทำความเย็นของเครื่องเติมอากาศมีค่า 1050-1475 kW_{th} ลดลงประมาณ 20% เมื่อเทียบกับระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวด์คอยล์ (EW) ทำให้ภาระทำความเย็นทั้งระบบมีค่าลดลงตามไปด้วย โดยที่สภาวะภายในมีความชื้นสัมพัทธ์และอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาทำการอยู่ที่ 58.1 %RH และ 0.0113 kg_w/kg_{da}



(ก) ภาระทำความเย็น



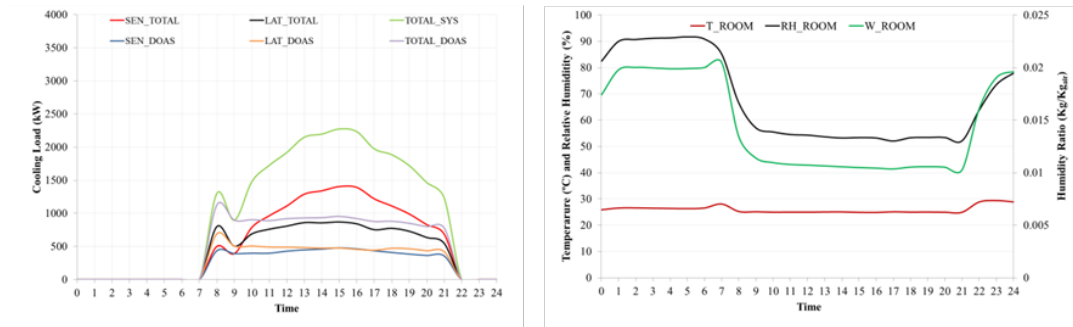
(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ



(ค) สภาวะอากาศในระบบ เมื่ออุณหภูมิและความชื้นอากาศภายนอก 31.3°C และ 61.5%

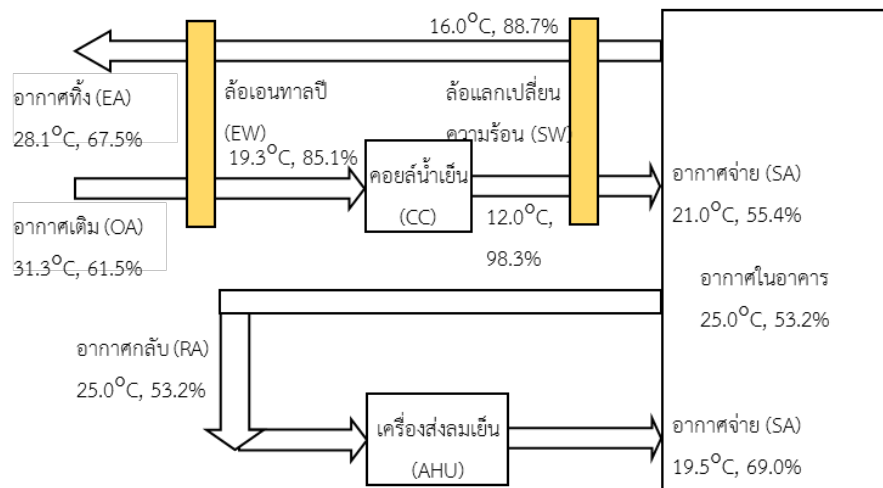
รูปที่ 5.27 สภาวะของระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน

รูปที่ 5.28 แสดงภาระปรับอากาศและสภาวะอากาศในกรณีระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน (EW+SW) จะเห็นว่า ภาระทำความเย็นทั้งระบบจะมีค่าใกล้เคียงกันกับระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน (EW) โดยมีค่าภาระทำความเย็นของเครื่องเติมอากาศอยู่ที่ $800-1125 \text{ kW}_{th}$ สำหรับสภาวะภายในมีความชื้นสัมพัทธ์และอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาทำการอยู่ที่ $53.5 \%RH$ และ $0.0106 \text{ kg}_w/\text{kg}_{da}$



(ก) ภาระทำความเย็น

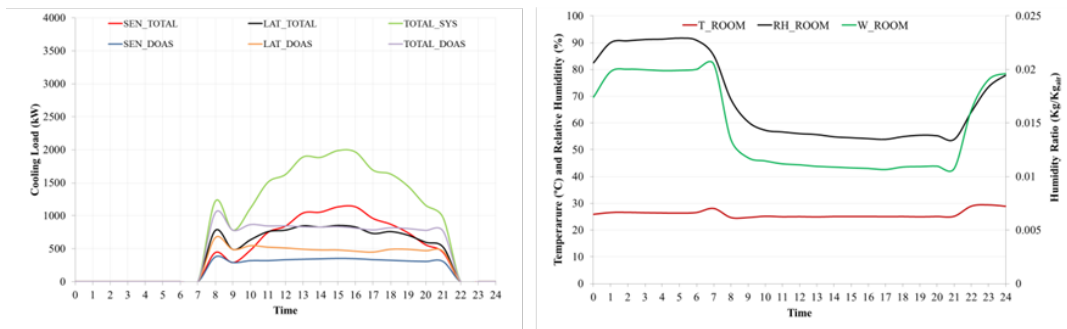
(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ



(ค) สภาวะอากาศในระบบ เมื่ออุณหภูมิและความชื้นอากาศภายนอก 31.3°C และ 61.5%

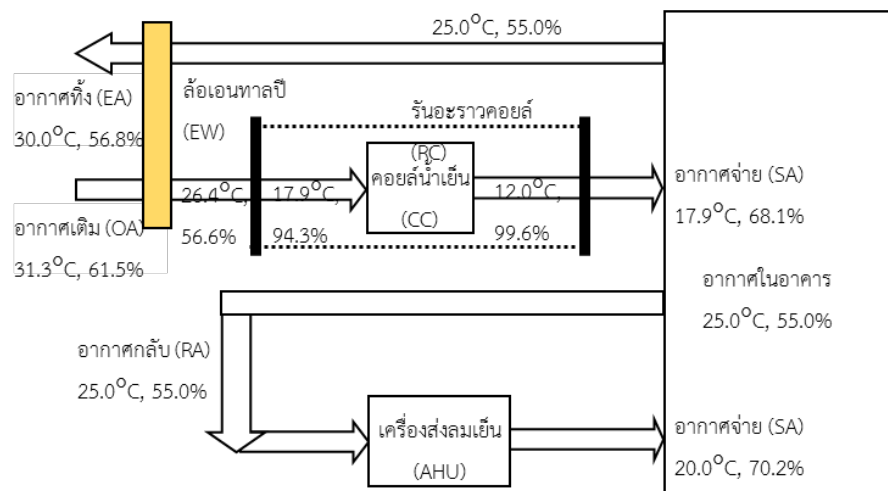
รูปที่ 5.28 สภาวะของระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน

รูปที่ 5.29 แสดงการปรับอากาศและสภาวะภายในของระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและรั้นอะราวด์คอยล์ (EW+RC) จะเห็นว่า ระบบนี้มีภาระทำความเย็นของเครื่องเติมอากาศน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับเครื่องเติมอากาศรูปแบบอื่นๆ และเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน พบว่า การใช้รั้นอะราวด์คอยล์สามารถลดภาระทำความเย็นที่เกิดจากความร้อนสัมผัสลงได้อีกเล็กน้อย สำหรับสภาวะภายในมีความชื้นสัมพัทธ์และอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาทำการอยู่ที่ 55.2 %RH และ 0.0109 kg_w/kg_{da}



(ก) ภาระทำความเย็น

(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ



(ค) สภาวะอากาศในระบบ เมื่ออุณหภูมิและความชื้นอากาศภายนอก 31.3°C และ 61.5%

รูปที่ 5.29 สภาวะของระบบที่มีเครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยน

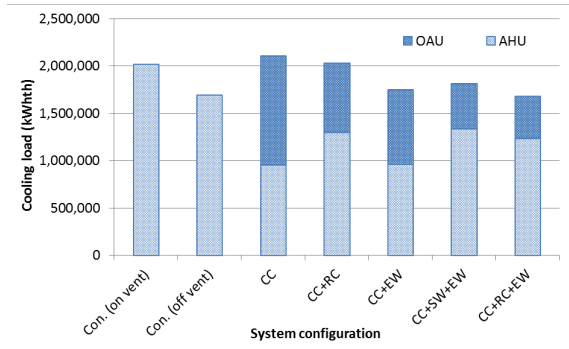
5.3.3 ภาระการทำความเย็นทั้งปี

ภาระการปรับอากาศทั้งปีสำหรับอาคารสรรพสินค้าแสดงได้ดังรูปที่ 5.3 โดยเมื่อเทียบกับอาคารสำนักงานและโรงแรม พบว่า อาคารสรรพสินค้ามีการใช้พลังงานที่เครื่องเติมอากาศมากกว่า เนื่องจากความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารที่สูง จึงต้องระบายอากาศในปริมาณมากๆ อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้นั้นมีแนวโน้มเหมือนกัน คือ รูปแบบของเครื่องเติมอากาศที่มีเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนเป็นส่วนหนึ่งในองค์ประกอบภายในสามารถลดภาระการปรับอากาศทั้งระบบได้ 21-34 % โดยระบบที่ใช้เครื่องเติมอากาศที่ประกอบด้วยคอยล์เย็น เครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและรันอะราวด์คอยล์สามารถลดภาระการปรับอากาศได้เทียบเท่ากับมาตรการการปิดระบบระบายอากาศ

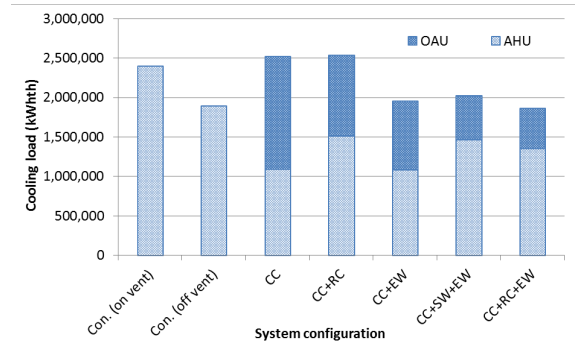
ตารางที่ 5.3 การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศสำหรับอาคารสรรพสินค้าตัวอย่าง

ระบบ	สภาพอากาศ	ภาระทำความเย็น (kWth)			ขนาดเครื่อง (kWth)	
		เครื่องส่งลมเย็น	เครื่องเติมอากาศ	ทั้งระบบ	เครื่องส่งลมเย็น	เครื่องเติมอากาศ
ระบบปกติ	เย็นและแห้ง	2,012,741.51	-	2,012,741.51	5,320.8	0.0
	ร้อนและแห้ง	2,398,740.63	-	2,398,740.63		
	ร้อนและชื้น	1,746,007.13	-	1,746,007.13		
	เย็นและชื้น	1,719,857.53	-	1,719,857.53		
	ทั้งปี	7,877,346.80	-	7,877,346.80		
ระบบปกติ (ปิดระบบระบายอากาศ)	เย็นและแห้ง	1,689,061.11	-	1,689,061.11	4,523.9	0.0
	ร้อนและแห้ง	1,895,264.29	-	1,895,264.29		
	ร้อนและชื้น	1,381,465.57	-	1,381,465.57		
	เย็นและชื้น	1,365,467.64	-	1,365,467.64		
	ทั้งปี	6,326,957.82	-	6,326,957.82		
DOAS #1	เย็นและแห้ง	952,284.60	1,151,112.17	2,103,396.77	3,306.4	1,284.2
	ร้อนและแห้ง	1,088,822.01	1,432,849.89	2,521,671.90		
	ร้อนและชื้น	797,775.05	1,046,345.47	1,844,120.52		
	เย็นและชื้น	780,974.90	1,042,276.85	1,823,251.75		
	ทั้งปี	3,619,856.55	4,672,584.38	8,292,440.93		
DOAS #2	เย็นและแห้ง	1,299,159.70	729,948.06	2,029,107.76	3,488.6	966.6

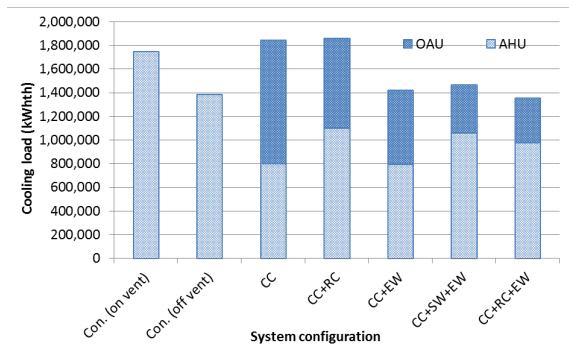
	ร้อนและแห้ง	1,511,859.51	1,024,392.88	2,536,252.40		
	ร้อนและชื้น	1,097,329.46	762,035.89	1,859,365.35		
	เย็นและชื้น	1,072,176.21	760,155.21	1,832,331.42		
	ทั้งปี	4,980,524.88	3,276,532.04	8,257,056.92		
DOAS #3	เย็นและแห้ง	957,104.63	791,281.52	1,748,386.15	3,272.4	757.8
	ร้อนและแห้ง	1,083,390.49	867,131.92	1,950,522.41		
	ร้อนและชื้น	792,705.87	626,567.94	1,419,273.82		
	เย็นและชื้น	772,713.28	629,130.59	1,401,843.87		
	ทั้งปี	3,605,914.27	2,914,111.97	6,520,026.24		
DOAS #4	เย็นและแห้ง	1,333,112.71	477,125.02	1,810,237.73	3,500.8	616.9
	ร้อนและแห้ง	1,464,707.73	556,036.64	2,020,744.37		
	ร้อนและชื้น	1,058,030.89	404,889.24	1,462,920.13		
	เย็นและชื้น	1,045,356.92	406,213.27	1,451,570.19		
	ทั้งปี	4,901,208.25	1,844,264.17	6,745,472.42		
DOAS #5	เย็นและแห้ง	1,233,499.85	446,298.89	1,679,798.73	3,448.3	616.0
	ร้อนและแห้ง	1,347,021.65	511,203.36	1,858,225.00		
	ร้อนและชื้น	977,091.52	373,376.00	1,350,467.52		
	เย็นและชื้น	955,328.49	372,070.43	1,327,398.92		
	ทั้งปี	4,512,941.51	1,702,948.68	6,215,890.18		



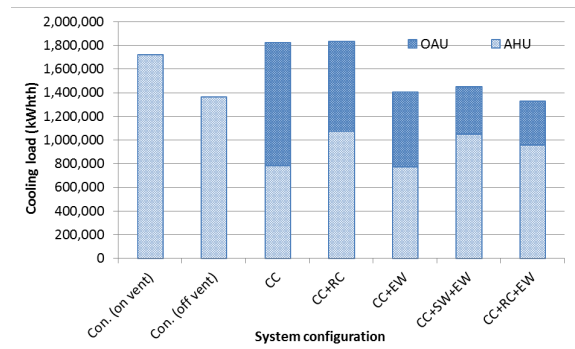
(ก) ช่วงอากาศเย็นและแห้ง



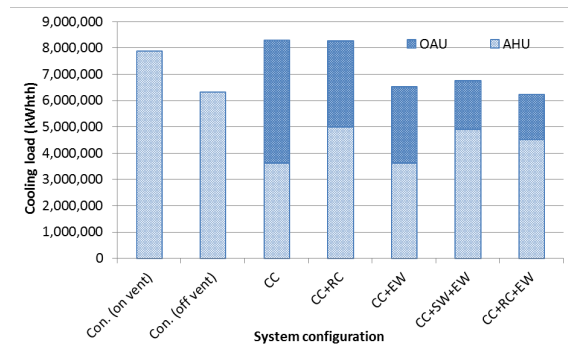
(ข) ช่วงอากาศร้อนและแห้ง



(ค) ช่วงอากาศร้อนและชื้น



(ง) ช่วงอากาศเย็นและชื้น

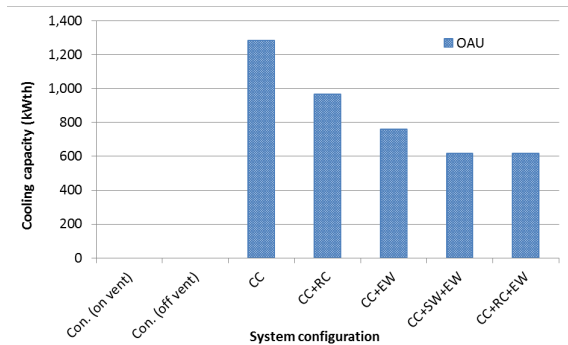


(จ) ตลอดทั้งปี

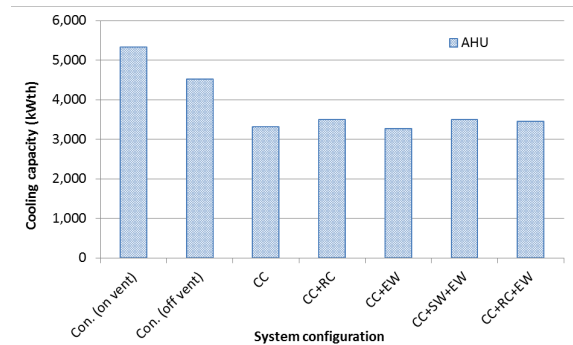
รูปที่ 5.30 การใช้พลังงานของระบบ

5.3.4 ขนาดของเครื่องเติมอากาศอิสระและเครื่องปรับอากาศในพื้นที่

ผลการจำลองขนาดของเครื่องเติมอากาศและเครื่องปรับอากาศในพื้นที่สำหรับอาคารสรรพสินค้า ได้ผลไปในแนวทางเดียวกันกับอาคารสำนักงาน สำหรับขนาดของเครื่องปรับอากาศภายในพื้นที่และขนาดของเครื่องเติมอากาศ ต่างกันตรงที่อาคารสรรพสินค้าจะมีขนาดของเครื่องทั้งสองที่ใหญ่กว่า เนื่องจาก ภาระทำความเย็นที่มากกว่าทั้งที่เกิดจากแหล่งกำเนิดภายในและภายนอกอาคาร สำหรับขนาดของเครื่องปรับอากาศในพื้นที่และเครื่องเติมอากาศอิสระแสดงดังรูปที่ 5.31



(ก) เครื่องเติมอากาศอิสระ



(ข) เครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่

รูปที่ 5.31 การใช้พลังงานของระบบ

5.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงต้นทุน

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงต้นทุนของระบบเติมอากาศแบบอิสระจะเป็นการใช้การวิธีประเมินค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (Life cycle costing) ซึ่งจะทำให้ได้รูปแบบของระบบที่มีความคุ้มค่าด้านการเงินมากที่สุดเทียบกับประสิทธิภาพพลังงานของระบบ

ในการวิเคราะห์นี้ ค่าใช้จ่ายจะประกอบด้วย (1) ต้นทุนของระบบและอุปกรณ์ที่ต้องจัดหาติดตั้งในครั้งแรก และ (2) ค่าใช้จ่ายจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากระบบ

5.4.1 ค่าพลังงานไฟฟ้า

ผลการศึกษาในหัวข้อที่ 4.3 ที่ผ่านมา เป็นการวิเคราะห์ค่าภาระการทำความเย็นของระบบเติมอากาศแบบอิสระ ซึ่งใช้โปรแกรม TRNSYS ในการคำนวณและแสดงผลเป็นรายนาที่ ข้อมูลดังกล่าวนี้สามารถนำมาหาค่าความต้องการพลังไฟฟ้าของระบบได้เมื่อทราบประสิทธิภาพโดยรวมของทั้งระบบในรูปของสัมประสิทธิ์สมรรถนะพลังงานหรือ Coefficient of Performance (COP) โดย

$$\text{ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (kW}_{\text{elec}}) = \frac{\text{ภาระการทำความเย็นของระบบ (kW}_{\text{th}})}{\text{COP}}$$

ทั้งนี้ในการวิเคราะห์กำหนดให้ค่า COP ของทั้งระบบเท่ากับ 2.7

เมื่อสามารถทราบค่าความต้องการพลังไฟฟ้าของระบบแล้ว ขั้นตอนในลำดับถัดไปเป็นการคำนวณค่าไฟฟ้าของระบบ ซึ่งค่าไฟฟ้านั้นประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ค่าพลังไฟฟ้า (Power) ค่าพลังงานไฟฟ้า และค่าบริการ ทั้งนี้อาคารสำนักงานและห้างสรรพสินค้าจะใช้อัตราค่าไฟฟ้างวดที่แสดงในตารางที่ 5.4 และโรงแรมตามตารางที่ 5.5 ซึ่งข้อมูลจากทั้งสองตารางนี้อิงจากข้อมูลของการไฟฟ้านครหลวง

จากตารางที่ 5.4 และ 5.5 แสดงค่าไฟฟ้าสำหรับแรงดันต่างๆ ในระบบสายส่ง อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ในรายงานฉบับนี้กำหนดให้อาคารใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์

ตารางที่ 5.4 อัตราค่าไฟฟ้าสำหรับการวิเคราะห์ค่าไฟฟ้าสำหรับอาคารสำนักงานและห้างสรรพสินค้า

อัตรารายเดือน	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On Peak	Off Peak	On Peak	Off Peak	
แรงดัน 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	74.14	0	3.5982	2.1572	312.24
แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์	132.93	0	3.6796	2.1760	312.24
แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	210.00	0	3.8254	2.2092	312.24

On Peak : เวลา 09.00 - 22.00 น. วันจันทร์ – วันศุกร์

Off Peak : เวลา 22.00 - 09.00 น. วันจันทร์ – วันศุกร์

: เวลา 00.00 - 24.00 น. วันเสาร์ - วันอาทิตย์ วันแรงงานแห่งชาติ

วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันพืชมงคลและวันหยุดชดเชย)

ตารางที่ 5.5 อัตราค่าไฟฟ้าสำหรับการวิเคราะห์ค่าไฟฟ้าสำหรับโรงแรม

อัตรารายเดือน	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/ เดือน)
	On Peak	Off Peak	On Peak	Off Peak	
แรงดัน 69 กิโล โวลต์ขึ้นไป	74.14	0	4.1283	2.6107	312.24
แรงดัน 12-24 กิโล โวลต์	132.93	0	4.2097	2.6295	312.24
แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	210.00	0	4.3555	2.6627	312.24

On Peak : เวลา 09.00 - 22.00 น. วันจันทร์ – วันศุกร์

Off Peak : เวลา 22.00 - 09.00 น. วันจันทร์ – วันศุกร์

: เวลา 00.00 - 24.00 น. วันเสาร์ - วันอาทิตย์ วันแรงงานแห่งชาติ
วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันพืชมงคลและวันหยุดชดเชย)

ตารางที่ 5.6 ถึง 5.8 แสดงผลวิเคราะห์การใช้ไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าของระบบเติมอากาศแบบอิสระรูปแบบต่างๆ ของอาคารสำนักงาน โรงแรม และห้างสรรพสินค้า

ตารางที่ 5.6 ผลวิเคราะห์การใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ กรณีสำนักงาน

ระบบปรับอากาศ		การใช้ไฟฟ้า			ค่าพลังไฟฟ้า (บาท/ปี)	ค่าบริการ (บาท/ปี)	ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท/ปี)
		พลังไฟฟ้าสูงสุด (กิโลวัตต์/เดือน)	พลังงานไฟฟ้า On peak (หน่วย/เดือน)	พลังงานไฟฟ้า Off peak (หน่วย/เดือน)			
ระบบปกติ	มกราคม	548.16	79,977.25	16,310.06	72,866.55	329,774.98	402,953.77
	กุมภาพันธ์	573.52	71,216.59	15,288.11	76,238.36	295,315.50	371,866.10
	มีนาคม	572.66	76,169.72	20,886.85	76,123.22	325,723.87	402,159.33
	เมษายน	605.46	86,901.49	25,330.07	80,484.19	374,880.94	455,677.37
	พฤษภาคม	569.38	92,606.08	29,716.07	75,688.14	405,415.49	481,415.87
	มิถุนายน	566.92	79,263.36	23,136.06	75,360.44	342,001.53	417,674.21
	กรกฎาคม	612.63	88,743.97	26,243.81	81,436.41	383,648.86	465,397.51
	สิงหาคม	595.83	85,396.18	23,858.10	79,203.83	366,139.02	445,655.09
	กันยายน	586.92	81,237.08	22,423.64	78,019.08	347,713.80	426,045.11
	ตุลาคม	582.49	90,236.31	25,769.21	77,429.80	388,107.33	465,849.37
	พฤศจิกายน	508.24	67,665.27	15,738.68	67,560.85	283,228.49	351,101.58
	ธันวาคม	494.00	71,076.96	16,126.22	65,667.66	296,625.43	362,605.33
	ทั้งปี		890,513.00	244,516.82	906,078.52	4,138,575.24	5,048,400.64
DOAS #1	มกราคม	556.63	81,444.11	21,220.03	73,992.55	345,856.52	420,161.31
	กุมภาพันธ์	569.39	72,409.85	19,125.76	75,689.35	308,056.93	384,058.51
	มีนาคม	570.71	77,121.58	24,852.65	75,864.21	337,855.94	414,032.39
	เมษายน	618.06	89,601.52	29,475.65	82,158.09	393,836.75	476,307.08
	พฤษภาคม	590.98	95,409.42	33,239.58	78,559.06	423,397.82	502,269.12
	มิถุนายน	578.56	81,424.56	26,377.97	76,908.03	357,008.28	434,228.55
	กรกฎาคม	604.47	91,293.54	29,713.10	80,352.58	400,579.42	481,244.24
	สิงหาคม	617.15	87,940.49	27,191.47	82,037.95	382,754.46	465,104.64

ระบบปรับอากาศ		การใช้ไฟฟ้า			ค่าพลังไฟฟ้า (บาท/ปี)	ค่าบริการ (บาท/ปี)	ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท/ปี)
		พลังไฟฟ้าสูงสุด (กิโลวัตต์/เดือน)	พลังงานไฟฟ้า On peak (หน่วย/เดือน)	พลังงานไฟฟ้า Off peak (หน่วย/เดือน)			
	กันยายน	597.50	83,307.58	26,002.11	79,426.18	363,119.16	442,857.58
	ตุลาคม	606.39	93,308.27	29,861.82	80,607.23	408,316.45	489,235.92
	พฤศจิกายน	523.67	69,037.78	18,903.23	69,610.86	295,164.83	365,087.92
	ธันวาคม	506.44	72,246.79	19,475.80	67,321.13	308,218.65	375,852.02
	ทั้งปี		913,101.38	284,219.15	922,527.20	4,324,165.21	5,250,439.29
DOAS #2	มกราคม	547.66	79,174.07	20,264.29	72,800.77	335,424.02	408,537.03
	กุมภาพันธ์	560.33	70,534.76	18,647.39	74,484.34	300,116.42	374,913.00
	มีนาคม	556.85	75,595.38	25,228.17	74,021.97	333,057.26	407,391.47
	เมษายน	602.04	89,335.93	30,276.24	80,029.23	394,601.59	474,943.06
	พฤษภาคม	573.80	94,174.53	33,972.51	76,275.29	420,448.78	497,036.31
	มิถุนายน	569.98	80,969.78	27,203.96	75,766.86	357,132.22	433,211.32
	กรกฎาคม	602.59	89,286.50	29,674.99	80,102.44	393,111.37	473,526.05
	สิงหาคม	588.41	83,570.18	25,902.44	78,217.22	363,868.56	442,398.02
	กันยายน	589.07	78,792.02	25,015.69	78,305.35	344,357.27	422,974.86
	ตุลาคม	596.77	89,204.25	29,762.09	79,328.56	392,998.27	472,639.07
	พฤศจิกายน	497.61	62,360.33	17,746.77	66,147.32	268,078.05	334,537.61
	ธันวาคม	490.52	64,686.06	18,517.12	65,204.67	278,312.09	343,829.00
	ทั้งปี		878,509.73	281,947.37	900,684.02	4,181,505.90	5,085,936.80
DOAS #3	มกราคม	462.65	70,131.07	19,000.35	61,500.44	299,399.05	361,211.72
	กุมภาพันธ์	478.97	62,762.36	17,097.08	63,669.25	268,143.64	332,125.13
	มีนาคม	483.09	66,508.47	21,699.81	64,216.51	291,943.35	356,472.10
	เมษายน	508.46	74,914.14	25,177.89	67,590.08	330,441.16	398,343.48
	พฤษภาคม	485.08	79,307.28	28,150.03	64,481.68	353,073.52	417,867.44
	มิถุนายน	486.12	68,452.85	22,798.41	64,619.68	301,488.47	366,420.38

ระบบปรับอากาศ		การใช้ไฟฟ้า			ค่าพลังไฟฟ้า (บาท/ปี)	ค่าบริการ (บาท/ปี)	ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท/ปี)
		พลังไฟฟ้าสูงสุด (กิโลวัตต์/เดือน)	พลังงานไฟฟ้า On peak (หน่วย/เดือน)	พลังงานไฟฟ้า Off peak (หน่วย/เดือน)			
	กรกฎาคม	499.01	76,837.58	25,666.04	66,333.90	338,580.85	405,226.99
	สิงหาคม	501.28	73,818.48	23,654.22	66,634.55	323,094.05	390,040.84
	กันยายน	492.40	70,301.50	22,607.38	65,454.58	307,875.08	373,641.90
	ตุลาคม	498.23	77,811.86	25,715.20	66,229.37	342,272.79	408,814.41
	พฤศจิกายน	436.96	60,151.32	17,197.14	58,085.70	258,753.79	317,151.73
	ธันวาคม	429.32	63,153.08	17,788.45	57,068.97	271,085.73	328,466.94
	ทั้งปี		774,018.93	247,551.64	765,884.70	3,686,151.48	4,455,783.06
DOAS #4	มกราคม	480.35	71,747.01	18,404.79	63,853.56	304,049.12	368,214.92
	กุมภาพันธ์	486.06	64,076.06	16,816.20	64,612.29	272,366.33	337,290.86
	มีนาคม	494.43	68,001.46	21,833.75	65,724.26	297,728.41	363,764.91
	เมษายน	522.72	76,207.13	25,172.53	69,485.57	335,187.17	404,984.97
	พฤษภาคม	499.50	78,797.76	26,605.47	66,398.91	347,837.73	414,548.89
	มิถุนายน	494.99	66,402.10	21,726.42	65,798.69	291,609.88	357,720.82
	กรกฎาคม	533.87	77,314.38	24,844.95	70,967.01	338,548.62	409,827.87
	สิงหาคม	504.38	72,188.76	22,326.23	67,047.24	314,207.66	381,567.15
	กันยายน	505.49	70,642.33	22,519.28	67,195.37	308,937.47	376,445.08
	ตุลาคม	507.30	74,663.55	24,318.66	67,435.17	327,649.38	395,396.80
	พฤศจิกายน	437.82	58,594.51	16,852.33	58,199.60	252,275.04	310,786.88
	ธันวาคม	482.69	63,401.39	17,701.75	64,164.20	271,810.78	336,287.21
	ทั้งปี		770,289.44	240,717.58	790,881.87	3,662,207.60	4,456,836.34
DOAS #5	มกราคม	453.40	67,840.57	17,425.01	60,269.92	287,542.97	348,125.14
	กุมภาพันธ์	477.56	60,642.64	15,893.25	63,482.35	257,724.35	321,518.95
	มีนาคม	477.69	64,751.83	20,423.79	63,499.62	282,703.00	346,514.85
	เมษายน	499.26	72,904.42	24,156.45	66,366.07	320,823.53	387,501.84

ระบบปรับอากาศ		การใช้ไฟฟ้า			ค่าพลังไฟฟ้า (บาท/ปี)	ค่าบริการ (บาท/ปี)	ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท/ปี)
		พลังไฟฟ้าสูงสุด (กิโลวัตต์/เดือน)	พลังงานไฟฟ้า On peak (หน่วย/เดือน)	พลังงานไฟฟ้า Off peak (หน่วย/เดือน)			
	พฤษภาคม	469.56	77,838.46	26,472.00	62,418.63	344,017.49	406,748.36
	มิถุนายน	478.27	67,020.50	21,750.34	63,576.31	293,937.37	357,825.91
	กรกฎาคม	485.98	72,583.97	23,291.96	64,601.32	317,763.30	382,676.86
	สิงหาคม	480.02	70,200.23	21,447.80	63,808.64	304,979.19	369,100.07
	กันยายน	490.41	67,621.37	21,174.59	65,189.79	294,895.52	360,397.55
	ตุลาคม	469.31	70,902.68	22,971.15	62,385.95	310,878.74	373,576.93
	พฤศจิกายน	424.86	54,694.04	14,770.89	56,476.55	233,393.63	290,182.42
	ธันวาคม	455.91	57,317.88	15,651.14	60,604.14	244,963.73	305,880.12
	ทั้งปี		736,478.02	228,003.37	752,679.30	3,493,622.83	4,250,049.00

ตารางที่ 5.7 ผลวิเคราะห์การใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ กรณีโรงแรม

ระบบปรับอากาศ		การใช้ไฟฟ้า			ค่าพลังไฟฟ้า (บาท/ปี)	ค่าบริการ (บาท/ปี)	ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท/ปี)
		พลังไฟฟ้า สูงสุด (กิโลวัตต์/ เดือน)	พลังงานไฟฟ้า On peak (หน่วย/เดือน)	พลังงานไฟฟ้า Off peak (หน่วย/เดือน)			
ระบบปกติ	มกราคม	630.37	173,002.59	83,133.21	845,462.01	312.24	845,774.25
	กุมภาพันธ์	673.46	154,007.60	73,552.72	751,633.33	312.24	751,945.57
	มีนาคม	666.83	194,002.20	112,421.38	990,497.34	312.24	990,809.58
	เมษายน	695.14	200,819.44	116,586.43	1,025,777.41	312.24	1,026,089.65
	พฤษภาคม	654.29	214,144.81	128,727.77	1,103,574.94	312.24	1,103,887.18
	มิถุนายน	655.94	202,434.02	117,996.54	1,035,069.04	312.24	1,035,381.28
	กรกฎาคม	699.83	203,615.61	117,307.74	1,038,067.43	312.24	1,038,379.67
	สิงหาคม	684.92	201,615.20	115,641.05	1,026,732.99	312.24	1,027,045.23
	กันยายน	668.97	191,790.99	109,665.39	975,950.02	312.24	976,262.26
	ตุลาคม	664.55	207,017.27	118,395.21	1,053,482.57	312.24	1,053,794.81
	พฤศจิกายน	583.16	153,774.51	77,589.02	759,658.68	312.24	759,970.92
	ธันวาคม	553.84	165,023.20	83,242.27	815,178.58	312.24	815,490.82
	ทั้งปี	699.83	2,261,247.44	1,254,258.72	11,421,084.35	3,746.88	11,424,831.23
DOAS #1	มกราคม	640.40	178,671.12	93,743.23	890,586.05	312.24	890,898.29
	กุมภาพันธ์	679.89	158,809.55	82,927.04	790,712.49	312.24	791,024.73
	มีนาคม	663.66	200,191.66	125,856.68	1,043,855.77	312.24	1,044,168.01
	เมษายน	706.60	209,312.00	130,819.39	1,089,708.34	312.24	1,090,020.58
	พฤษภาคม	670.49	222,585.67	140,948.01	1,162,861.57	312.24	1,163,173.81
	มิถุนายน	671.18	210,805.41	130,869.89	1,095,532.78	312.24	1,095,845.02
	กรกฎาคม	690.00	211,986.69	129,377.27	1,096,754.15	312.24	1,097,066.39
	สิงหาคม	705.38	210,750.39	127,507.31	1,087,893.69	312.24	1,088,205.93
	กันยายน	693.33	200,422.46	122,708.76	1,037,784.28	312.24	1,038,096.52

ระบบปรับอากาศ		การใช้ไฟฟ้า			ค่าพลังไฟฟ้า (บาท/ปี)	ค่าบริการ (บาท/ปี)	ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท/ปี)
		พลังไฟฟ้า สูงสุด (กิโลวัตต์/ เดือน)	พลังงานไฟฟ้า On peak (หน่วย/เดือน)	พลังงานไฟฟ้า Off peak (หน่วย/เดือน)			
	ตุลาคม	680.73	216,069.59	132,299.51	1,118,828.69	312.24	1,119,140.93
	พฤศจิกายน	598.50	159,890.85	85,409.96	800,334.12	312.24	800,646.36
	ธันวาคม	566.78	170,868.67	91,509.60	855,804.00	312.24	856,116.24
	ทั้งปี	706.60	2,350,364.07	1,393,976.65	12,070,655.92	3,746.88	12,074,402.80
DOAS #2	มกราคม	683.62	212,584.68	141,449.27	1,125,711.18	312.24	1,126,023.42
	กุมภาพันธ์	640.23	220,285.20	149,509.63	1,172,975.69	312.24	1,173,287.93
	มีนาคม	643.87	211,569.19	140,485.81	1,119,698.02	312.24	1,120,010.26
	เมษายน	686.53	209,823.48	136,660.85	1,104,569.88	312.24	1,104,882.12
	พฤษภาคม	688.82	208,297.13	134,246.27	1,093,396.69	312.24	1,093,708.93
	มิถุนายน	645.57	202,874.70	132,149.56	1,068,021.69	312.24	1,068,333.93
	กรกฎาคม	657.77	198,095.44	129,281.47	1,043,402.90	312.24	1,043,715.14
	สิงหาคม	554.14	160,855.34	96,500.35	828,524.57	312.24	828,836.81
	กันยายน	608.89	165,498.36	97,492.75	848,478.39	312.24	848,790.63
	ตุลาคม	688.82	2,315,303.31	1,476,153.06	12,118,078.62	3,746.88	12,121,825.50
	พฤศจิกายน	683.62	212,584.68	141,449.27	1,125,711.18	312.24	1,126,023.42
	ธันวาคม	640.23	220,285.20	149,509.63	1,172,975.69	312.24	1,173,287.93
	ทั้งปี	643.87	211,569.19	140,485.81	1,119,698.02	312.24	1,120,010.26
DOAS #3	มกราคม	484.76	142,583.55	75,986.49	713,308.47	312.24	713,620.71
	กุมภาพันธ์	503.85	127,264.15	66,433.01	633,600.08	312.24	633,912.32
	มีนาคม	506.45	156,861.48	95,463.71	810,956.34	312.24	811,268.58
	เมษายน	536.54	158,438.74	96,449.43	819,167.64	312.24	819,479.88
	พฤษภาคม	493.07	167,535.94	104,143.76	870,966.36	312.24	871,278.60
	มิถุนายน	497.83	160,386.87	97,434.74	828,796.78	312.24	829,109.02

ระบบปรับอากาศ		การใช้ไฟฟ้า			ค่าพลังไฟฟ้า (บาท/ปี)	ค่าบริการ (บาท/ปี)	ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท/ปี)
		พลังไฟฟ้า สูงสุด (กิโลวัตต์/ เดือน)	พลังงานไฟฟ้า On peak (หน่วย/เดือน)	พลังงานไฟฟ้า Off peak (หน่วย/เดือน)			
	กรกฎาคม	518.28	162,366.20	97,705.01	836,965.58	312.24	837,277.82
	สิงหาคม	517.74	160,677.46	96,599.98	828,064.22	312.24	828,376.46
	กันยายน	510.94	153,735.31	92,284.66	791,974.33	312.24	792,286.57
	ตุลาคม	509.29	163,183.09	98,405.42	841,637.85	312.24	841,950.09
	พฤศจิกายน	456.46	129,537.48	71,484.62	653,456.49	312.24	653,768.73
	ธันวาคม	441.13	137,555.52	75,656.70	693,345.68	312.24	693,657.92
	ทั้งปี	536.54	1,820,125.79	1,068,047.53	9,322,239.82	3,746.88	9,325,986.70
DOAS #4	มกราคม	499.95	148,620.18	82,216.73	750,164.85	312.24	750,477.09
	กุมภาพันธ์	524.65	132,696.86	73,071.23	669,047.51	312.24	669,359.75
	มีนาคม	525.22	163,230.11	101,604.72	848,885.60	312.24	849,197.84
	เมษายน	547.51	164,857.75	102,645.86	857,412.06	312.24	857,724.30
	พฤษภาคม	515.71	173,925.31	110,336.51	909,089.33	312.24	909,401.57
	มิถุนายน	515.65	166,736.39	103,391.59	866,246.06	312.24	866,558.30
	กรกฎาคม	549.07	168,877.62	103,659.84	875,029.75	312.24	875,341.99
	สิงหาคม	535.93	167,149.11	102,689.49	866,273.85	312.24	866,586.09
	กันยายน	530.92	160,065.47	98,301.05	829,481.13	312.24	829,793.37
	ตุลาคม	525.88	169,830.81	104,723.60	881,026.14	312.24	881,338.38
	พฤศจิกายน	466.07	135,292.86	77,286.84	688,291.40	312.24	688,603.64
	ธันวาคม	456.40	143,386.78	81,747.34	729,108.02	312.24	729,420.26
	ทั้งปี	549.07	1,894,669.25	1,141,674.80	9,770,055.70	3,746.88	9,773,802.58
DOAS #5	มกราคม	473.01	133,551.67	68,723.88	662,713.33	312.24	663,025.57
	กุมภาพันธ์	494.12	121,961.36	63,197.71	606,167.37	312.24	606,479.61
	มีนาคม	492.01	150,858.94	88,631.74	772,901.05	312.24	773,213.29

ระบบปรับอากาศ		การใช้ไฟฟ้า			ค่าพลังไฟฟ้า (บาท/ปี)	ค่าบริการ (บาท/ปี)	ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท/ปี)
		พลังไฟฟ้า สูงสุด (กิโลวัตต์/ เดือน)	พลังงานไฟฟ้า On peak (หน่วย/เดือน)	พลังงานไฟฟ้า Off peak (หน่วย/เดือน)			
	เมษายน	514.14	150,889.47	90,197.53	776,476.96	312.24	776,789.20
	พฤษภาคม	484.61	160,135.77	97,818.03	828,682.96	312.24	828,995.20
	มิถุนายน	495.25	150,432.49	91,263.24	777,083.19	312.24	777,395.43
	กรกฎาคม	480.18	153,098.56	90,253.49	785,051.24	312.24	785,363.48
	สิงหาคม	492.87	151,551.44	89,368.68	777,178.17	312.24	777,490.41
	กันยายน	488.60	148,443.12	87,114.90	760,308.56	312.24	760,620.80
	ตุลาคม	482.72	139,770.65	79,576.99	710,480.12	312.24	710,792.36
	พฤศจิกายน	438.04	129,951.53	73,022.50	658,437.91	312.24	658,750.15
	ธันวาคม	459.17	123,839.86	64,820.16	616,937.71	312.24	617,249.95
	ทั้งปี	514.14	1,714,484.86	983,988.85	8,732,418.56	3,746.88	8,736,165.44

ตารางที่ 5. 1 ผลวิเคราะห์การใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ กรณีห้างสรรพสินค้า

ผลวิเคราะห์การใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ กรณีโรงแรม

ตารางที่ 5.8 ผลวิเคราะห์การใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ กรณีห้างสรรพสินค้า

ระบบปรับอากาศ		การใช้ไฟฟ้า			ค่าพลังไฟฟ้า (บาท/ปี)	ค่าบริการ (บาท/ปี)	ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท/ปี)
		พลังไฟฟ้า สูงสุด (กิโลวัตต์/ เดือน)	พลังงานไฟฟ้า On peak (หน่วย/เดือน)	พลังงานไฟฟ้า Off peak (หน่วย/เดือน)			
ระบบปกติ	มกราคม	1,129.31	275,217.25	4,540.71	1,062,847.42	312.24	1,063,159.66
	กุมภาพันธ์	1,218.03	244,284.59	4,556.04	944,551.48	312.24	944,863.72
	มีนาคม	1,216.43	313,764.23	11,314.21	1,225,269.04	312.24	1,225,581.28
	เมษายน	1,261.93	329,779.48	13,182.57	1,290,661.36	312.24	1,290,973.60
	พฤษภาคม	1,199.46	357,502.74	17,404.63	1,406,041.26	312.24	1,406,353.50
	มิถุนายน	1,206.58	330,574.03	13,550.11	1,294,512.81	312.24	1,294,825.05
	กรกฎาคม	1,278.11	331,089.97	13,020.86	1,295,317.26	312.24	1,295,629.50
	สิงหาคม	1,239.55	329,204.68	12,206.00	1,286,305.08	312.24	1,286,617.32
	กันยายน	1,193.81	310,695.77	11,944.62	1,214,923.65	312.24	1,215,235.89
	ตุลาคม	1,201.29	341,519.63	13,106.74	1,335,404.61	312.24	1,335,716.85
	พฤศจิกายน	1,050.44	242,881.18	6,228.71	942,878.14	312.24	943,190.38
	ธันวาคม	999.81	262,677.43	6,694.69	1,019,636.12	312.24	1,019,948.36
	ทั้งปี	1,278.11	3,669,190.98	127,749.89	14,318,348.22	3,746.88	14,322,095.10
DOAS #1	มกราคม	1,175.05	307,650.36	19,790.24	1,220,606.29	312.24	1,220,918.53
	กุมภาพันธ์	1,273.83	272,325.26	17,517.77	1,080,453.30	312.24	1,080,765.54
	มีนาคม	1,202.86	347,736.97	25,792.37	1,387,213.50	312.24	1,387,525.74
	เมษายน	1,330.54	371,425.14	27,309.96	1,481,182.90	312.24	1,481,495.14
	พฤษภาคม	1,280.34	395,520.22	28,629.17	1,576,270.59	312.24	1,576,582.83
	มิถุนายน	1,264.40	370,560.07	26,175.99	1,475,368.48	312.24	1,475,680.72
	กรกฎาคม	1,270.68	370,862.27	25,820.18	1,475,738.47	312.24	1,476,050.71
	สิงหาคม	1,304.47	372,339.32	25,292.77	1,480,223.60	312.24	1,480,535.84

ระบบปรับอากาศ		การใช้ไฟฟ้า			ค่าพลังไฟฟ้า (บาท/ปี)	ค่าบริการ (บาท/ปี)	ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท/ปี)
		พลังไฟฟ้า สูงสุด (กิโลวัตต์/ เดือน)	พลังงานไฟฟ้า On peak (หน่วย/เดือน)	พลังงานไฟฟ้า Off peak (หน่วย/เดือน)			
	กันยายน	1,260.89	352,572.24	25,183.76	1,404,365.80	312.24	1,404,678.04
	ตุลาคม	1,259.84	384,295.79	27,055.74	1,529,856.67	312.24	1,530,168.91
	พฤศจิกายน	1,118.70	273,558.94	17,502.23	1,085,138.29	312.24	1,085,450.53
	ธันวาคม	1,036.25	293,031.79	18,561.03	1,161,968.82	312.24	1,162,281.06
	ทั้งปี	1,330.54	4,111,878.36	284,631.19	16,358,386.72	3,746.88	16,362,133.60
DOAS #2	มกราคม	1,277.96	385,434.67	23,368.35	1,526,067.14	312.24	1,526,379.38
	กุมภาพันธ์	1,249.66	397,008.80	24,171.76	1,572,117.74	312.24	1,572,429.98
	มีนาคม	1,280.67	377,000.88	22,051.90	1,490,896.22	312.24	1,491,208.46
	เมษายน	1,280.06	369,450.17	20,374.00	1,458,304.93	312.24	1,458,617.17
	พฤษภาคม	1,349.65	373,770.52	19,931.56	1,473,854.55	312.24	1,474,166.79
	มิถุนายน	1,248.26	363,091.34	20,375.34	1,433,982.80	312.24	1,434,295.04
	กรกฎาคม	1,240.06	351,884.19	20,108.64	1,390,521.78	312.24	1,390,834.02
	สิงหาคม	1,066.89	269,333.97	13,222.14	1,059,520.51	312.24	1,059,832.75
	กันยายน	1,135.95	273,146.58	13,122.32	1,073,884.75	312.24	1,074,196.99
	ตุลาคม	1,349.65	4,048,530.79	225,147.44	15,984,645.42	3,746.88	15,988,392.30
	พฤศจิกายน	1,277.96	385,434.67	23,368.35	1,526,067.14	312.24	1,526,379.38
	ธันวาคม	1,249.66	397,008.80	24,171.76	1,572,117.74	312.24	1,572,429.98
	ทั้งปี	1,280.67	377,000.88	22,051.90	1,490,896.22	312.24	1,491,208.46
DOAS #3	มกราคม	788.20	216,644.29	12,495.13	856,355.28	312.24	856,667.52
	กุมภาพันธ์	788.20	193,621.26	10,960.47	764,892.66	312.24	765,204.90
	มีนาคม	794.05	232,612.24	15,652.01	924,413.30	312.24	924,725.54
	เมษายน	814.35	232,726.35	15,986.26	925,588.22	312.24	925,900.46
	พฤษภาคม	776.77	242,961.73	16,867.62	966,689.75	312.24	967,001.99

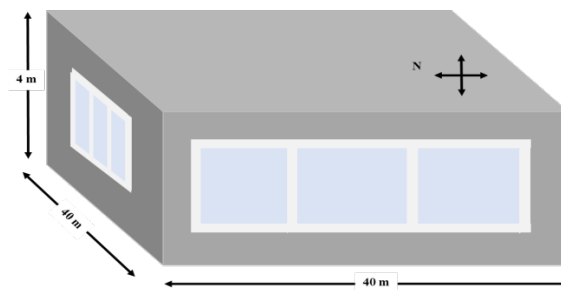
ระบบปรับอากาศ		การใช้ไฟฟ้า			ค่าพลังไฟฟ้า (บาท/ปี)	ค่าบริการ (บาท/ปี)	ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท/ปี)
		พลังไฟฟ้า สูงสุด (กิโลวัตต์/ เดือน)	พลังงานไฟฟ้า On peak (หน่วย/เดือน)	พลังงานไฟฟ้า Off peak (หน่วย/เดือน)			
	มิถุนายน	806.08	233,237.60	15,871.00	927,289.32	312.24	927,601.56
	กรกฎาคม	766.26	235,232.70	15,164.83	933,361.31	312.24	933,673.55
	สิงหาคม	791.22	233,842.91	15,152.36	928,017.25	312.24	928,329.49
	กันยายน	783.15	226,157.19	14,978.43	898,232.06	312.24	898,544.30
	ตุลาคม	788.24	233,110.96	15,818.56	926,689.04	312.24	927,001.28
	พฤศจิกายน	724.46	197,494.64	11,082.02	779,978.39	312.24	780,290.63
	ธันวาคม	696.56	198,610.71	10,343.59	782,616.48	312.24	782,928.72
	ทั้งปี	814.35	2,676,252.58	170,372.28	10,614,123.06	3,746.88	10,617,869.94
DOAS #4	มกราคม	806.04	225,080.57	9,346.34	881,671.15	312.24	881,983.39
	กุมภาพันธ์	841.94	200,910.03	8,314.46	786,929.53	312.24	787,241.77
	มีนาคม	827.98	245,412.41	12,806.76	967,093.33	312.24	967,405.57
	เมษายน	858.46	248,485.78	13,691.43	980,804.59	312.24	981,116.83
	พฤษภาคม	836.68	263,025.37	14,701.56	1,038,655.92	312.24	1,038,968.16
	มิถุนายน	839.72	249,859.65	13,504.29	985,646.78	312.24	985,959.02
	กรกฎาคม	857.14	254,196.59	13,133.96	1,001,419.17	312.24	1,001,731.41
	สิงหาคม	849.23	253,492.39	12,775.14	997,932.63	312.24	998,244.87
	กันยายน	842.59	242,193.58	12,818.52	954,805.99	312.24	955,118.23
	ตุลาคม	842.47	256,371.03	13,800.13	1,011,208.99	312.24	1,011,521.23
	พฤศจิกายน	764.73	204,769.10	8,442.48	801,974.82	312.24	802,287.06
	ธันวาคม	741.58	218,002.05	8,906.31	853,620.87	312.24	853,933.11
	ทั้งปี	858.46	2,861,798.53	142,241.39	11,261,763.77	3,746.88	11,265,510.65
DOAS #5	มกราคม	700.91	185,948.59	8,508.14	730,123.90	312.24	730,436.14
	กุมภาพันธ์	734.16	168,325.05	7,946.93	661,466.99	312.24	661,779.23

ระบบปรับอากาศ		การใช้ไฟฟ้า			ค่าพลังไฟฟ้า (บาท/ปี)	ค่าบริการ (บาท/ปี)	ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท/ปี)
		พลังไฟฟ้า สูงสุด (กิโลวัตต์/ เดือน)	พลังงานไฟฟ้า On peak (หน่วย/เดือน)	พลังงานไฟฟ้า Off peak (หน่วย/เดือน)			
	มีนาคม	723.44	206,549.10	11,882.19	816,383.08	312.24	816,695.32
	เมษายน	756.28	211,307.09	12,874.34	836,776.13	312.24	837,088.37
	พฤษภาคม	724.81	222,134.79	13,249.72	879,025.72	312.24	879,337.96
	มิถุนายน	738.14	209,664.69	12,499.35	829,664.89	312.24	829,977.13
	กรกฎาคม	697.62	210,370.19	11,460.55	830,068.78	312.24	830,381.02
	สิงหาคม	728.66	209,992.10	11,704.83	829,162.09	312.24	829,474.33
	กันยายน	737.68	205,412.53	11,890.51	812,053.62	312.24	812,365.86
	ตุลาคม	725.44	199,413.84	11,051.32	787,252.28	312.24	787,564.52
	พฤศจิกายน	675.02	177,678.14	8,000.89	697,365.50	312.24	697,677.74
	ธันวาคม	739.48	186,615.19	8,616.47	732,913.25	312.24	733,225.49
	ทั้งปี	756.28	2,393,411.30	129,685.25	9,442,256.24	3,746.88	9,446,003.12

5.4.3 ต้นทุนของระบบ

สำหรับต้นทุนของระบบจะคำนวณเฉพาะต้นทุนของเครื่องเติมอากาศแบบอิสระและต้นทุนของเครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่ ในการคำนวณต้นทุนของเครื่องจักรนี้จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลภาระการทำความเย็นสูงสุดของเครื่องจักรแต่ละตัวที่ได้จากการจำลองการทำงานของระบบ

สำหรับการศึกษานี้ แต่ละชั้นของอาคารที่จำลองขึ้นถูกกำหนดให้เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 40x40 เมตร สูง 10 ชั้น แต่ละชั้นจะมีเครื่องส่งลมเย็นจำนวน 4 เครื่อง (จำนวนเครื่องรวมทั้งอาคาร 40 เครื่อง) และเครื่องเติมอากาศจะมีจำนวน 2 เครื่องจ่ายให้กับทั้งอาคาร ดังนั้น ในการหาขนาดทำความเย็นของเครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่จะใช้ภาระทำความเย็นสูงสุดที่คำนวณได้ของอาคารหารด้วย 40 และขนาดทำความเย็นของเครื่องเติมอากาศคำนวณจากภาระการทำความเย็นสูงสุดของเครื่องหารด้วย 2

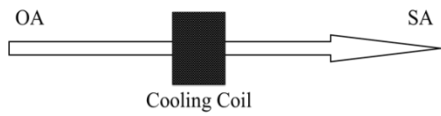


รูปที่ 5.32 แบบจำลองโครงสร้างอาคารตัวอย่าง (รูปแสดงเพียงชั้นเดียว)

สำหรับข้อมูลประกอบสำหรับสภาวะอากาศภายนอกและภายในอาคาร เพื่อประกอบการกำหนดราคาอุปกรณ์ของระบบเติมอากาศแบบอิสระเป็นดังนี้

สภาวะอากาศภายนอก	อุณหภูมิ 35°C	ความชื้นสัมพัทธ์ 60%
สภาวะอากาศภายในอาคาร	อุณหภูมิ 25°C	ความชื้นสัมพัทธ์ 50%

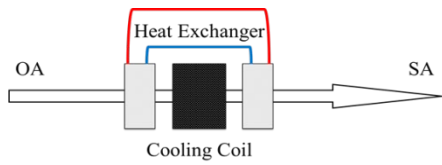
รูปแบบที่ 1: คอยล์เย็น (AC)



อัตราการไหลอากาศ (m ³ /s)		4.3	11.0
		(สำนักงาน/ โรงแรม)	(ห้างสรรพสินค้า)
อุณหภูมิควบแน่น (°C)		10-12	10-12
องค์ประกอบ			
coil	Cooling coil	ขนาดทำความเย็น (ตัน)	77
		อุณหภูมิอากาศจ่าย (°C)	10-12
		ราคา (บาท)	465,000
ราคาทั้งชุด (บาท)		870,000	465,000
ประมาณราคาซ่อมบำรุงต่อปี (บาท)		150,000	15,000

* ราคาทั้งชุดซึ่งรวมพัดลม 1 ตัว ฟิลเตอร์และอื่นๆ ทั้งหมดซึ่งเป็นราคาขายให้ลูกค้า

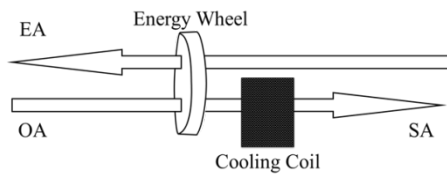
แบบที่ 2: คอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวด์คอยล์ (RC) ชนิดฮีทไปป์ (Heat Pipe)



อัตราการไหลอากาศ (m ³ /s)		4.3 (สำนักงาน / โรงแรม)	11.0 (ห้างสรรพสินค้า)
อุณหภูมิควบแน่น (°C)		10-12	10-12
องค์ประกอบ			
Cooling coil with runaround coil	ขนาดทำความเย็น (ตัน)	57	137
	อุณหภูมิอากาศจ่าย (°C)	15-18	15-18
	ราคา (บาท)	575,000	1,375,000
ราคาทั้งหมด (บาท)		1,600,000	575,000
ประมาณราคาซ่อมบำรุงต่อปี (บาท)		154,000	18,000

* ราคาทั้งหมดซึ่งรวมพัดลม 1 ตัว ฟิลเตอร์และอื่นๆ ทั้งหมดซึ่งเป็นราคาขายให้ลูกค้า

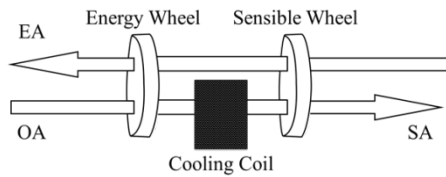
รูปแบบที่ 3: คอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน



อัตราการไหลอากาศ (m ³ /s)		4.3 (สำนักงาน/ โรงแรม)	11.0 (ห้างสรรพสินค้า)
อุณหภูมิควบแน่น (°C)		12	12
องค์ประกอบ			
Cooling coil	ขนาดทำความเย็น (ตัน)	53	108
	อุณหภูมิอากาศจ่าย (°C)	10	10
	ราคา (บาท)	446,250	913,750
Energy wheel	ขนาด	na	na
	ราคา (บาท)	871,875	2,053,125
Sensible wheel	ขนาด	na	na
	ราคา (บาท)	na	na
ราคาทั้งหมด (บาท)		1,318,125	2,966,875
ประมาณราคาซ่อมบำรุงต่อปี (บาท)		35,000	70,000

* ราคาทั้งหมดซึ่งรวมพัดลม 2 ตัว พิลเตอร์และอื่นๆ ทั้งหมดซึ่งเป็นราคาขายให้ลูกค้า

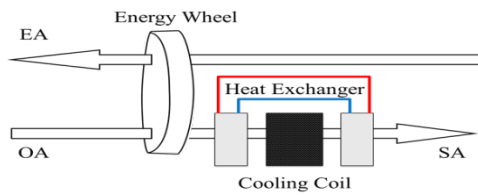
รูปแบบที่ 4: คอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน



อัตราการไหลอากาศ (m ³ /s)		4.3 (สำนักงาน/ โรงแรม)	11.0 (ห้างสรรพสินค้า)
อุณหภูมิควบแน่น (°C)		10-12	10-12
องค์ประกอบ			
Cooling coil	ขนาดทำความเย็น (ตัน)	43	88
	อุณหภูมิอากาศจ่าย (°C)	10	10
	ราคา (บาท)	361,250	743,750
Energy wheel	ขนาด	na	na
	ราคา (บาท)	871,875	2,053,125
Sensible wheel	ขนาด	na	na
	ราคา (บาท)	174,375	410,625
ราคาทั้งหมด (บาท)		1,407,500	3,207,500
ประมาณราคาซ่อมบำรุงต่อปี (บาท)		38,000	76,000

* ราคาทั้งหมดซึ่งรวมพัดลม 2 ตัว พิลเตอร์และอื่นๆ ทั้งหมดซึ่งเป็นราคาขายให้ลูกค้า

รูปแบบที่ 5: คอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและรันอะราวด์คอยล์



อัตราการไหลอากาศ (m ³ /s)		4.3	11.0
		(สำนักงาน / โรงแรม)	(ห้างสรรพสินค้า)
อุณหภูมิควบแน่น (°C)		10-12	10-12
องค์ประกอบ			
Cooling coil with runaround coil	ขนาดทำความเย็น (ตัน)	43	88
	อุณหภูมิอากาศจ่าย (°C)	15-18	15-18
	ราคา (บาท)	425,000	875,000
Energy wheel	ขนาด	na	na
	ราคา (บาท)	871,875	2,053,125
ราคาทั้งหมด (บาท)		1,296,875	2,928,125
ประมาณราคาซ่อมบำรุงต่อปี (บาท)		36,500	73,000

* ราคาทั้งหมดซึ่งรวมพัดลม 2 ตัว พิลเตอร์และอื่นๆ ทั้งหมดซึ่งเป็นราคาขายให้ลูกค้า

เครื่องส่งลมเย็นภายในอาคาร

ขนาดทำ ความเย็น (ตัน)	อัตราการส่ง (CFM)	สภาวะอากาศจ่าย		สภาวะอากาศในห้อง		ความดัน ภายนอก (นิ้วน้ำ)	ราคา (บาท)
		อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)		
15	4,500	13	90	25	50	0.35	63,000
20	6,000						84,000
25	7,500						105,000
30	9,000						126,000
40	12,000						168,000

ราคาต้นทุนระบบ

ในการคำนวณต้นทุนราคาระบบปรับอากาศของแต่ละอาคารจะพิจารณาเฉพาะราคาของเครื่องส่งลมเย็น (AHU) และเครื่องเติมอากาศ (OAU) เท่านั้น ราคาที่แสดงในตารางที่ 5.9-5.11 เป็นราคารวมของเครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่ (AHU) จำนวน 40 เครื่อง และเครื่องเติมอากาศแบบอิสระจำนวน 2 เครื่องสำหรับทั้งอาคาร

ตารางที่ 5.9 ราคาต้นทุนเครื่องส่งลมเย็นและเครื่องเติมอากาศ สำหรับอาคารสำนักงาน

ระบบปรับอากาศ	เครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่ (AHU) (บาท)	เครื่องเติมอากาศแบบอิสระ (OAU) (บาท)	ต้นทุนทั้งหมด (บาท)	ราคาต้นทุนต่อปี (บาทต่อปี) (10ปี)	ราคาต้นทุนต่อปี (บาทต่อปี) (15ปี)
ระบบปกติ	3,533,489	-	3,533,489	503,089	387,958
DOAS #1	2,524,295	930,000	3,454,295	491,814	379,263
DOAS #2	2,669,625	1,150,000	3,819,625	543,829	419,374
DOAS #3	2,505,205	2,636,250	5,141,455	732,027	564,504
DOAS #4	2,656,977	2,815,000	5,760,727	820,198	632,497
DOAS #5	2,623,926	2,593,750	5,217,676	742,880	572,873

ตารางที่ 5.10 ราคาต้นทุนเครื่องส่งลมเย็นและเครื่องเติมอากาศ สำหรับอาคารโรงแรม

ระบบปรับอากาศ	เครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่ (AHU) (บาท)	เครื่องเติมอากาศแบบอิสระ (OAU) (บาท)	ต้นทุนทั้งหมด (บาท)	ราคาต้นทุนต่อปี (บาทต่อปี) (10ปี)	ราคาต้นทุนต่อปี (บาทต่อปี) (15ปี)
ระบบปกติ	3,342,938	-	3,342,938	475,959	367,037
DOAS #1	2,396,386	930,000	3,326,386	473,603	365,219
DOAS #2	2,490,528	1,150,000	3,640,528	518,329	399,710
DOAS #3	2,370,136	2,636,250	5,006,386	712,797	549,674
DOAS #4	2,495,659	2,815,000	5,599,409	797,230	614,785
DOAS #5	2,460,699	2,593,750	5,054,449	719,640	554,951

ตารางที่ 5.11 ราคาต้นทุนเครื่องส่งลมเย็นและเครื่องเติมอากาศ สำหรับห้างสรรพสินค้า

ระบบปรับอากาศ	เครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่ (AHU) (บาท)	เครื่องเติมอากาศแบบอิสระ (OAU) (บาท)	ต้นทุนทั้งหมด (บาท)	ราคาต้นทุนต่อปี (บาทต่อปี) (10ปี)	ราคาต้นทุนต่อปี (บาทต่อปี) (15ปี)
ระบบปกติ	6,348,682	-	6,348,682	903,909	697,051
DOAS #1	3,945,136	2,190,000	6,135,136	873,505	673,605
DOAS #2	4,162,534	3,987,500	6,912,534	984,189	758,959
DOAS #3	3,904,568	6,450,000	9,838,318	1,400,755	1,080,194
DOAS #4	4,177,091	6,693,750	11,083,341	1,578,018	1,216,891
DOAS #5	4,114,449	6,037,500	9,970,699	1,419,603	1,094,729

5.4.5 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานนี้เป็นเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้เพื่อประเมินมูลค่าของต้นทุนรวมทั้งหมดของโครงการที่จะดำเนินการ ซึ่งต้นทุนรวมนี้จะรวมถึง ต้นทุนการจัดซื้อครั้งแรก ต้นทุนการติดตั้ง ต้นทุนการดูแลรักษา และรายได้จากการขายซากหรือเครื่องจักรและอุปกรณ์เมื่อถึงระยะเวลาสิ้นสุด ซึ่งวิธีวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดระยะเวลาการใช้งาน (Life cycle cost) นี้จะนำไปใช้พิจารณาความคุ้มค่าเพื่อตัดสินใจในการลงทุน

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (Life cycle cost analysis) เหมาะสำหรับนำมาวิเคราะห์สำหรับการออกแบบอาคาร ซึ่งผู้ออกแบบสามารถพิจารณาเปรียบเทียบแบบอาคารและระบบที่ใช้ในอาคารหลายๆ แบบ เพื่อหาว่าแบบและระบบใดมีประสิทธิภาพและความคุ้มค่ามากที่สุดได้

สำหรับค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ที่ใช้ประกอบการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน ได้แก่

อัตราค่าไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ร้อยละ 3 ต่อปี

อัตราดอกเบี้ย ร้อยละ 7 ต่อปี

อายุการใช้งานเครื่องจักร 10 ปี และ 15 ปี

ตารางที่ 5. 2 ผลวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบัน (Net present value) ของระบบเติมอากาศแบบอิสระ
กรณีสำนักงาน

ตารางที่ 5.12 ผลวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบัน (Net present value) ของระบบเติมอากาศแบบอิสระ กรณีสำนักงาน

ระบบปรับอากาศ	อายุเครื่องจักร 10 ปี				อายุเครื่องจักร 15 ปี			
	ต้นทุน (บาท/ปี)	พลังงาน (บาท/ปี)	ซ่อมบำรุง (บาทต่อปี)	รวม(บาท/ปี)	ต้นทุน (บาท/ปี)	พลังงาน (บาท/ปี)	ซ่อมบำรุง (บาทต่อปี)	รวม(บาท/ปี)
ระบบปกติ	3,533,489	41,185,571	4,894,885	49,613,945	3,533,489	56,590,115	6,725,708	68,364,224
DOAS #1	3,454,295	42,833,831	5,139,630	51,427,756	3,454,295	58,854,870	7,061,993	71,167,303
DOAS #2	4,337,125	41,491,796	5,188,578	50,500,000	4,337,125	57,010,877	7,129,251	69,226,064
DOAS #3	5,655,205	36,350,912	5,465,955	46,958,322	5,655,205	49,947,160	7,510,374	61,913,317
DOAS #4	5,908,227	36,359,505	5,514,904	47,635,137	5,908,227	49,958,967	7,577,631	61,993,434
DOAS #5	5,556,426	34,672,505	5,490,430	45,380,610	5,556,426	47,640,982	7,544,003	59,435,033

ตารางที่ 5.13 ผลวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบัน (Net present value) ของระบบเติมอากาศแบบอิสระ กรณี
โรงแรม

ระบบปรับ อากาศ	อายุเครื่องจักร 10 ปี				อายุเครื่องจักร 15 ปี			
	ต้นทุน (บาท/ปี)	พลังงาน (บาท/ปี)	ซ่อมบำรุง (บาทต่อปี)	รวม(บาท/ปี)	ต้นทุน (บาท/ปี)	พลังงาน (บาท/ปี)	ซ่อมบำรุง (บาทต่อปี)	รวม(บาท/ปี)
ระบบปกติ	3,342,938	93,489,804	4,894,885	101,727,627	3,342,938	128,457,580	6,725,708	146,642,981
DOAS #1	3,326,386	96,986,995	5,139,630	105,453,011	3,326,386	133,262,818	7,061,993	152,213,179
DOAS #2	4,158,028	96,489,626	5,188,578	105,318,733	4,158,028	132,579,419	7,129,251	151,536,071
DOAS #3	5,520,136	81,639,938	5,465,955	92,112,280	5,520,136	112,175,536	7,510,374	129,693,082
DOAS #4	5,746,909	84,275,980	5,514,904	95,390,294	5,746,909	115,797,531	7,577,631	133,705,453
DOAS #5	5,393,199	78,775,006	5,490,430	89,319,885	5,393,199	108,239,041	7,544,003	125,439,041

ตารางที่ 5.14 ผลวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบัน (Net present value) ของระบบเติมอากาศแบบอิสระ กรณี
ห้างสรรพสินค้า

ระบบปรับ อากาศ	อายุเครื่องจักร 10 ปี				อายุเครื่องจักร 15 ปี			
	ต้นทุน (บาท/ปี)	พลังงาน (บาท/ปี)	ซ่อมบำรุง (บาทต่อปี)	รวม(บาท/ปี)	ต้นทุน (บาท/ปี)	พลังงาน (บาท/ปี)	ซ่อมบำรุง (บาทต่อปี)	รวม(บาท/ปี)
ระบบปกติ	6,348,682	91,432,820	4,894,885	102,676,387	6,348,682	125,631,227	6,725,708	143,564,489
DOAS #1	6,135,136	97,395,770	5,384,374	108,915,280	6,135,136	133,824,486	7,398,279	153,161,239
DOAS #2	8,150,034	96,833,252	5,482,272	109,228,057	8,150,034	133,051,570	7,532,793	152,453,885
DOAS #3	10,354,568	75,872,759	6,037,025	91,748,102	10,354,568	104,251,272	8,295,040	121,846,561
DOAS #4	10,870,841	78,414,037	6,134,923	95,632,301	10,870,841	107,743,058	8,429,554	125,784,364
DOAS #5	10,151,949	72,216,600	6,085,974	88,273,273	10,151,949	99,227,609	8,362,297	116,441,994

ผลจากการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิของระบบเติมอากาศแบบอิสระแต่ละรูปแบบสำหรับทั้งสามประเภทอาคารพบว่า มีลักษณะแนวโน้มเดียวกัน กล่าวคือ ระบบเติมอากาศอิสระเฉพาะรูปแบบที่มีการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างอากาศเติมและอากาศทิ้งที่มีความคุ้มค่าเชิงต้นทุนเมื่อเทียบกับระบบปรับอากาศปกติ โดยระบบเติมอากาศในรูปแบบที่ 5 ซึ่งประกอบด้วยคอยล์น้ำเย็น รั้นอะราวคอยล์ และเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานให้ความคุ้มค่ามากที่สุด (มูลค่าปัจจุบันสุทธิต่ำที่สุด) สำหรับระบบเติมอากาศที่ไม่มีเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงาน ระบบมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสูงกว่าเนื่องจากระบบสามารถลดและควบคุมความชื้นอากาศในอาคารได้ดีกว่าระบบปกติ

5.5 คาดการณ์ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานของระบบเติมอากาศแบบอิสระในอาคารพาณิชย์ใน 15 ปี

หัวข้อนี้เป็นการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานของระบบเติมอากาศแบบอิสระ (DOAS) ในภาคธุรกิจสำหรับอาคารสำนักงาน โรงแรม และห้างสรรพสินค้า โดยผลอนุรักษ์เกิดจากการติดตั้งและใช้งานระบบ DOAS กับอาคารที่คาดการณ์ว่าจะก่อสร้างเพิ่มขึ้นในอีก 15 ปีข้างหน้า

ในกรณีฐาน อาคารที่ก่อสร้างเพิ่มจะประเมินจากข้อมูลทำนายการเติบโตของการใช้ไฟฟ้าในอนาคตของแต่ละประเภทอาคารและจากค่าสมรรถนะพลังงานของอาคารที่ใช้ในการจัดทำแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี ของกระทรวงพลังงาน สำหรับกรณีของระบบ DOAS การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศจะประเมินจากผลประหยัดที่ได้จากการศึกษาในหัวข้อที่ 4.4 ในแต่ละปีของการวิเคราะห์ สัดส่วนของอาคารสร้างใหม่ที่ติดตั้งระบบ DOAS กับอาคารที่ไม่ติดตั้งระบบจะกำหนดจากแบบจำลองดิฟฟิวชัน (Diffusion model) โดยพิจารณาเสมือนระบบ DOAS เป็นผลิตภัณฑ์หรือเทคโนโลยีใหม่ที่เพิ่มเข้ามาในตลาดอาคาร

5.5.1 การเติบโตของอาคารพาณิชย์

การศึกษานี้พิจารณาเฉพาะกับระบบ DOAS ในกลุ่มอาคารพาณิชย์ขนาดกลางและขนาดใหญ่ เนื่องจากเป็นอาคารที่ใช้พลังงานสูง มีผู้ใช้อาคารจำนวนมาก จำเป็นต้องมีการระบายอากาศที่ได้มาตรฐาน ทำให้ระบบ DOAS มีศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงานสูงด้วย

การเติบโตของอาคารกลุ่มนี้ระหว่างปี พ.ศ. 2560-2573 คาดการณ์จากข้อมูลการใช้พลังงานอาคารของการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคซึ่งสามารถแสดงในตารางที่ 4.15 จากค่าในตาราง การเติบโตของการใช้พลังงานมีความแตกต่างในแต่ละประเภทอาคารและในพื้นที่เขตนครหลวงและเขตภูมิภาค โดยอาคารในส่วนภูมิภาคมีอัตราการเติบโตสูงกว่าเขตนครหลวง

ตารางที่ 5.15 คาดการณ์การใช้พลังงานของอาคารขนาดกลางและใหญ่ประเภทต่างๆ (GWh/year) ใน 15 ปี

ปีที่	กรุงเทพและปริมณฑล			ภูมิภาค			ประเทศ		
	สำนักงาน	โรงแรม	สรรพสินค้า	สำนักงาน	โรงแรม	สรรพสินค้า	สำนักงาน	โรงแรม	สรรพสินค้า
0	6,339.9	578.5	528.3	2,245.1	2,116.2	4,368.0	8,585.1	2,694.7	4,896.3
1	6,455.6	584.4	545.7	2,306.7	2,150.3	4,725.4	8,762.3	2,734.7	5,271.1
2	6,573.4	590.3	563.6	2,369.9	2,185.0	5,112.0	8,943.3	2,775.3	5,675.6
3	6,693.3	596.3	582.1	2,434.9	2,220.2	5,530.3	9,128.2	2,816.5	6,112.4
4	6,815.4	602.3	601.3	2,501.6	2,256.0	5,982.8	9,317.0	2,858.4	6,584.0
5	6,939.7	608.4	621.0	2,570.2	2,292.4	6,472.3	9,509.9	2,900.9	7,093.3
6	7,066.4	614.6	641.4	2,640.7	2,329.4	7,001.8	9,707.0	2,944.0	7,643.3
7	7,195.3	620.8	662.5	2,713.0	2,366.9	7,574.7	9,908.3	2,987.8	8,237.2
8	7,326.5	627.1	684.3	2,787.4	2,405.1	8,194.5	10,113.9	3,032.2	8,878.8
9	7,460.2	633.5	706.7	2,863.8	2,443.9	8,865.0	10,324.0	3,077.4	9,571.7
10	7,596.3	639.9	730.0	2,942.3	2,483.3	9,590.3	10,538.6	3,123.2	10,320.3
11	7,734.9	646.4	753.9	3,023.0	2,523.4	10,375.0	10,757.9	3,169.7	11,128.9
12	7,876.0	652.9	778.7	3,105.9	2,564.1	11,223.9	10,981.8	3,217.0	12,002.6
13	8,019.7	659.5	804.3	3,191.0	2,605.4	12,142.2	11,210.7	3,265.0	12,946.5
14	8,166.0	666.2	830.7	3,278.5	2,647.4	13,135.7	11,444.4	3,313.7	13,966.4
15	8,315.0	673.0	858.0	3,368.3	2,690.1	14,210.5	11,683.3	3,363.1	15,068.5

โดยภาพรวมทั้งประเทศจะเห็นว่าในอีก 15 ปีข้างหน้า การใช้พลังงานของอาคารสำนักงานจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 36.1 อาคารโรงแรมเพิ่มขึ้นร้อยละ 24.8 และอาคารสรรพสินค้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 207.7 เทียบกับปีฐาน 2560

5.5.2 การใช้พลังงานของอาคารพาณิชย์

ตารางที่ 5.15 แสดงคาดการณ์การใช้พลังงานรวมของทั้งอาคาร ดังนั้น การประเมินผลอนุรักษ์พลังงานของระบบ DOAS จึงจำเป็นต้องทราบสัดส่วนการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศเทียบกับของทั้งอาคารให้ได้ก่อน ในอดีตประเทศไทยมีการตรวจวัดการใช้พลังงานของอาคารควบคุม ข้อมูลจากการตรวจวัดมี

การจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและประสิทธิภาพพลังงาน กระทรวงพลังงาน ตารางที่ 5.16 แสดงค่าเฉลี่ยที่ได้จากฐานข้อมูลตรวจวัดพลังงานของอาคารทั้งสามประเภท ประกอบด้วย สมรรถนะพลังงานของกรอบอาคาร ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง และระบบปรับอากาศ และจากการใช้สมการพลังงาน (Energy equation) ของเกณฑ์มาตรฐานสมรรถนะพลังงานอาคาร ให้สามารถประเมินสัดส่วนการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศของอาคาร จากตารางจะเห็นว่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับอากาศคิดเป็นร้อยละ 43.6, 41.8, 55.0 สำหรับอาคารสำนักงาน โรงแรม ห้างสรรพสินค้า ตามลำดับ

ตารางที่ 5.16 แบบจำลองการใช้พลังงานของอาคาร

พารามิเตอร์	สมรรถนะพลังงานอาคาร		
	สำนักงาน	โรงแรม	ห้างสรรพสินค้า
กรณีอาคารปกติ (กรณีฐาน)			
สมรรถนะพลังงานของกรอบอาคาร ($\text{W/m}_{\text{wall}}^2$)	61.4	33.0	43.6
สมรรถนะพลังงานของหลังคา ($\text{W/m}_{\text{roof}}^2$)	29.1	18.1	20.8
การใช้ไฟฟ้าส่องสว่างในพื้นที่ปรับอากาศ (W/m_{ac}^2)	20.0	16.2	19.6
การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่ปรับอากาศ (W/m_{ac}^2)	45.0	35.0	26.2
การใช้ไฟฟ้าส่องสว่างในพื้นที่ไม่ปรับอากาศ ($\text{W/m}_{\text{non-ac}}^2$)	10.0	3.5	5.3
การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่ไม่ปรับอากาศ ($\text{W/m}_{\text{non-ac}}^2$)	10.0	10.7	9.7
สมรรถนะพลังงานระบบปรับอากาศ (COP)	2.21	2.21	2.21
สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศต่อพื้นที่ไม่ปรับอากาศ (-)	0.72	0.50	0.66
การใช้พลังงานรวมของอาคาร ($\text{kWh/m}^2/\text{year}$)	219.2	271.2	308.3
การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ ($\text{kWh/m}^2/\text{year}$)	94.3	113.4	170.0
สัดส่วนการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศเทียบกับการใช้พลังงานรวม	43.6	41.8	55.0

กรณีอาคารที่ใช้ระบบ DOAS			
ศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงานของระบบปรับอากาศ (%)	15.8	15.7	21.0
พลังงานในระบบปรับอากาศที่ลดลง (kWh/m ² /year)	15.1	17.8	35.6
การใช้พลังงานรวมของทั้งอาคาร (kWh/m ² /year)	204.1	253.4	272.7

เนื่องจากผลวิเคราะห์ในหัวข้อ 5.4 แสดงให้เห็นว่าระบบ DOAS #5 มีความคุ้มค่าเชิงต้นทุนมากที่สุด ดังนั้น การคาดการณ์ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานของระบบปรับอากาศใน 15 ปี กำหนดให้อาคารใช้ระบบ DOAS #5

ผลศึกษาในหัวข้อที่ 5.4 ยังแสดงให้เห็นว่าระบบ DOAS #5 ใช้พลังงานน้อยกว่าระบบปกติร้อยละ 15.8, 15.7, 21.0 สำหรับอาคารสำนักงาน โรงแรม ห้างสรรพสินค้า ตามลำดับ โดยผลประหยัดนี้จะทำให้การใช้พลังงานรวมของทั้งอาคารลดลงจาก 219.2 เป็น 204.1 kWh/m²/year สำหรับสำนักงาน ลดลงจาก 271.2 เป็น 253.4 kWh/m²/year สำหรับอาคารโรงแรม ลดลงจาก 308.3 เป็น 272.7 kWh/m²/year สำหรับอาคารสรรพสินค้า ดังแสดงในตารางที่ 5.14

5.5.3 ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานของระบบ DOAS ใน 15 ปี

ในการคำนวณศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน แบบจำลองดิฟฟิวชัน (Diffusion model) จะถูกใช้ประเมินสัดส่วนของอาคารที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งระบบ DOAS สำหรับอาคารที่ก่อสร้างใหม่ในอีก 15 ปีข้างหน้า แบบจำลองดิฟฟิวชันสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 5.1

$$P_n(n+1) = P_n(n) + \frac{(S_h - P_n(n)) \cdot F \cdot R \cdot E}{3} \quad (5.1)$$

เมื่อ $P_n(n)$ คือ ส่วนแบ่งตลาดของผลิตภัณฑ์หรือเทคโนโลยีในตลาดปีที่ n โดย n เท่ากับ 0, ---,

S_h คือ ส่วนแบ่งตลาดขั้นสุดท้าย (ultimate market share) ของผลิตภัณฑ์หรือเทคโนโลยี ซึ่งสามารถคำนวณได้จากแบบจำลองดิฟฟิวชัน (Diffusion model),

F คือ การยอมรับเทคโนโลยีของตลาด (market acceptance of the technology) แสดงได้ด้วยความสัมพันธ์ $\exp[P_n(n-1)]$

R คือ ความเสี่ยงที่รับได้ของเทคโนโลยี ซึ่งเท่ากับ 1 เมื่อไม่มีความเสี่ยง และเท่ากับ 0 เมื่อความเสี่ยงมาก โดยค่า R แสดงได้ด้วยความสัมพันธ์ $R_0 + (1 - R_0)$

R_0 คือ ความเสี่ยงที่รับได้ในปีที่ 0 คำนวณจาก

$$E = \text{คำนวณจาก } 1 - \frac{1}{\exp[0.5 \cdot (ROI/H)^2]}$$

H คือ อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ยอมรับได้ (Economic hurdle rate)

สัดส่วนหรือส่วนแบ่งขั้นสุดท้าย (Final penetration) ของอาคารที่ใช้ระบบ DOAS (ตามสมการข้างต้น) ประเมินได้จากส่วนกลับของมูลค่าปัจจุบันสุทธิค่าใช้จ่ายตลอดอายุใช้งาน (Net present value of the system life cycle cost) ของระบบ DOAS จากผลคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุใช้งานระบบในตารางที่ 5.12-5.14 สัดส่วนของอาคารแต่ละประเภทที่ใช้ระบบ DOAS

= 53.5% สำหรับอาคารสำนักงาน

= 53.9% สำหรับโรงแรม

= 55.2% สำหรับห้างสรรพสินค้า

ในการคำนวณกำหนดให้การปรับอากาศด้วยระบบ DOAS ไม่มีความเสี่ยง ($R=0$) เนื่องจากอุปกรณ์ต่างๆ ของมีการใช้งานในเชิงพาณิชย์และอุตสาหกรรมแล้ว ค่าส่วนแบบตลาดของระบบ DOAS กำหนดให้เท่ากับ 0 ในปีฐาน (ปีที่ 0) ในตารางที่ 4.17 แสดงค่าสัดส่วนเป็นร้อยละของอาคารก่อสร้างใหม่ที่ติดตั้งระบบ DOAS และผลอนุรักษ์พลังงานที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปี จากตาราง ผลอนุรักษ์พลังงานตลอด 15 ปีจะเท่ากับ 470.3 ล้านหน่วยสำหรับอาคารสำนักงาน, 97.6 ล้านหน่วยสำหรับโรงแรม และ 2,344.6 ล้านหน่วยสำหรับห้างสรรพสินค้า ตามลำดับ โดยผลอนุรักษ์รวมจากทั้งสามอาคารเท่ากับ 2,912.5 ล้านหน่วย คิดเป็นร้อยละ 3 ของการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นของอาคารใน 15 ปีข้างหน้า

ตารางที่ 5.17 การอนุรักษ์พลังงานของระบบ DOAS สำหรับอาคารสำนักงาน โรงแรม และห้างสรรพสินค้า

ปีที่	สัดส่วนของอาคารใหม่ที่ติดตั้งระบบ DOAS (%)			ผลอนุรักษ์พลังงานต่อปี (ล้านหน่วยต่อปี)		
	สำนักงาน	โรงแรม	ห้างสรรพสินค้า	สำนักงาน	โรงแรม	ห้างสรรพสินค้า
0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
1	1.3	1.3	1.3	0.16	0.03	0.56
2	2.7	2.7	2.8	0.67	0.14	2.42
3	4.3	4.4	4.5	1.63	0.35	6.09
4	6.4	6.4	6.6	3.21	0.68	12.39
5	8.9	8.9	9.2	5.65	1.20	22.44
6	11.9	12.0	12.4	9.20	1.95	37.67

7	15.4	15.6	16.2	14.11	2.98	59.54
8	19.4	19.7	20.4	20.50	4.31	89.28
9	23.6	23.9	24.8	28.37	5.94	127.50
10	27.8	28.1	29.1	37.50	7.83	174.06
11	31.7	32.1	33.2	47.61	9.91	228.31
12	35.3	35.7	36.9	58.39	12.12	289.40
13	38.4	38.8	40.1	69.59	14.39	356.70
14	41.1	41.5	42.8	81.05	16.71	429.78
15	43.3	43.7	45.1	92.64	19.03	508.47

5.6 สรุปผลการศึกษาการทำงานและภาระการทำความเย็นของระบบเติมอากาศแบบอิสระ

รายงานวิจัยฉบับนี้นำเสนอผลการศึกษาการปรับอากาศด้วยระบบเติมอากาศแบบอิสระ (Dedicated outdoor air system) เพื่อวิเคราะห์รูปแบบของระบบที่เหมาะสมสำหรับการทำงานกับอาคารประเภทต่างๆ ได้แก่ อาคารสำนักงาน โรงแรม และสรรพสินค้า ภายใต้ภูมิอากาศแบบร้อนและชื้นของประเทศไทย โดยการจำลองระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ TRNSYS

การจำลองคำนวณภาระการทำความเย็นและการใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศ (Outdoor air unit) และของเครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่ (Air handling unit) รวมถึงสภาวะอากาศภายในอาคาร (Indoor air condition) อันเป็นผลจากการทำงานของระบบปรับอากาศ ผลจากการจำลองสามารถสรุปได้ดังนี้

ระบบปรับอากาศแบบปกติซึ่งอาศัยเครื่องส่งลมเย็นจัดการทั้งภาระความร้อนสัมผัส ความร้อนแฝง และการเติมอากาศบริสุทธิ์ ไม่สามารถควบคุมสภาวะของอากาศในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ อาคารจึงมีความชื้นค่อนข้างสูง (55-70%) ระบบปรับอากาศแบบปกติที่กำหนดเป็นกรณีอ้างอิงนี้ไม่มีอุปกรณ์เสริมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน ดังนั้น ระบบจึงมีการใช้พลังงานสูง

ระบบปรับอากาศด้วยเครื่องเติมอากาศแบบอิสระใช้เครื่องเติมอากาศจัดการการระบายอากาศของอาคารและใช้เครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่จัดการภาระความร้อน (ความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง) ในส่วนที่เหลือ ระบบลักษณะนี้แยกจัดการภาระความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงออกจากกัน ทำให้สามารถควบคุมสภาวะอากาศภายในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมั่นใจว่าการระบายอากาศของอาคารมีอย่างเพียงพอสำหรับคุณภาพอากาศที่ดี ผลจากการจำลองแสดงให้เห็นว่าระบบเติมอากาศแบบอิสระทุกรูปแบบสามารถควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในอาคารได้ตามที่กำหนดไว้ 25°C โดยความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ใกล้เคียงร้อยละ 50 เป็นไปตามมาตรฐานระบบปรับอากาศและระบบอากาศของประเทศไทยและของสากล

เครื่องเติมอากาศแบบอิสระสามารถประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์เพื่อควบคุมความชื้นและอุปกรณ์ประสิทธิภาพพลังงาน เช่น รั้นอะราวคอยล์ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัส (แบบหมุนหรือแบบฮีตไปป์) เครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน โดยในการศึกษานี้ เครื่องเติมอากาศแบบอิสระที่ทำการศึกษาประกอบด้วย 5 รูปแบบ คือ

รูปแบบที่ 1: เครื่องเติมอากาศที่มีเฉพาะคอยล์เย็น

รูปแบบที่ 2: เครื่องเติมอากาศที่ใช้คอยล์เย็นร่วมกับรั้นอะราวคอยล์ (Runaround coil)

รูปแบบที่ 3: เครื่องเติมอากาศที่ใช้คอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน (Enthalpy wheel)

รูปแบบที่ 4: เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 3 ใช้ร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัส (Sensible wheel)

รูปแบบที่ 5: เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 ใช้ร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน (Enthalpy wheel)

การศึกษาได้จำลองการทำงานของระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องเติมอากาศแบบอิสระ 5 รูปแบบที่กำหนดข้างต้นเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศแบบปกติ ซึ่งผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า

ระบบเติมอากาศแบบอิสระรูปแบบที่ 1 ควบคุมและลดความชื้นของอากาศในอาคารได้ดีกว่า แต่มีการใช้พลังงานสูงกว่าเนื่องจากระบบมีภาระความร้อนแฝงสูงกว่า

ระบบเติมอากาศแบบอิสระรูปแบบที่ 2 ควบคุมและลดความชื้นของอากาศในอาคารได้ดีกว่าระบบปรับอากาศแบบปกติและระบบเติมอากาศแบบอิสระรูปแบบที่ 1 ผลจำลองแสดงให้เห็นว่าระบบเติมอากาศรูปแบบที่ 2 มีการใช้พลังงานต่ำกว่าระบบปรับอากาศปกติ 1-3% ซึ่งเป็นผลจากการควบแน่นของน้ำในอากาศเติมบนด้านคอนเดนเซอร์ของชุดรีนอะราวคอยล์

ระบบเติมอากาศแบบอิสระรูปแบบที่ 3 ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายในอาคารได้ดี อย่างไรก็ตาม เครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนที่ติดตั้งสามารถลดภาระการทำความเย็นของอากาศเติม ทำให้การใช้พลังงานและขนาดทำความเย็นของระบบเล็กกว่าเมื่อเทียบกับระบบปรับอากาศปกติ

ระบบเติมอากาศแบบอิสระรูปแบบที่ 4 ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่ามีการภาระทำความเย็นและการใช้พลังงานสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบเติมอากาศรูปแบบที่ 3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัสที่ติดตั้งเพิ่มทำให้อากาศทิ้งมีอุณหภูมิต่ำลงจึงลดอุณหภูมิอากาศเติมก่อนที่จะเข้าคอยล์เย็นของเครื่องเติมอากาศแบบอิสระได้ อย่างไรก็ตาม อากาศเติมที่ผ่านคอยล์เย็นแล้วนั้นก่อนจ่ายเข้าสู่อาคารจะถูกให้ความร้อนซ้ำ (Reheat) ด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัสทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้เครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่ต้องรับภาระความร้อนสัมผัสเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับระบบเติมอากาศรูปแบบที่ 3 อย่างไรก็ตาม ระบบเติมอากาศแบบอิสระรูปแบบที่ 4 มีการใช้พลังงานต่ำกว่าระบบปรับอากาศปกติ

ระบบเติมอากาศแบบอิสระรูปแบบที่ 5 เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้สามารถลดความชื้นและรับภาระความร้อนแฝงในสัดส่วนที่สูงกว่าเครื่องเติมอากาศรูปแบบอื่น ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าระบบเติมอากาศแบบอิสระรูปแบบนี้มีภาระการปรับอากาศและการใช้พลังงานต่ำที่สุด

เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 5 (เครื่องเติมอากาศที่ประกอบด้วย คอยล์เย็น เครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและรีนดอร์วาร์ดคอยล์) สามารถลดการใช้พลังงานได้มากที่สุด โดยสามารถลดภาระปรับอากาศทั้งปีได้ระหว่าง 15-23%, 14-23% และ 21-34% สำหรับกรณีอาคารตัวอย่างสำนักงาน โรงแรม และห้างสรรพสินค้า ตามลำดับ

ผลจากการวิเคราะห์ภาระการปรับอากาศและการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศปกติและระบบเติมอากาศแบบอิสระถูกนำมาใช้ประกอบการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของระบบ โดยค่า

พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศคำนวณโดยอิงอัตราค่าไฟฟ้า TOU ตามการไฟฟ้านครหลวง และต้นทุนของระบบปรับอากาศประมาณการโดยอาศัยข้อมูลจากผู้ผลิตอุปกรณ์พบว่า ระบบเติมอากาศแบบอิสระมีต้นทุนสูงกว่าระบบปรับอากาศแบบปกติร้อยละ 15-20 ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าระบบเติมอากาศแบบอิสระที่มีเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนมีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่ำกว่าระบบปรับอากาศปกติ โดยระบบเติมอากาศแบบอิสระรูปแบบที่ 5 มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่ำที่สุด

การวิจัยในโครงการนี้ครอบคลุมการสำรวจความสบายอุณหภูมิอากาศของคนไทยจำนวน 175 คนที่ทำงานอยู่ในอาคารปรับอากาศ การสำรวจประกอบด้วยการสอบถามความรู้สึกของผู้ถูกสัมภาษณ์และการตรวจวัดสภาวะอากาศโดยรอบ ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในอาคาร ความเร็วลม อุณหภูมิโกลบ ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

อุณหภูมิโอเปอเรทีฟสำหรับความรู้สึกสบายที่ภาวะสมดุลความร้อนของร่างกาย (ไม่รู้สึกร้อนหรือเย็น) เท่ากับ 26°C

ในห้องที่มีการปรับอากาศ คนไทยยอมรับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่ต่ำกว่าภาวะสมดุลความร้อนมากกว่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่สูงกว่า

ความพึงพอใจของคนต่อการไหลหรือความเร็วลมของอากาศภายในห้องพบว่าสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศในห้อง โดยเมื่ออุณหภูมิอากาศสูงขึ้นคนยอมรับพึงพอใจที่จะมีลมผ่านตัวมากขึ้น

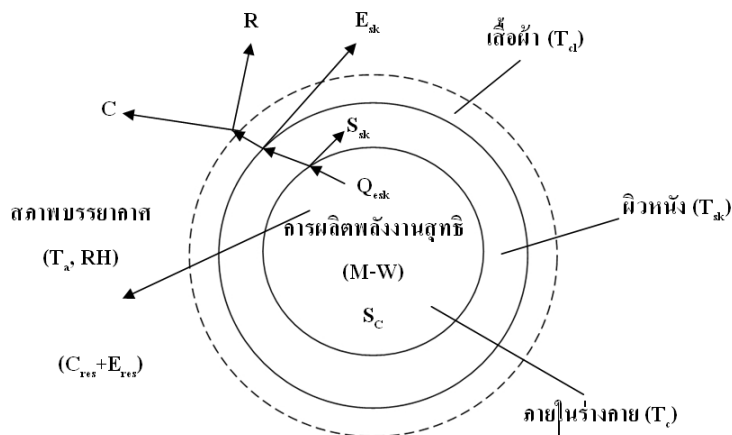
ผลการจำลองการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศเมื่อมีการปรับเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น 1°C จาก 25°C เป็น 26°C พบว่าระบบปรับอากาศปกติมีการใช้พลังงานลดลงร้อยละ 6-7 สำหรับอาคารตัวอย่าง อย่างไรก็ตาม การปรับเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ความชื้นของอากาศในอาคารเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งกระทบต่อความสบายของผู้อยู่ในอาคาร ในกรณีของระบบเติมอากาศแบบอิสระที่มีเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงาน การปรับเพิ่มอุณหภูมิช่วยลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 1-4 โดยที่ความชื้นของอากาศในอาคารยังคงสามารถควบคุมในระดับที่ใกล้เคียงเดิมที่ร้อยละ 50-55

บทที่ 6 ความสบายอุณหภูมิและศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงานจากการปรับเพิ่มอุณหภูมิในพื้นที่ปรับอากาศ

6.1 การถ่ายเทความร้อนระหว่างบุคคลกับสิ่งแวดล้อม

ความสบายเชิงความร้อนเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อสภาพแวดล้อมภายนอกและสภาพในร่างกายมีความสมดุลทางความร้อนต่อกัน ซึ่งในความเป็นจริงคงเป็นการยากที่จะทำการปรับสภาพภายในร่างกาย ดังนั้น ผู้อยู่อาศัยจึงจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงสภาพอากาศภายนอกแทน

Gagge และคณะ ได้สร้างแบบจำลองสมดุลความร้อนของร่างกายขึ้นดังรูปที่ 5.1 [27] โดยแสดงให้เห็นว่าร่างกายมีการผลิตความร้อนออกมาโดยกระบวนการเมตาบอลิซึม ซึ่งจะมีการสูญเสียความร้อนออกจากภายในร่างกายโดยการหายใจ และทางผิวหนัง โดยความร้อนที่ถ่ายเทออกสู่ภายนอกทางผิวหนังนั้นจะมีส่วนหนึ่งถูกกักเก็บไว้บริเวณผิวหนัง และส่วนที่เหลือจะออกจากผิวโดยการพาความร้อน การแผ่รังสีความร้อน และการระเหยทางเหงื่อจากผิวหนัง ซึ่งจากรูปวงกลมที่บิเล็กแสดงถึงการถ่ายเทความร้อนภายในร่างกาย ส่วนวงกลมที่บิใหญ่เป็นส่วนของการถ่ายเทความร้อนจากผิวหนัง และสุดท้ายเป็นส่วนของเสื้อผ้าซึ่งก็คือวงกลมเส้นประ



รูปที่ 6.1 แบบจำลองการเกิด และการกระจายความร้อนจากร่างกายมนุษย์

จากรูปที่ 6.1 ได้สมการถ่ายเทความร้อนสองส่วน คือ สมการการถ่ายเทความร้อนจากร่างกายสู่สิ่งแวดล้อมดังสมการที่ 6.1

$$S_c = (M - W) - C_{res} - E_{res} - Q_{csk} \quad (6.1)$$

เมื่อ S_c คือ ความร้อนสะสมภายในร่างกาย, W/m^2

$M-W$ คือ อัตราการผลิตพลังงานสุทธิ, W/m^2

C_{res} คือ การถ่ายเทความร้อนโดยการพาจากการหายใจ, W/m^2

E_{res} คือการถ่ายเทความร้อนโดยการระเหยจากการหายใจ, W/m^2

Q_{csk} คือ การถ่ายเทความร้อนจากภายในร่างกายสู่ผิวหนัง, W/m^2

และสมการการถ่ายเทความร้อนจากผิวหนังสู่สิ่งแวดล้อมแสดงได้ดังสมการที่ 6.2

$$S_{sk} = Q_{csk} - C - R - E_{sk} \quad (6.2)$$

เมื่อ S_{sk} คือ ความร้อนสะสมใต้ผิวหนัง, W/m^2

C = การถ่ายเทความร้อนโดยการพาจากผิวสู่สิ่งแวดล้อม, W/m^2

R = การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีจากผิวสู่สิ่งแวดล้อม, W/m^2

E_{sk} = การถ่ายเทความร้อนโดยการระเหยจากผิวหนัง, W/m^2

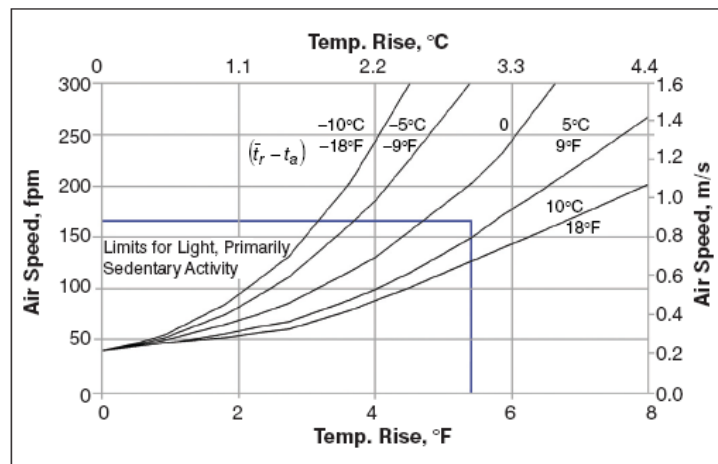
6.1.1 ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน

ปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อมต่อสภาพสบาย ประกอบด้วย

1. อุณหภูมิของอากาศ (Air Temperature, t_a) เป็นตัวแปรที่มีผลต่อการแผ่รังสี การพาและการนำความร้อนออกจากร่างกาย เมื่ออุณหภูมิของอากาศแวดล้อมต่ำกว่าร่างกาย จะช่วยให้การแผ่รังสี การพาและการนำความร้อนออกจากร่างกายเป็นไปได้เป็นอย่างดี

2. ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Relative Humidity, RH) มีผลต่อการระเหยความชื้นจากการหายใจ และจากผิวของร่างกาย โดยถ้าอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ จะทำให้ความชื้นสามารถระเหยออกจากร่างกายได้อย่างรวดเร็วขึ้น แต่ถ้าอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงมากเกินไป จะทำให้การระเหยเป็นไปได้ยากทำให้เกิดความรู้สึกอึดอัดหรือเหนียวเหนอะหนะที่ผิว

3. ความเร็วลม (Air velocity, v) ความเร็วลมที่เกิดจากการเปิดพัดลม หรือจากการพัดโดยธรรมชาติ ช่วยให้เกิดการพัดพาความร้อนออกจากร่างกาย โดยการพาความร้อน และการระเหยความชื้นออกจากผิวหนัง ถ้าลมยิ่งพัดแรงยิ่งสามารถพาความร้อนออกจากผิวหนังได้มากขึ้น แต่หากลมมีความเร็วมากเกินไปหรือกรณีที่ลมได้พัดพาอากาศเย็นหรือร้อนเกินไปติดมาด้วยก็จะทำให้เกิดความไม่สบายเกิดขึ้นซึ่งการพัดพาของลมลักษณะนี้ เรียกว่า ดราฟต์ (Draft) ซึ่งสังเกตได้ว่าตำแหน่งของร่างกายที่มีโอกาสเกิดสภาวะนี้ได้มากที่สุด คือ ศรีษะและเท้า เนื่องจากไม่มีการปกคลุมจากเสื้อผ้าเหมือนส่วนอื่นๆ ของร่างกาย การศึกษาของ Rohles, F. H. et. al [28] แสดงให้เห็นว่าถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้เกิดความต้องการความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน เพื่อให้เกิดสภาวะความสบาย หรืออาจกล่าวในอีกแง่หนึ่งได้ว่า ความเร็วลมสามารถช่วยให้ผู้อยู่อาศัยทนอยู่ในสภาพที่อุณหภูมิสูงกว่าปกติได้ หรือช่วงของการยอมรับทางอุณหภูมิกว้างขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 6.2 ซึ่งรูปนี้จะใช้สำหรับระดับกิจกรรมนั่งโดยอัตราเมตาบอลิซึมอยู่ระหว่าง 58.2 ถึง 75.7 W/m^2 และเสื้อผ้าเป็นแบบบางที่ใสในฤดูร้อน โดยค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 0.7 clo



รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับอุณหภูมิ

4. อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (Mean Radiant Temperature, t_{mrt}) ถ้าผิววัตถุที่อยู่รอบตัวเรา เช่น ผนังบ้าน หรือฝ้าเพดาน มีอุณหภูมิต่ำ ผิววัตถุนั้นจะสามารถรังสีความร้อนที่แผ่ออกจากร่างกายได้เป็นอย่างดี ในทางกลับกัน ถ้าผิววัตถุที่อยู่รอบตัวเรามีอุณหภูมิสูง ผิววัตถุนั้นจะสามารถแผ่รังสีความร้อนสู่ร่างกายได้มาก ส่วนกรณีที่มีการทำความเย็นอยู่ใต้พื้นต้องควบคุมอุณหภูมิบนพื้นให้อยู่ระหว่าง 19°C ถึง 29°C แต่ต้องสวมรองเท้าและไม่ได้นั่งกับพื้น โดยเฉพาะในช่วงฤดูหนาว อากาศที่ร้อนกว่าจะลอยตัวสู่ที่สูงได้ยากกว่าในฤดูร้อน ทำให้ความเย็นที่แผ่ขึ้นมาจากพื้นไม่สามารถลอยตัวได้ดี บริเวณผิวของพื้นจึงเย็นจัดทำให้เกิดสภาวะความไม่สบายได้

โดยปกติแล้วจะใช้ โกลบเทอร์โมมิเตอร์ (globe thermometer) ในการวัดอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนจากสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะได้ค่าอุณหภูมิที่ค่อนข้างถูกต้อง Fanger ได้ตั้งสมมุติฐานให้พื้นผิวมีความสามารถในการแผ่รังสีสูง หรือให้เปรียบเสมือนผิววัตถุดำ ดังนั้นจะได้สมการอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยดังสมการที่ 6.3

$$(T_{mrt} + 273.15)^4 = (t_1 + 273.15)^4 F_{p-1} + \dots + (t_n + 273.15)^4 F_{p-n} \quad (6.3)$$

เมื่อ T_{mrt} คือ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย, $^{\circ}\text{C}$

t_n คือ อุณหภูมิผิววัตถุ, $^{\circ}\text{C}$ โดย $n = 1, 2, 3, \dots, n$

F_{p-n} คือ ค่าตัวประกอบการมองเห็น ระหว่างคน (p) และผิววัตถุ (n)

และสำหรับสภาวะที่อุณหภูมิผิวแต่ละด้านมีความแตกต่างกันน้อยสามารถคำนวณโดยใช้สมการที่ 6.4

$$T_{mrt} = t_1 F_{p-1} + t_2 F_{p-2} + \dots + t_n F_{p-n} \quad (6.4)$$

หรือในกรณีที่อุณหภูมิผิววัตถุทุกด้านมีค่าประมาณเท่ากันเช่นในเวลากลางคืน

$$T_{mrt} = \sqrt[4]{\sum_n F_{p-n} (t_n + 273.15)^4} - 273.15 \quad (6.5)$$

6.1.2 ปัจจัยจากตัวบุคคล

ปัจจัยจากตัวบุคคลที่มีผลต่อความรู้สึกประกอบด้วย

1. อัตราเมตาบอลิซึม (Metabolic Rate, M) จะมากหรือน้อยขึ้นกับขนาดของร่างกาย สภาพอากาศขณะนั้น และระดับกิจกรรมขณะนั้น อัตราเมตาบอลิซึม มีอีกหน่วยเป็น met ซึ่ง 1 met เท่ากับ 58.2 W/m^2

2. ค่าความต้านทานของเสื้อผ้า (Clothing Insulation, I_{cl}) ขึ้นกับชนิดของเสื้อผ้า มีผลต่ออัตราการพา การนำ การแผ่รังสีความร้อน ออกจากร่างกายรวมถึงอัตราการระเหยของน้ำที่ขึ้นจากร่างกายเนื่องจากเสื้อผ้าแต่ละชิ้นส่วน ผลิตจากวัสดุที่แตกต่างกัน รวมทั้งความหนาและพื้นที่ที่ปกคลุมร่างกายไม่เท่ากัน จึงจำเป็นต้องมีค่าอ้างอิงสำหรับความต้านทานต่อความร้อน โดยค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า มีหน่วยเป็น clo ซึ่ง 1 clo เท่ากับ $0.155 \text{ m}^2\text{K/W}$ และสำหรับการคำนวณหาความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า (I_{cl}) พิจารณาได้จากสมการที่ 6.6

$$I_{cl} = 0.676 \sum i_{cl} + 0.117 \quad (6.6)$$

เมื่อ $\sum i_{cl}$ = ผลรวมค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า, clo

6.2 ดัชนีความสบายเชิงอุณหภูมิ

ค่าดัชนีความสบายเชิงอุณหภูมิของมนุษย์สามารถแบ่งได้เป็น

6.2.1 ค่าการโหวตความรู้สึก

ก) ค่าทำนายการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิเฉลี่ย (Predicted Mean Vote; PMV) [29]

การทำนายค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิเฉลี่ย สามารถใช้ในการทำนายความรู้สึกเชิงอุณหภูมิกับกลุ่มคนจำนวนมากได้ และสมการการทำนายค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิเฉลี่ยนี้ จะเกี่ยวข้องถึงสมการสมดุลความร้อนของร่างกายมนุษย์ และสภาพของความสบายเชิงอุณหภูมิ ซึ่งค่าที่ได้จากสมการจะมีค่าตั้งแต่ -3 ถึง +3 แสดงดังสมการที่ 6.7

$$\begin{aligned} PMV = & (0.303 \cdot \exp(-0.036 \cdot M) + 0.028) \\ & [(M - W) - 3.05 \cdot 10^{-3} [5733 - 6.99(M - W) - P_a]] \\ & - 0.42[(M - W) - 58.2] - 1.73 \cdot 10^{-5} M (5867 - P_a) \\ & - 0.0014M (34 - T_a) - 3.96 \cdot 10^{-8} f_{cl} [(T_{cl} + 273.15)^4 - (T_{mrt} + 273.15)^4] \\ & - f_{cl} h_c (T_{cl} - T_a) \end{aligned} \quad (6.7)$$

เมื่อ	M	คือ อัตราเมตาบอลิก, W/m^2
	W	คือ งานที่กระทำภายนอก, W/m^2
	P_a	คือ ความดันไอน้ำในบรรยากาศ, Pa
	T_a	คือ อุณหภูมิอากาศ, $^{\circ}C$
	f_{cl}	คือ อัตราส่วนของพื้นที่ของเสื้อผ้า ต่อพื้นที่ผิวของร่างกาย
	T_{cl}	คือ อุณหภูมิผิวของเสื้อผ้า, $^{\circ}C$
	T_{mrt}	คือ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย, $^{\circ}C$
	h_c	คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, W/m^2K

ค่าของอัตราส่วนของพื้นที่ของเสื้อผ้าต่อพื้นที่ผิวของร่างกาย แสดงได้ดังสมการที่ 6.8 และ 6.9

$$f_{cl} = 1.0 + 0.2I_{cl} \quad \text{สำหรับ } I_{cl} < 0.5 \text{ clo} \quad (6.8)$$

$$f_{cl} = 1.05 + 0.1I_{cl} \quad \text{สำหรับ } I_{cl} > 0.5 \text{ clo} \quad (6.9)$$

จากสมการ 6.7 เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์ทางทฤษฎี เกี่ยวกับสมดุลความร้อนของร่างกายกับสิ่งแวดล้อมที่ทำการวัดภายในห้องทดลอง โดยสร้างแบบจำลองจากสภาวะแวดล้อมจริง และอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยมีผลต่อค่าการไหลอย่างมาก จากการศึกษาของ Hamdi และคณะ [30] ในเรื่องความสัมพันธ์ของการทำนายค่าการไหลต่อความรู้สึกเชิงอุณหภูมิเฉลี่ย กับอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ได้พิสูจน์ให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของการแผ่รังสีความร้อนของสิ่งแวดล้อม มีผลต่อความสบายเชิงอุณหภูมิในอาคารเป็นอย่างมาก และได้ตั้งกฎเกณฑ์ขึ้นมาคือ ถ้าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย สูงกว่าอุณหภูมิอากาศ ดังนั้น การทำนายค่าการไหลต่อความรู้สึกเชิงอุณหภูมิเฉลี่ย ก็จะมีค่ามากกว่าระดับสบาย แต่ถ้าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ ดังนั้น การทำนายค่าการไหลต่อความรู้สึกเชิงอุณหภูมิเฉลี่ย ก็จะมีค่าต่ำกว่าระดับสบาย และอุณหภูมิผิวของเสื้อผ้าหาได้จากสมการที่ 6.10

$$T_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) - 0.155I_{cl} \left\{ (3.96 \cdot 10^{-8} f_{cl} [(T_{cl} + 273.15)^4 - (T_{mrt} + 273.15)^4]) + f_{cl} h_c (T_{cl} - T_a) \right\} \quad (6.10)$$

เมื่อ I_{cl} คือ ค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า, clo

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนหาได้จาก 2 กรณี โดยแต่ละกรณีมีผลต่อกระบวนการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกันออกไป กรณีแรกคือการพาความร้อนแบบธรรมชาติ คือการที่อากาศไหลผ่านผิวร่างกายน้อยมากเกิดขึ้นของความร้อนเหนือผิว โดย Arens และคณะ [31] ได้พบว่าในสภาพการพาแบบ

ธรรมชาติอุณหภูมิระหว่างผิวหนังกับอากาศจะมีค่าแตกต่างกันมาก และได้เสนอสมการสำหรับการนั่งและยืน ดังสมการที่ 6.11 และ 6.12 ตามลำดับดังนี้

$$\text{สำหรับการนั่ง} \quad h_c = 0.78(T_{sk} - T_a)^{0.56} \quad (6.11)$$

$$\text{และกรณียืน} \quad h_c = 1.21(T_{sk} - T_a)^{0.43} \quad (6.12)$$

เมื่อ T_{sk} คือ อุณหภูมิผิวหนังของร่างกาย, °C

กรณีที่สอง คือ การพาความร้อนแบบบังคับ การเคลื่อนตัวของอากาศช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนออกจากผิว โดยจะลดชั้นความร้อนบนผิวให้บางลง ได้มีการทดสอบกับหุ่นจำลองในอุโมงค์ลมโดย de Dear และคณะ [32] และต่อมา Oguro และ Arens ก็ได้ทำการทดลองเช่นเดียวกัน และได้หาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ซึ่งสามารถใช้ได้กับร่างกายคนทุกรูปแบบ โดยต้องมีตัวแปรความเร็วลมเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ดังแสดงในสมการที่ 6.13 และ 6.14

$$\text{สำหรับการนั่ง} \quad h_c = 9.41v^{0.61} \quad (6.13)$$

$$\text{และกรณียืน} \quad h_c = 9.43v^{0.63} \quad (6.14)$$

เมื่อ v คือ ความเร็วลม, m/s

Fanger [29] ได้เสนอสมการที่ 6.15 เพื่อใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่เป็นการพาแบบธรรมชาติ โดยความเร็วลมน้อยกว่า 0.1 m/s

$$h_c = 12.1\sqrt{v} \quad \text{สำหรับ} \quad 2.38(T_{cl} - T_a)^{0.25} < 12.1\sqrt{v} \quad (6.15)$$

และเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่เป็นการพาแบบบังคับโดยความเร็วลมมากกว่าหรือเท่ากับ 0.1 m/s จะได้สมการที่ 6.16

$$h_c = 2.38(T_{cl} - T_a)^{0.25} \quad \text{สำหรับ} \quad 2.38(T_{cl} - T_a)^{0.25} > 12.1\sqrt{v} \quad (6.16)$$

จากกฎของก๊าซอุณหภูมิพลศาสตร์ อุณหภูมิจะแปรผันตามความดัน กล่าวคือเมื่อความดันในอากาศเพิ่มขึ้น อุณหภูมิของอากาศก็จะสูงตามไปด้วย จึงสรุปได้ว่า อุณหภูมิของอากาศแปรผันตามความดันไอน้ำในอากาศ และอากาศชื้นย่อมจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศแห้ง สมการการหาความดันไอน้ำในอากาศดูได้จากสมการที่ 6.17

$$P_a = RH \exp \left[18.956 - \frac{4030.18}{T_a + 235} \right] \quad (6.17)$$

เมื่อ RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, %

ข) ค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ (Thermal Sensation Vote; TSV)

ในหลายครั้งการทำนายค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณ ไม่ตรงกับความเป็นจริง จึงจำเป็นที่จะต้องมิตซ์นการประมาณค่าการโหวตจากความรู้สึกของบุคคลนั้นๆ เรียกว่า ค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ (TSV) โดยใช้การวัดระดับความรู้สึกของ ASHRAE แบ่งออกเป็น 7 ระดับ มีค่าตั้งแต่ -3 ถึง +3 เช่นเดียวกับการทำนายค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิเฉลี่ย และค่าที่ได้จากการโหวตจาก 7 ระดับของแต่ละบุคคล สามารถนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากสมการ 6.7 แล้วทำการประเมินผลต่อไป

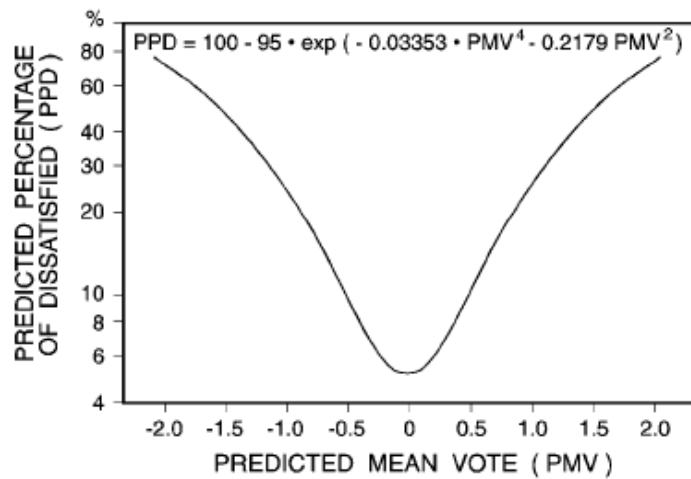
-3	เย็นมาก
-2	เย็น
-1	ค่อนข้างเย็น
0	ระดับสบาย
1	ค่อนข้างร้อน
2	ร้อน
3	ร้อนมาก

6.2.2 ร้อยละความไม่พอใจ

ก) การทำนายร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภูมิ (Predicted Percentage Dissatisfied; PPD)

การทำนายค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ (PMV) และค่าทำนายร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภูมิ (PPD) มีความสัมพันธ์กันอย่างมาก เนื่องจากการทำนายค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิเฉลี่ย จะเป็นค่าที่เฉลี่ยจากความรู้สึกทางอุณหภูมิที่โหวตออกมาตามระดับความรู้สึกของ ASHRAE แต่ค่าทำนายร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภูมิ จะช่วยให้ทราบว่าค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิเฉลี่ย ที่คำนวณนั้นจะมีคนจำนวนร้อยละเท่าไรที่มีความรู้สึกไม่พอใจเชิงอุณหภูมิรวมอยู่ด้วย ด้วยเหตุผลที่ว่า การรับรู้ความรู้สึกของแต่ละคนนั้นจะไม่เท่ากัน ถึงแม้ว่าจะอาศัยอยู่ในสภาพอุณหภูมิแวดล้อมเดียวกันก็ตาม ดังนั้นการทำนายค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ ที่โหวตมานั้น ยังมีบางคนที่ยังรู้สึกไม่สบายทางอุณหภูมิอยู่บางส่วนดังรูปที่ 6.3 แสดงให้เห็นว่าแม้กระทั่งที่การโหวตเป็นศูนย์หรือระดับสบาย ก็จะมีคนอีก 5 % ที่ยังคงรู้สึกเย็นหรือร้อนเล็กน้อยอยู่ และค่าทำนายร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภูมิหาได้จากสมการที่ 6.18

$$PPD = 100 - 95 \exp[-0.03353PMV^4 - 0.2179PMV^2] \quad (6.18)$$



รูปที่ 6.3 การทำนายร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภูมิ

จากการแบ่งระดับความพอใจต่อความสบายเชิงอุณหภูมิของ ASHRAE เป็น 3 ระดับ ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ระดับการยอมรับทางอุณหภูมิ

ระดับความสบาย	ค่าความไม่พอใจ (%)	ค่าการโหวต
A	มากกว่า 6	มากกว่า -0.2 แต่น้อยกว่า +0.2
B	มากกว่า 10	มากกว่า -0.5 แต่น้อยกว่า +0.5
C	มากกว่า 15	มากกว่า -0.7 แต่น้อยกว่า +0.7

ซึ่งสามารถใช้ ในการกำหนดช่วงอุณหภูมิที่ผู้อยู่อาศัยรู้สึกสบายได้ โดยการคำนวณหาช่วงอุณหภูมิจากค่าการโหวต

ข) ร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภูมิ (Percentage Dissatisfied; PD)

เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณเช่นเดียวกับ การทำนายร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภูมิ แต่เป็นการคำนวณจากค่า การโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิที่ได้จากการโหวตจริงจากผู้อยู่อาศัย

6.2.3 อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (Operative Temperature; T_{op})

อุณหภูมิโอเปอเรทีฟเป็นอุณหภูมิที่คงที่ของพื้นที่ปิดล้อมสีดำ (Black enclosure) ที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสี ในอัตราเท่ากับร่างกายมนุษย์ที่สูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีนั้นในสภาพแวดล้อมจริง และมีความเร็วลมกับความดันเท่ากัน ซึ่งรวมทั้งอุณหภูมิบรรยากาศ และอุณหภูมิการแผ่รังสีจากผนังรอบด้านเฉลี่ยเข้าไว้ด้วยกัน จะช่วยให้ทราบถึงอุณหภูมิที่มีผลต่อผู้อยู่อาศัยที่แท้จริงได้ โดยนำค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแต่ละค่ามาพิจารณาด้วย แสดงในสมการที่ 6.19

$$T_{op} = \frac{h_r T_{mrt} + h_c T_a}{h_r + h_c} \quad (6.19)$$

เมื่อ h_r คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทการแผ่รังสีความร้อน, W/m^2K

h_c คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทการพาความร้อน, W/m^2K

T_{mrt} คือ อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย, $^{\circ}C$

T_a คือ อุณหภูมิอากาศ, $^{\circ}C$

การถ่ายเทความร้อนสู่ร่างกายคนนั้นเกิดจากการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน โดย deDear และคณะ ได้ทำการทดสอบกับหุ่นจำลองในอุโมงค์ลม ระดับความเร็วลมที่น้อยกว่า 0.1 m/s โดยควบคุมอุณหภูมิผิวและอากาศให้คงที่ ซึ่งได้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนดังตารางที่ 6.2 และสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนดังตารางที่ 6.3 เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในแต่ละส่วนของร่างกาย สำหรับตารางที่ 6.4 เป็นค่าเฉลี่ยซึ่งสามารถนำไปใช้คำนวณหาค่า T_{op}

ตารางที่ 6.2 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยธรรมชาติผ่านแต่ละส่วนของร่างกาย

ส่วนต่างๆของหุ่นจำลอง	กรณีนั่ง (W/m^2K)	กรณียืน (W/m^2K)
เท้า	4.2	5.1
ขาพ่อนล่าง	4.0	4.1
ต้นขา	3.7	4.1
กระดูกเชิงกราน	2.8	3.4
ศีรษะ	3.7	3.6
มือ	4.5	4.1
ปลายแขน	3.8	3.7
แขนท่อนบน	3.4	2.9
หน้าอก	3.0	3.0
หลัง	2.6	2.9
ทั้งร่างกาย	3.3	3.4

ตารางที่ 6.3 สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนผ่านร่างกาย

ส่วนต่างๆของหุ่นจำลอง	กรณีนั่ง (W/m^2K)	กรณียืน (W/m^2K)
เท้า	4.2	3.9
ขาพ่อนล่าง	5.4	5.3
ต้นขา	4.6	4.3
กระดูกเชิงกราน	4.8	4.2
ศีรษะ	3.9	4.1
มือ	3.9	4.1
ปลายแขน	5.2	4.9
แขนท่อนบน	4.8	5.2
หน้าอก	3.4	4.5
หลัง	4.6	4.4
ทั้งร่างกาย	4.5	4.5

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีและการพาความร้อนผ่านร่างกาย ซึ่งคิดเฉลี่ยรวมทั้งร่างกาย ในกรณีนั่งและยืน แสดงในตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีและการพาความร้อนผ่านร่างกาย

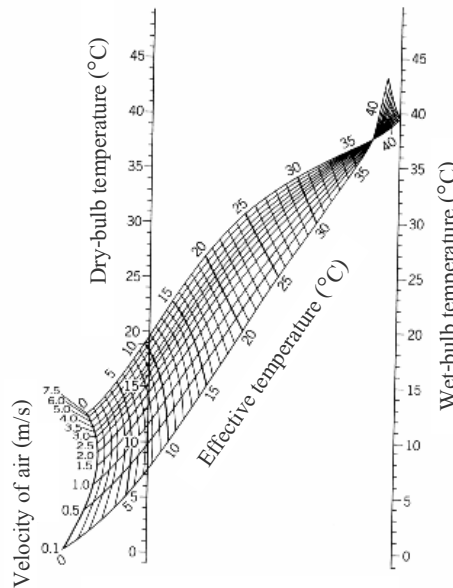
ค่าการถ่ายเทความร้อน (W/m^2K)	นั่ง	ยืน
h_c	3.54	3.66
h_r	4.48	4.49

6.2.4 อุณหภูมิเอฟเฟคทีฟ (Effective Temperature; ET^*)

อุณหภูมิเอฟเฟคทีฟเป็นอุณหภูมิสมมติที่ทำให้ผู้อยู่อาศัยอยู่ในตัวอาคารซึ่งมีอากาศนิ่งและอึดตัวรู้สึกสบายเท่ากับคนที่อยู่ภายนอกตัวอาคารในอุณหภูมิและความชื้นของอากาศที่เคลื่อนไหวไปมา อุณหภูมิเอฟเฟคทีฟเป็นอุณหภูมิที่นิยมใช้ในการวัดอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม และเป็นแนวทางสำคัญที่ใช้กันมาก

ที่สุดในการพิจารณาสภาพสภาวะความสบายของมนุษย์ อุณหภูมินี้เป็นดัชนีที่ไม่มีกฎเกณฑ์แน่นอน แต่พิจารณาโดยถือหลักทั่วไปของอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม โดยไม่พิจารณาการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ซึ่งเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับความรู้สึกร้อนหรือหนาวทางกายภาพอันเกิดขึ้นจากร่างกายของมนุษย์ ซึ่งอุณหภูมิเอฟเฟคทีฟที่นี้ใช้ได้กับกิจกรรมที่เป็นการนั่งและเสื้อผ้าที่เป็นแบบบาง และสมการอุณหภูมิเอฟเฟคทีฟ Parson [33] หาได้จากสมการที่ 6.20 หรือหาได้จากรูปที่ 6.4 โดยต้องใช้อุณหภูมิกระเปาะเปียก อุณหภูมิกระเปาะแห้ง และความเร็วลมของอากาศ ในขณะนั้น

$$ET^* = 0.492T_a + 0.19P_a + 6.47 \quad (5.20)$$



รูปที่ 6.4 แผนภูมิแสดงสเกลของอุณหภูมิเอฟเฟคทีฟ

6.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Nicol [34] ได้ศึกษาวิจัยจากหลายสถานที่ซึ่งได้พบว่ามาตรฐานของ ISO 7730 ที่ใช้เป็นมาตรฐานในการแสดงสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิานั้น ไม่สามารถอธิบายสภาวะความสบายในเขตร้อนชื้นได้ดีเท่าที่ควร เพราะผลของการทดลองในห้องทดลองให้ผลที่ขัดแย้งกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในสถานที่จริง ซึ่งมาตรฐานสากลที่ใช้อธิบายความสบายของสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร ได้ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์ทางทฤษฎี เกี่ยวกับสมดุลความร้อนของร่างกายกับสิ่งแวดล้อมที่ทำการวัดภายในห้องทดลอง โดยสร้างแบบจำลองจากสภาวะแวดล้อมจริง โดย ISO 7730 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ในเขตภูมิอากาศแบบกลางๆ คือไม่ร้อนหรือหนาวเกินไป ซึ่งใช้สมการของ Fanger ในการทำนายค่าการไหลเวียน (PMV) กับกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งจากการทดลองนำไปใช้เป็นมาตรฐานในการปรับสภาวะความสบายเชิงความร้อนในสถานที่ต่างๆ ได้ แต่จากรายงานการวิจัยพบว่า ผลจากการสำรวจกับคนที่อยู่อาศัยในเขตร้อนโดย Webb, Nicol, Sharma และ Ali, Busch, Matthews และ Nicol, Taki และอีกหลายท่านที่ไม่ได้กล่าวในที่นี้ พบว่าสภาวะที่รู้สึกสบายให้ผลแตกต่างกัน

กับค่าการทำนายของ ISO 7730 ที่ได้จากการทดลองในห้องทดลอง โดยเฉพาะที่เป็นอาคารที่ไม่มีการปรับอากาศ และมีอุณหภูมิสูงกว่า 30 °C หรือที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10°C ก็ยังมีผู้อยู่อาศัยที่ยังมีความรู้สึกสบายอยู่ ดังนั้นการนำมาตรฐาน ISO 7730 มาใช้นั้นต้องคำนึงถึงขอบเขตของค่าต่างๆ ด้วยดังตาราง

ตารางที่ 6.5 ข้อจำกัดการใช้ค่าทำนายค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ

ตัวแปร	หน่วย	ขั้นต่ำ	ขั้นสูง
อัตราเมตาบอลิซึม (M)	W/m ² (met)	46 (0.8)	232 (4)
ค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า (I_{cl})	m ² K/W(clo)	0 (0)	0.31 (2)
อุณหภูมิของอากาศ (T_a)	°C	10	30
อุณหภูมิการแผ่ความร้อน (T_{mrt})	°C	10	40
ความเร็วลม (v)	m/s	0	1.0
การประมาณค่าการโหวตเฉลี่ย (PMV)		-2	+2

โครงการนี้ได้มีการสำรวจเพื่อศึกษาความสบายอุณหภูมิของคนไทยที่อยู่ในห้องปรับอากาศ การสำรวจอาศัยข้อมูลจากคนไทยจำนวนหนึ่งซึ่งเป็นบุคลากรในสถาบันการศึกษาและนักศึกษาที่ขณะกำลังทำงานอยู่ในห้องปรับอากาศ การสำรวจนี้ประกอบด้วยการประเมินผลความสบายโดยใช้แบบสอบถามและการตรวจวัดสภาวะแวดล้อมภายในห้อง การสำรวจนี้จะเก็บข้อมูลเฉพาะจากคนที่อยู่ในห้องมาแล้วนานกว่า 1 ชั่วโมง และรับประทานอาหารแล้วเกินกว่า 1 ชั่วโมง

6.4 เครื่องมือสำรวจ

ก) แบบสอบถาม

แบบสอบถามที่ใช้การสำรวจนี้ประกอบด้วย 2 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นข้อมูลเกี่ยวกับผู้ที่ถูกสำรวจ ประกอบด้วย อายุ เพศ การแต่งกาย และส่วนที่สองเป็นชุดคำถามที่เกี่ยวข้องกับความสบายในช่วงที่กำลังสัมภาษณ์และตรวจกับสภาวะในห้อง ตารางที่ 6.6 แสดงระดับสเกลของความสบายในห้องปรับอากาศที่ให้ผู้ถูกสำรวจประเมิน

ตารางที่ 6.6 ระดับสเกลของความรู้สึกสบายภายในห้องปรับอากาศ

สเกล ตัวเลข	สเกล ความรู้สึ ของ ASHRAE	การยอมรับ (Acceptability)			ความชอบ (Preference)		
		อุณหภูมิ	ปริมาณลม	ความชื้น	อุณหภูมิ	ปริมาณลม	ความชื้น
+3	ร้อน		สูงเกินไป	สูงเกินไป			
+2	อุ่น		สูง	สูง			
+1	ค่อนข้างอุ่น	รับได้	ค่อนข้างสูง	ค่อนข้างสูง	อุ่นขึ้น	ลมมากขึ้น	ชื้นขึ้น
0	สบาย	พอรับได้	พอดี	พอดี	ไม่เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยน
-1	ค่อนข้างเย็น	รับไม่ได้	ค่อนข้างต่ำ	ค่อนข้างต่ำ	เย็นลง	ลมน้อยลง	แห้งลง
-2	เย็น		ต่ำ	ต่ำ			
-3	หนาว		ต่ำเกินไป	ต่ำเกินไป			

ข) เครื่องมือตรวจวัดสภาวะแวดล้อมอุณหภูมิในอาคาร

ระหว่างที่ผู้ถูกสำรวจกำลังกรอกข้อมูลในแบบสอบถาม สภาวะแวดล้อมอุณหภูมิรอบตัวผู้ถูกสอบถามจะถูกตรวจวัด โดยข้อมูลประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศ (t_a) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (RH) อุณหภูมิโก

ลบ (t_g) และความเร็วลม (V_o) เครื่องมือวัดที่ใช้เป็นชนิดสำหรับการใช้งานนอกพื้นที่ ความแม่นยำของอุปกรณ์ มีดังนี้ อุณหภูมิอากาศ $\pm 0.3^\circ\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลม $\pm 3.0\%$ และอุณหภูมิโกลบ $\pm 0.2^\circ\text{C}$ ผลของการวัดค่าเหล่านี้จะใช้ประกอบการวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลจากแบบสอบถาม

6.5 ผลการสำรวจ

ในหัวข้อนี้แสดงผลสำรวจและการวิเคราะห์ โดยเปรียบเทียบกับความสบายตามมาตรฐาน ANSI/ASHRAE 55-1992 และ ISO 7730

6.5.1 อาคารที่สำรวจ

อาคารที่สำรวจเป็นอาคารปรับอากาศในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อาคารทั้งหมด ก่อสร้างมาแล้วกว่า 15 ปี ผนังภายนอกเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนสองด้าน ผิวผนังภายนอกทาสีอ่อน หน้าต่าง ทั้งหมดมีการบังเงาจากกรังสีอาทิตย์ อุปกรณ์บังแดดภายในเป็นมู่ลี่ลูมิเนียมหรือผ้ามาเน่ ห้องทั้งหมดปรับอากาศด้วยเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน สำหรับห้องที่ทำการสำรวจส่วนใหญ่มีผนังภายนอกเพียงด้านเดียว

6.5.2 ชุดข้อมูลจากการสำรวจ

การสำรวจนี้ได้ชุดตัวอย่างจำนวน 175 ชุด จากผู้ถูกสอบถาม 123 คน ทั้งหมดเป็นคนไทยซึ่งคุ้นชินกับภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ตารางที่ 6.7 แสดงข้อมูลอายุและการสวมเสื้อผ้าของผู้ที่ถูกสำรวจ

ตารางที่ 6.7 อายุและการสวมเสื้อผ้าของผู้ที่ถูกสำรวจ

ข้อมูล		เพศชาย	เพศหญิง	รวม
อายุ (ปี)	20-25	108	30	138
	25-30	2	4	6
	30-35	4	9	13
	35-40	3	9	12
	>40	1	5	6
	รวม	118	57	175
ความเป็นฉนวน ของเสื้อผ้า (clo)	ค่าเฉลี่ย	0.60	0.51	0.57
	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.06	0.12	0.09
	ค่าสูงสุด	0.63	0.79	0.79

	ค่าต่ำสุด	0.42	0.29	0.29
--	-----------	------	------	------

จากตาราง ตัวอย่างที่สำรวจได้ครอบคลุมคนตั้งแต่อายุน้อยกว่า 20 ปีกระทั่งมากกว่า 40 ปี อย่างไรก็ตาม กว่าร้อยละ 85 เป็นนักศึกษาที่มีอายุระหว่าง 20-25 ปี นอกจากนี้กว่าร้อยละ 67 เป็นเพศชาย

6.5.3 ความเป็นฉนวนของเครื่องแต่งกาย

ลักษณะการแต่งกายของผู้ถูกสอบถามมีการเก็บรวบรวมเพื่อคำนวณค่าความเป็นฉนวนของเครื่องแต่งกาย โดยอิงข้อมูลตามที่แสดงในมาตรฐาน ANSI/ASHRAE 55-1992 จากผลการคำนวณใน **Error! Reference source not found.** จะสังเกตได้ว่าค่าเฉลี่ยของความเป็นฉนวนของเครื่องแต่งกายสำหรับเพศชายเท่ากับ 0.60 และสำหรับเพศหญิงเท่ากับ 0.51 ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.06 สำหรับเพศชายซึ่งค่อนข้างต่ำ เนื่องจากนักศึกษาส่วนใหญ่แต่งชุดฟอร์มนักศึกษาจะอยู่กึ่งกลางระหว่างการศึกษ สำหรับเพศหญิง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเป็นฉนวนของเครื่องแต่งกายสูงกว่าของเพศชายเนื่องจากการแต่งกายที่หลากหลายกว่า

6.5.4 สภาพอากาศในอาคารและความสบายอุณหภูมิ

ในระหว่างสำรวจมีการตรวจวัดสภาพอากาศในห้องปรับอากาศ การวัดนี้ประกอบด้วยข้อมูลอุณหภูมิอากาศ (t_a) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (RH) อุณหภูมิควบแน่น (t_{dp}) และอุณหภูมิโกลบ (t_g) รวมถึงความเร็วลมรอบตัวผู้ถูกสอบถาม สำหรับข้อมูลอื่นๆ ได้แก่ อุณหภูมิแผ่รังสี และอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ ซึ่งจะจากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลตรวจวัดจริง

เพื่อประเมินความรู้สึกสบายของผู้ถูกสอบถามตามมาตรฐาน ASHRAE standard 55 ค่า PMV และ PPD จะถูกคำนวณโดยแบบจำลองของ Fanger และเนื่องจากการสำรวจนี้มุ่งเฉพาะผู้ทำงานในสำนักงานและนักศึกษาในห้องเรียน จึงกำหนดให้ค่าอัตราเมตาบอลิซึมของทุกคนให้เท่ากับ 1.2 met หรือ 69.8 W/m² สำหรับตารางที่ 6.8 แสดงค่าสถิติที่เกี่ยวข้องกับความสบายอุณหภูมิ

ตารางที่ 6.8 ค่าสถิติของสภาวะแวดล้อมภายในอาคารและการทำนายความสบายอุณหภูมิตาม ASHRAE standard 55

ตัวสถิติ	อุณหภูมิอากาศ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิควบแน่น (°C)	อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (°C)	อุณหภูมิแผ่รังสี (°C)	ดัชนีความสบาย	
						PMV	PPD
ค่าเฉลี่ย	26.0	51.2	15.2	26.1	26.1	0.51	12.38
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.9	3.4	1.4	0.8	0.8	0.31	5.57

ค่าสูงสุด	27.7	68.6	19.6	27.8	27.8	1.06	28.99
ค่าต่ำสุด	23.4	33.9	7.5	23.6	23.6	-0.46	5.00

จาดตารางที่ 6.8 จะพบว่าค่าตรวจวัดของอุณหภูมิอากาศอยู่ระหว่าง 22°C ถึง 28°C โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 26.0°C ค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 48.7% ถึง 70% อุณหภูมิโอเปอเรทีฟมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.1°C สูงกว่าอุณหภูมิอากาศเล็กน้อย ค่าเฉลี่ยของความเร็วลมประมาณ 0.03 m/s และผลคำนวณค่าดัชนีความสบาย PMV เท่ากับ 0.51 ซึ่งแสดงว่าคนรู้สึกค่อนข้างอุ่น (อิงตามมาตรฐาน ASHRAE 55)

6.5.5 ความรู้สึกสบายอุณหภูมิ (Actual Mean Vote: AMV)

ความรู้สึกสบายของผู้ถูกสอบถามได้ถูกประเมินตามระดับสเกลที่แสดงในตารางที่ 6.6 ภายใต้สภาวะที่แสดงในตารางที่ 6.8 ผลการประเมินจากแบบสอบถามสามารถแสดงได้ดังในตารางที่ 6.9

จาก ตารางที่ 6.9 จะเห็นว่าดัชนี AMV มีค่าเฉลี่ย -0.11 ซึ่งแสดงว่ารู้สึกเย็นเล็กน้อย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ AMV เท่ากับ 1.09 โดยมีค่าสูงสุด +3 ซึ่งเป็นระดับความรู้สึก “ร้อน” และมีค่าต่ำสุด -3 ซึ่งเป็นระดับความรู้สึก “หนาว”

ตารางที่ 6.9 ค่าสถิติของดัชนีความสบายอุณหภูมิจากแบบสอบถาม

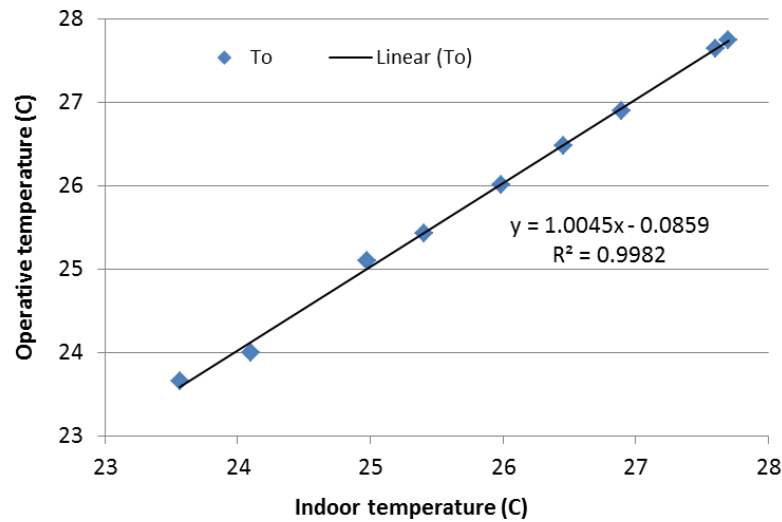
ตัวสถิติ	Actual mean vote	คะแนนโหวตการยอมรับ			คะแนนโหวตความชอบ		
		อุณหภูมิ	ความเร็วลม	ความชื้น	อุณหภูมิ	ความเร็วลม	ความชื้น
ค่าเฉลี่ย	-0.11	2.29	0.03	-0.07	0.01	0.14	0.13
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.09	0.55	1.04	0.74	0.74	0.67	0.60
ค่าสูงสุด	3	3	2	2	1	1	1
ค่าต่ำสุด	-3	1	-3	-2	-1	-1	-1

ข้อมูลการสำรวจการโหวตความสบายอุณหภูมิ 175 ข้อมูลได้ถูกนำมาแจกเป็นกลุ่มย่อยตามค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟเป็นช่วงๆ ช่วงละ 0.5°C ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 6.10

ตารางที่ 6.10 การกระจายของจำนวนการโหวตความรู้สึกตามสเกล ASHRAE ของผู้ถูกสอบถาม

อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิโอ เปอเรทีฟ	จำนวนการตอบความรู้สึกภายใต้สเกล ASHRAE							จำนวนการตอบ สะสม	จำนวนผู้ ยอมรับ	จำนวนผู้ รู้สึกเป็น กลาง
		-3	-2	-1	0	+1	+2	+3			
23.57	23.65	1	3	0	2				3.4	33.3	33.3
24.10	24.00	1	0	0	1				4.6	50.0	50.0
24.98	25.10		7	4	7	1			15.4	63.2	36.8
25.41	25.44		6	11	11				31.4	78.6	39.3
25.99	26.01		2	15	21	5	5		58.9	85.4	43.8
26.45	26.48				24	10	7		82.3	82.9	58.5
26.90	26.90				5	11	4	2	94.9	72.7	22.7
27.60	27.65					1	3		97.1	25.0	0.0
27.70	27.75					2	3		100.0	40.0	0.0
รวม		2	18	30	71	30	22	2			
%		1.1	10.3	17.1	40.6	17.1	12.6	1.1	100.00	74.9	40.6

ผลจากในError! Reference source not found.ตารางที่ 6.10ค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟสูงกว่าอุณหภูมิอากาศไม่มาก รูปที่ 6.5 แสดงให้เห็นว่าอิทธิพลจากอุณหภูมิแผ่รังสีมีไม่สูงนัก ซึ่งน่าจะเป็นผลจากอาคารที่มีการบังแดดจากหน้าต่าง และห้องมีการปรับอากาศมาเป็นเวลานานและผนังได้ซับความเย็นเอาไว้ แสดงความสัมพันธ์ของค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟและอุณหภูมิอากาศจากการสำรวจ

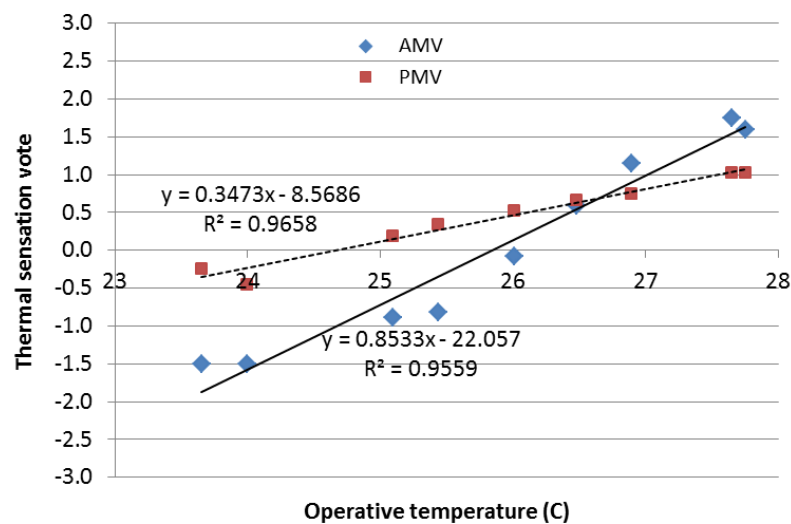


รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ของค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟและอุณหภูมิอากาศจากการสำรวจ

ในขั้นตอนหนึ่งของการวิเคราะห์ความรู้สึกสบายของผู้ถูกสอบถาม ค่าเฉลี่ย AMV ได้ถูกนำมาพลอตแสดงความสัมพันธ์กับค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ ซึ่งแสดงได้ดัง Error! Reference source not found. จากรูปแสดงให้เห็นว่ามีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นตรง โดยความสัมพันธ์แสดงได้ด้วยสมการ

$$AMV = 0.853 t_o - 22.057$$

และจากสมการความสัมพันธ์ ค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่เป็นกลาง (Neutral temperature: t_n) ซึ่งผู้ถูกสอบถามรู้สึกสบายไม่ร้อนและไม่หนาว คือ 25.9°C .



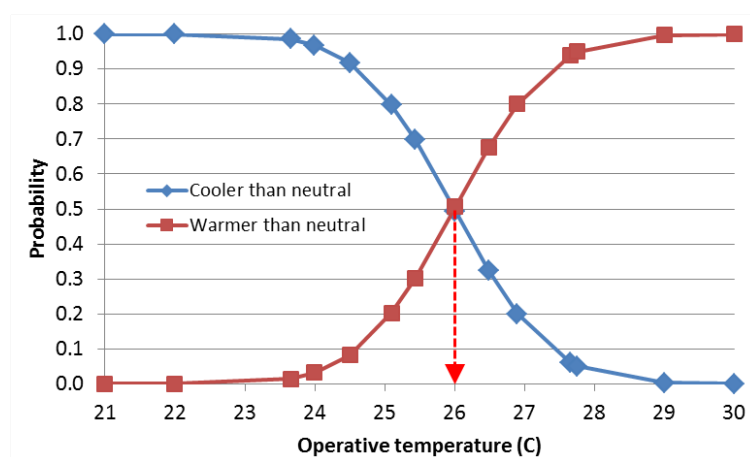
รูปที่ 6.6 การคำนวณค่า AMV และ PMV ที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ

รูปที่ 6.6 ยังแสดงการพลอตค่าเฉลี่ยของ PMV กับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ ซึ่งได้ความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นตรงเช่นกัน อย่างไรก็ตาม ค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่เป็นกลางเท่ากับ 24.7°C ต่ำกว่ากรณีของ AMV ที่ได้จากการสอบถาม 1.2°C

นอกจากนี้ยังเห็นได้ว่า ค่าความชื้นของความสัมพันธ์ระหว่าง PMV และอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ ต่ำกว่าความชื้นของความสัมพันธ์ระหว่าง AMV และอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ ดังนั้น ผลคำนวณจากแบบจำลอง PMV ทำนายความรู้สึกสบายอุณหภูมิของผู้ถูกสอบถามต่ำกว่าความเป็นจริงทั้งด้านความรู้สึกเย็นและความรู้สึกร้อน

สำหรับการวิเคราะห์ในส่วนถัดไป ข้อมูลโหวตความรู้สึกสบายซึ่งถูกแจกจ่ายต่างช่วงของอุณหภูมิโอเปอเรทีฟจะถูกนำมาคำนวณเป็นร้อยละของผู้โหวต “ร้อนกว่าความรู้สึกสบาย” (ASHRAE scales +1, +2 และ +3) และ “เย็นกว่าความรู้สึกสบาย” (ASHRAE scales -1, -2 และ -3) โดยจำนวนโหวตของความรู้สึกสบาย (ASHRAE scales 0) จะถูกแบ่งอย่างละครึ่งให้กับ “ร้อนกว่าความรู้สึกสบาย” และ “เย็นกว่าความรู้สึกสบาย” โดยรูปที่ 6.7 แสดงการพลอตของผลการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองโพรบิท “the maximum likelihood probit model” ของการโหวต “ร้อนกว่าความรู้สึกสบาย” และการโหวต “เย็นกว่าความรู้สึกสบาย” กับค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (t_o)

ประโยชน์จากการวิเคราะห์โพรบิทนี้ คือ การกำหนดอุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่ตรงกับความรู้สึกสบายที่เป็นกลาง ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยค่าอุณหภูมิที่สอดคล้องกับร้อยละ 50 ของการตอบสนองในแบบจำลองโพรบิท โดยจากรูปจะเห็นว่าจุดตัดของเส้นกราฟความสัมพันธ์ “ร้อนกว่าความรู้สึกสบาย” และ “เย็นกว่าความรู้สึกสบาย” อยู่ที่อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ 26.0°C ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ข้างต้นที่แสดงว่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่ตรงกับความรู้สึกสบายคือ 25.9°C .



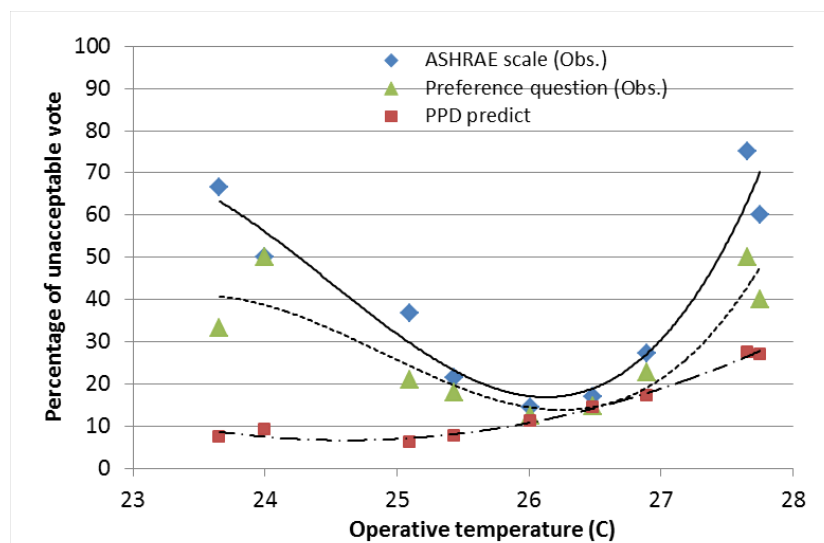
รูปที่ 6.7 การพลอตโพรบิทการโหวต “ร้อนกว่าความรู้สึกสบาย” และ “เย็นกว่าความรู้สึกสบาย” กับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ

6.5.6 การยอมรับต่อสภาวะสบายอุณหภูมิ

จากคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามสามารถนำมาวิเคราะห์การยอมรับต่อสภาวะสบายอุณหภูมิของผู้ถูกสำรวจได้ ทั้งนี้การยอมรับต่อสภาวะสบายอุณหภูมิอาจประเมินจาก 3 วิธีด้วยกัน

วิธีแรกเป็นการประเมินโดยใช้ผลโหวตของ AMV บนสเกล ASHRAE วิธีนี้สมมติว่าผู้ถูกสอบถามยอมรับต่อสภาวะสบายเมื่อโหวตความรู้สึกว่า “เย็นเล็กน้อย: -1” หรือ “รู้สึกสบาย: 0” หรือ “ร้อนเล็กน้อย +1” ผู้ที่โหวตความรู้สึกนอกเหนือค่าในช่วงกลางนี้ (หนาว: -3, เย็น: -2, อุณหภูมิ: +2, ร้อน: +3) ถือว่าไม่ยอมรับสภาวะสบายภายในห้องปรับอากาศ

ผลการประเมินนี้สามารถแสดงได้ด้วยเส้นกราฟในรูปที่ 6.8 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์เป็นร้อยละของ “การโหวตไม่ยอมรับสภาวะสบาย” ที่อุณหภูมิโอเพอเรทีฟต่างๆ สำหรับผลประเมินตามวิธีแรกแสดงได้ด้วยเส้นกราฟ ASHRAE scale (Obs.) จะเห็นว่าที่อุณหภูมิโอเพอเรทีฟ 26°C มีจำนวนผู้ที่ไม่ยอมรับน้อยที่สุด ซึ่งเท่ากับร้อยละ 18 และร้อยละของการไม่ยอมรับจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิโอเพอเรทีฟห่างออกไปจากอุณหภูมิ 26°C ไม่ว่าทางด้านเย็นลงหรือร้อนขึ้น เส้นกราฟยังแสดงให้เห็นว่าอัตราการไม่ยอมรับเพิ่มขึ้นรวดเร็วกว่าสำหรับกรณีที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเทียบกับกรณีที่อุณหภูมิลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะคนที่อยู่ในเขตร้อนมีความต้องการที่จะอยู่ในสภาวะค่อนข้างเย็นมากกว่าสภาวะค่อนข้างร้อน



รูปที่ 6.8 การยอมรับของสภาพสบายอุณหภูมิกับอุณหภูมิโอเพอเรทีฟ

สำหรับวิธีที่ 2 ที่ใช้ประเมินการยอมรับต่อสภาวะสบายอุณหภูมิในอาคารสามารถทำได้ด้วยการตั้งคำถามโดยตรงกับผู้ถูกสำรวจ โดยตั้งคำถามว่า “ท่านยอมรับสภาวะสบายอุณหภูมิในอาคาร ณ ขณะนี้หรือไม่?” ซึ่งคำถามนี้ปรากฏในแบบสอบถามที่จัดทำขึ้นด้วยเช่นกัน ผู้ถูกสอบถามจะตอบว่า “ยอมรับ” หรือ “ไม่ยอมรับ” ซึ่งการยอมรับได้สื่อถึงผู้ถูกสอบถามต้องรู้สึกสบายเพียงพอที่จะอยู่ในห้องปรับอากาศได้อย่างต่อเนื่อง ผลการประเมินการยอมรับจากวิธีที่ 2 นี้แสดงไว้ใน Error! Reference source not found. ด้วยเช่นกัน โดยแสดงด้วยเส้นกราฟ “Acceptance question (Obs.)” จากเส้นกราฟแสดงให้เห็นว่า การยอมรับสภาวะ

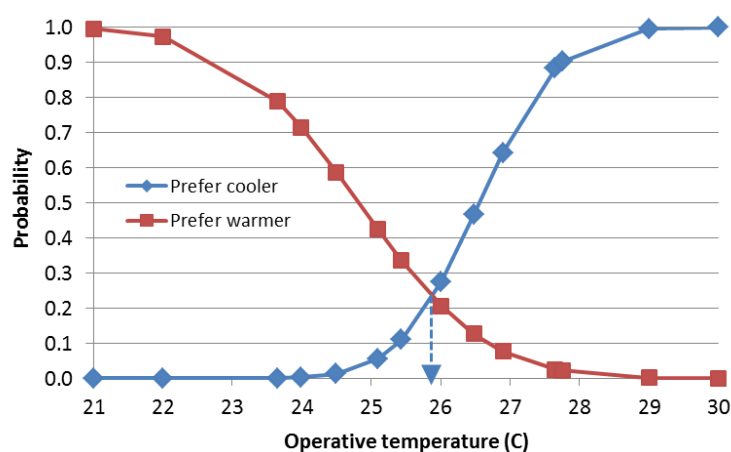
สบายอุณหภูมิอยู่ในช่วงระหว่าง $26.0-26.5^{\circ}\text{C}$ สูงกว่าการประเมินด้วยวิธีแรก ร้อยละของการไม่ยอมรับต่ำกว่าในทุกช่วงอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ ทั้งนี้จะเป็นเพราะลักษณะของการถามหรือการตั้งคำถาม ซึ่งผู้ตอบพยายามตอบในเชิงบวกทำให้ได้ค่าอุณหภูมิความสบายที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ยังพบลักษณะของแนวโน้มเช่นเดียวกับวิธีแรกที่อัตราการไม่ยอมรับต่อสภาพแวดล้อมสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นรวดเร็วเท่ากับกรณีที่อุณหภูมิลดลง

จากกราฟที่แสดงผลประเมินจากทั้งสองวิธี ยังสื่อให้เห็นว่าไม่ว่าที่อุณหภูมิใดๆ ก็ไม่สามารถทำให้ทุกคนพอใจได้ แม้ที่ค่าอุณหภูมิที่ถูกสอบถามบอกว่าสบายที่สุด ก็ยังมีผู้ที่ไม่ยอมรับค่าอุณหภูมินี้กว่าร้อยละ 15 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดตาม ASHRAE standard 55 ที่ระบุว่าช่วงอุณหภูมิสบาย จำนวนของผู้ไม่ยอมรับจะไม่เกินร้อยละ 10

สำหรับเส้นกราฟที่ 3 ซึ่งแสดงบน **Error! Reference source not found.** เป็นการประเมินร้อยละของการไม่ยอมรับจากการคำนวณดัชนี PPD ซึ่งค่า PPD นี้จะหาได้ก็ต่อเมื่อทราบค่า PMV จากแบบจำลองคณิตศาสตร์ของ Fanger ผลการประเมินแสดงให้เห็นว่าไม่มีความสอดคล้องกับผลการสำรวจจริง

6.5.7 ความชอบที่ต้องการเปลี่ยนสภาพสบายอุณหภูมปัจจุบัน

แบบสอบถามได้ตั้งคำถามเกี่ยวกับความชอบที่ต้องการเปลี่ยนสภาพสบายอุณหภูมปัจจุบันจากที่เป็นอยู่ โดยเป็นคำถามจะถามผู้ถูกสำรวจว่าต้องการหรืออยากให้สภาพในห้องที่เป็นอยู่นี้ “เย็นลง”, “ไม่เปลี่ยนแปลง” หรือ “ร้อนขึ้น” ซึ่งข้อมูลที่ได้จากคำถามนี้จะถูกนำมาแจกตามอุณหภูมิโอเปอเรทีฟเป็นช่วงๆ ช่วงละ 0.5°C เพื่อคำนวณเป็นร้อยละของความชอบที่ต้องการที่อยากเปลี่ยนสภาวะปัจจุบันให้ “เย็นลง”, “ไม่เปลี่ยนแปลง” หรือ “ร้อนขึ้น”



รูปที่ 6.9 การพลอตโพรบิตของการโหวต “อยากให้อุณหภูมิลดลง” และ “อยากให้อุณหภูมิสูงขึ้น” กับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ

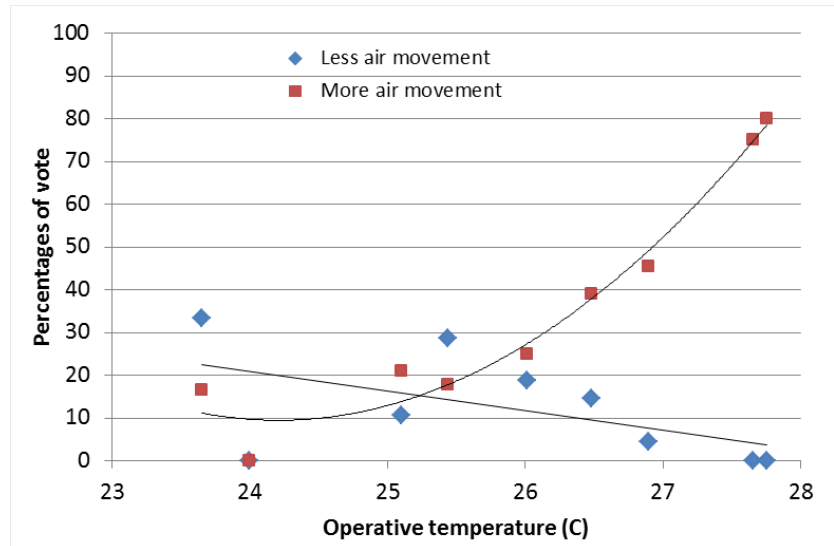
รูปที่ 6.9 แสดงกราฟโพรบิตโมเดลของความเป็นไปได้ที่คนต้องการหรืออยากให้อากาศเย็นลงหรือร้อนขึ้นที่อุณหภูมิโอเปอเรทีฟต่างๆ จากรูปจะเห็นว่าที่อุณหภูมิต่ำ เช่น 21°C ความเป็นไปได้ที่คนอยากให้อุณหภูมิสูงขึ้นคิดเป็นร้อยละ 100 จากนั้นลดลงตามลำดับตามค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้น ในขณะเดียวกัน ที่อุณหภูมิสูง เช่น 30°C ความเป็นไปได้ที่คนอยากให้อุณหภูมิลดลงคิดเป็นร้อยละ 100 และลดลงตามลำดับเมื่ออุณหภูมิต่ำลง

จากเส้นกราฟทั้งสองจะได้จุดตัดซึ่งความอยากที่จะให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิลดลงเท่ากัน ซึ่งจะตรงกับอุณหภูมิประมาณ 25.9°C ผลที่ได้จากการนี้สอดคล้องกับการวิเคราะห์ที่ผ่านมาข้างต้นด้วยเช่นกันแม้จะใช้วิธีการตั้งคำถามที่ต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่ากราฟโพรบิตทั้งสองเส้นมีค่าการเปลี่ยนแปลงความความเป็นไปได้ต่างกัน (ความชันต่างกัน) โดยเส้นกราฟที่ต้องการให้อุ่นขึ้นที่อุณหภูมิต่ำมีความชันน้อยกว่าเส้นกราฟที่ต้องการให้เย็นลงที่อุณหภูมิสูงสะท้อนให้เห็นว่าคนในเขตร้อนอยากอยู่ในห้องปรับอากาศที่อุณหภูมิต่ำมากกว่าอุณหภูมิสูง

6.5.8 การเคลื่อนไหวของอากาศ

ในการสำรวจนี้ได้มีการสำรวจความพึงพอใจต่อการไหลของอากาศในพื้นที่ปรับอากาศ จากการวัดความเร็วลมของอากาศในห้องปรับอากาศพบว่าเกือบทั้งหมดมีความเร็วลมโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.03 m/s บริเวณที่มีความเร็วลมสูงกว่ามักพบเฉพาะบริเวณใกล้เครื่องส่งลมเย็นหรือที่ลมเย็นตก

ในการประเมินความพึงพอใจต่อการไหลของอากาศในห้องปรับอากาศได้พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของคนเป็นร้อยละที่ต้องการให้มีปริมาณลมผ่านตัวสูงขึ้นเทียบกับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ จากรูปที่ 6.10 จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นผู้ถูกสำรวจต้องการให้มีการเคลื่อนไหวของลมผ่านตัวมากขึ้นเพื่อให้เกิดความรู้สึกสบาย และที่อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ 26.0°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิเป็นกลาง จำนวนผู้ที่ยังต้องการให้มีลมผ่านตัวมีประมาณร้อยละ 25

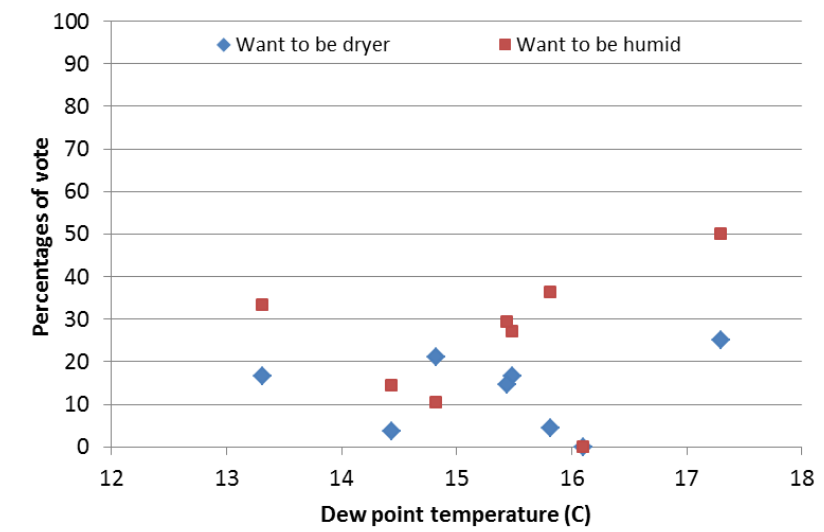


รูปที่ 6.10 โหวตเป็นร้อยละของคนที่ต้องการให้มีลมผ่านตัวสูงขึ้นกับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ

6.5.9 ความชื้นของอากาศ

ความชื้นของอากาศในพื้นที่ปรับอากาศเป็นตัวแปรที่มีการตรวจวัดและตั้งคำถามเพื่อวิเคราะห์หิทธิพลที่มีต่อความสบายอุณหภูมิ จากในรูปที่ 6.9 ผลการสำรวจแสดงให้เห็นว่าค่าอุณหภูมิควบแน่นในห้องปรับอากาศอยู่ระหว่าง $13.0-17.5^{\circ}\text{C}$ ซึ่งสอดคล้องกับความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 48-70% โดยมีค่าเฉลี่ยในช่วง 55-60% อย่างไรก็ตาม เนื่องจากพื้นที่สำรวจเป็นห้องปรับอากาศ ค่าเบี่ยงเบนของความชื้นอากาศจึงมีไม่มาก

ในแบบสอบถามของการสำรวจ ได้มีการตั้งคำถามว่า “ท่านรู้สึกอย่างไรกับความชื้นของอากาศในห้อง ณ. ขณะนี้” และ “ท่านต้องการให้อากาศในห้องมีความชื้นเพิ่มขึ้นหรือต่ำลง” ผลจากการสอบถามพบว่าผู้ถูกสำรวจมีความพึงพอใจต่อความชื้นของอากาศในช่วงที่กว้างมาก และไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างความต้องการให้อากาศชื้นมากขึ้นหรือลดลงกับอุณหภูมิควบแน่น (หรือความชื้นอากาศ) ดังแสดงในรูปที่ 6.11



รูปที่ 6.11 การพลอตโพรบิตของการโหวต “ร้อนกว่าความรู้สึกสบาย” และการโหวต “เย็นกว่าความรู้สึกสบาย”

6.5.10 สรุปและวิจารณ์ผลการสำรวจ

จากการสำรวจความสบายของคนไทยในห้องปรับอากาศ พบว่าค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่ทำให้คนไทยรู้สึกสบายแบบเป็นกลางคือไม่ร้อนและไม่เย็นเท่ากับ 26°C ด้วยค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟนี้ หากอุณหภูมิแผ่รังสีของห้องมีค่าสูงกว่า 26°C อุณหภูมิของอากาศในห้องจะต้องต่ำกว่า 26°C และในทางกลับกันหากอุณหภูมิแผ่รังสีของห้องมีค่าต่ำกว่า 26°C คนในห้องสามารถรู้สึกสบายได้ที่อุณหภูมิอากาศสูงขึ้น จากการสำรวจพบว่าค่าอุณหภูมิแผ่รังสีของห้องมีค่าใกล้เคียงกันอุณหภูมิแผ่รังสีเนื่องจากอาคารมีการบังแดดที่ดี คนในห้องจึงรู้สึกสบายที่อุณหภูมิอากาศ 26°C

เมื่อเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟจากการสำรวจที่ทำให้คนไทยรู้สึกสบายกับค่าอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณตามมาตรฐาน ASHRAE 55 พบว่าคนไทยมีอุณหภูมิที่รู้สึกสบายสูงกว่ามาตรฐานประมาณ

1.2°C และหากเทียบกับค่าแนะนำของอุณหภูมิอากาศเพื่อความสบายสำหรับการออกแบบระบบปรับอากาศตามมาตรฐานการปรับอากาศและการระบายอากาศของประเทศไทยที่กำหนดไว้ที่ 25C รวมถึงการตั้งค่าเทอร์โมสตัทในห้องปรับอากาศที่ 25C ทำให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะปรับให้อุณหภูมิอากาศในห้องสูงขึ้นเป็น 26C เพื่อลดการใช้พลังงานในการปรับอากาศและเพิ่มความเร็วลมในพื้นที่ปรับอากาศเพิ่มเพื่อให้คนรู้สึกสบาย โดยไม่มีความไม่พึงพอใจต่อปริมาณลมที่สูงขึ้น

6.6 การประเมินผลประหยัดพลังงานจากการเพิ่มอุณหภูมิอากาศในอาคารจาก 25°C เป็น 26°C

จากการสำรวจความสบายข้างต้นและผลการศึกษาในอดีตที่ผ่านมา ทำให้เห็นว่าการปรับเพิ่มอุณหภูมิอากาศในอาคารจากที่ 25°C เป็น 26°C ผู้ที่ใช้อาคารยังคงรู้สึกสบาย ในหัวข้อนี้ คณะวิจัยได้ทำการจำลองการใช้พลังงานของระบบเดิมอากาศแบบอิสระอีกครั้ง โดยครั้งนี้กำหนดให้ระบบปรับให้อากาศภายในอาคารอยู่ที่ 26°C (เพิ่มขึ้น 1°C) ผลการศึกษาแสดงได้ดังตารางที่ 6.11-6.13

ผลจากตารางแสดงให้เห็นว่า เมื่อปรับอุณหภูมิอากาศในอาคารให้สูงขึ้นจาก 25C เป็น 26C จะทำให้ภาระการทำความเย็นลดลงในทุกประเภทอาคาร อย่างไรก็ตาม ภาระที่ลดลงแตกต่างกันตามประเภทของระบบปรับอากาศ โดยระบบปรับอากาศปกติอยู่ระหว่างร้อยละ 6.5-8.0 สูงกว่าระบบเดิมอากาศอิสระที่มีภาระลดลงระหว่างร้อยละ 2.0-4.0 ที่เป็นเช่นนี้เพราะระบบเดิมอากาศอิสระมีการนำความเย็นกลับมาใช้ประโยชน์การเพิ่มอุณหภูมิอากาศในอาคารให้สูงขึ้นก็ทำให้การนำความเย็นกลับมาใช้ลดลงด้วย อย่างไรก็ตามในแง่ของคุณภาพอากาศในอาคาร การเพิ่มอุณหภูมิอากาศในอาคารขึ้นจะทำให้ความชื้นของอากาศในอาคารสูงตามไปด้วย ขณะที่ระบบเดิมอากาศแบบอิสระยังคงควบคุมความชื้นได้ดีเนื่องจากระบบมีลักษณะที่แยกอุปกรณ์ในการจัดการภาระความร้อนแฝงและภาระความร้อนสัมผัสของอาคาร

ตารางที่ 6.11 ภาระทำความเย็นของระบบปรับอากาศที่อุณหภูมิ 25oC และ 26oC และภาระการทำความเย็นที่ลดลงจากการปรับอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1oC (จาก 25oC เป็น 26oC) สำหรับอาคารสำนักงานตัวอย่าง

ระบบ	สภาพอากาศ	ภาระทำความเย็น (อุณหภูมิ 25°C)			ภาระทำความเย็น (อุณหภูมิ 26°C)			ภาระทำความเย็นที่ลดลง
		เครื่องส่งลมเย็น	เครื่องเติมอากาศ	ทั้งระบบ	เครื่องส่งลมเย็น	เครื่องเติมอากาศ	ทั้งระบบ	
ระบบปกติ	เย็นและแห้ง	1,069,652.22	-	1,069,652.22	1,009,690.28	-	1,009,690.28	5.61
	ร้อนและแห้ง	1,316,424.97	-	1,316,424.97	1,248,508.00	-	1,248,508.00	5.16
	ร้อนและชื้น	960,121.98	-	960,121.98	910,586.10	-	910,586.10	5.16
	เย็นและชื้น	944,576.09	-	944,576.09	894,437.93	-	894,437.93	5.31
	ทั้งปี	4,290,775.26	-	4,290,775.26	4,063,222.30	-	4,063,222.30	5.30
	เย็นและแห้ง	703,371.11	402,583.38	1,105,954.49	644,133.21	402,583.36	1,046,716.57	5.36

เอกสารปกปิด ห้ามเผยแพร่ก่อนได้รับอนุญาต

DOAS #1	ร้อนและแห้ง	845,194.51	511,988.65	1,357,183.15	783,572.11	511,988.66	1,295,560.77	4.54
	ร้อนและชื้น	621,064.96	370,374.48	991,439.45	576,796.69	370,374.50	947,171.19	4.47
	เย็นและชื้น	609,551.90	369,798.74	979,350.64	564,590.11	369,798.73	934,388.85	4.59
	ทั้งปี	2,779,182.49	1,654,745.25	4,433,927.74	2,569,092.12	1,654,745.25	4,223,837.38	4.74
DOAS #2	เย็นและแห้ง	819,649.74	243,663.73	1,063,313.47	678,577.39	316,226.40	994,803.78	6.44
	ร้อนและแห้ง	992,517.91	356,582.23	1,349,100.14	842,964.63	448,157.90	1,291,122.53	4.30
	ร้อนและชื้น	720,870.54	260,268.23	981,138.77	615,354.90	325,081.70	940,436.59	4.15
	เย็นและชื้น	697,881.84	260,458.95	958,340.80	599,926.88	327,449.54	927,376.42	3.23
	ทั้งปี	3,230,920.03	1,120,973.14	4,351,893.17	2,736,720.38	1,416,711.97	4,153,432.35	4.56
DOAS #3	เย็นและแห้ง	703,516.81	261,265.31	964,782.12	646,600.50	274,190.67	920,791.17	4.56
	ร้อนและแห้ง	841,218.17	300,077.56	1,141,295.73	782,181.81	314,912.71	1,097,094.52	3.87
	ร้อนและชื้น	617,172.75	215,604.29	832,777.04	575,024.95	226,359.11	801,384.06	3.77
	เย็นและชื้น	605,500.61	216,406.39	821,907.01	562,832.57	227,308.46	790,141.03	3.86
	ทั้งปี	2,767,408.35	993,353.55	3,760,761.90	2,566,639.87	1,042,770.99	3,609,410.86	4.02
DOAS #4	เย็นและแห้ง	828,277.55	156,833.38	985,110.92	779,606.92	161,731.94	941,338.86	4.44
	ร้อนและแห้ง	969,474.60	193,606.50	1,163,081.10	922,383.44	200,580.19	1,122,963.63	3.45
	ร้อนและชื้น	699,980.71	139,794.41	839,775.12	669,792.24	144,503.68	814,295.91	3.03
	เย็นและชื้น	683,421.14	140,301.28	823,722.43	657,874.41	145,434.96	803,309.38	2.48
	ทั้งปี	3,181,154.01	630,535.57	3,811,689.57	3,029,657.01	652,250.77	3,681,907.78	3.40
DOAS #5	เย็นและแห้ง	792,724.20	139,579.43	932,303.63	737,903.06	143,726.21	881,629.27	5.44
	ร้อนและแห้ง	928,196.01	174,547.54	1,102,743.55	875,929.73	181,175.01	1,057,104.73	4.14
	ร้อนและชื้น	670,415.05	126,078.66	796,493.71	631,887.11	129,953.25	761,840.36	4.35
	เย็นและชื้น	651,221.64	126,601.78	777,823.42	620,912.60	132,481.72	753,394.32	3.14
	ทั้งปี	3,042,556.90	566,807.41	3,609,364.32	2,866,623.25	587,269.15	3,453,892.39	4.31

ตารางที่ 6.12 ภาระทำความเย็นของระบบปรับอากาศที่อุณหภูมิ 25°C และ 26°C และภาระการทำความเย็นที่ลดลงจากการปรับอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C (จาก 25°C เป็น 26°C) สำหรับสำนักงานตัวอย่าง

ระบบ	สภาพอากาศ	ภาระทำความเย็น (อุณหภูมิ 25°C)			ภาระทำความเย็น (อุณหภูมิ 26°C)			ภาระทำความเย็นที่ลดลง
		เครื่องส่งลมเย็น	เครื่องเติมอากาศ	ทั้งระบบ	เครื่องส่งลมเย็น	เครื่องเติมอากาศ	ทั้งระบบ	
ระบบปกติ	เย็นและแห้ง	2,115,250.79	-	2,115,250.79	1,983,819.31	-	1,983,819.31	6.21
	ร้อนและแห้ง	2,641,855.47	-	2,641,855.47	2,497,769.24	-	2,497,769.24	5.45
	ร้อนและชื้น	1,928,234.90	-	1,928,234.90	1,823,962.17	-	1,823,962.17	5.41
	เย็นและชื้น	1,884,712.71	-	1,884,712.71	1,779,878.76	-	1,779,878.76	5.56
	ทั้งปี	8,570,053.87	-	8,570,053.87	8,085,429.48	-	8,085,429.48	5.65
DOAS #1	เย็นและแห้ง	1,382,727.65	802,608.84	2,185,336.48	1,260,670.25	802,608.82	2,063,279.07	5.59
	ร้อนและแห้ง	1,684,759.96	1,053,738.25	2,738,498.21	1,555,811.15	1,053,738.26	2,609,549.40	4.71
	ร้อนและชื้น	1,236,168.89	762,317.22	1,998,486.12	1,143,463.14	762,317.21	1,905,780.35	4.64
	เย็นและชื้น	1,201,597.34	757,507.84	1,959,105.18	1,108,102.38	757,507.84	1,865,610.22	4.77
	ทั้งปี	5,505,253.84	3,376,172.15	8,881,426.00	5,068,046.84	3,376,172.16	8,444,219.00	4.92
DOAS #2	เย็นและแห้ง	1,638,996.27	532,741.21	2,171,737.48	1,506,242.04	522,648.87	2,028,890.92	6.58
	ร้อนและแห้ง	2,007,667.65	765,722.43	2,773,390.08	1,881,539.97	765,381.18	2,646,921.15	4.56
	ร้อนและชื้น	1,460,067.43	559,749.20	2,019,816.63	1,369,992.60	560,318.97	1,930,311.57	4.43
	เย็นและชื้น	1,408,153.72	552,914.07	1,961,067.79	1,328,658.15	561,819.55	1,890,477.70	3.60
	ทั้งปี	6,514,885.07	2,411,126.91	8,926,011.98	6,086,432.76	2,410,168.58	8,496,601.34	4.81
DOAS #3	เย็นและแห้ง	1,375,013.29	548,640.94	1,923,654.23	1,252,880.66	577,140.58	1,830,021.24	4.87
	ร้อนและแห้ง	1,670,253.60	625,245.99	2,295,499.59	1,541,539.65	658,654.92	2,200,194.57	4.15
	ร้อนและชื้น	1,224,325.16	450,499.33	1,674,824.49	1,131,849.52	474,528.93	1,606,378.45	4.09
	เย็นและชื้น	1,189,792.23	452,019.95	1,641,812.18	1,096,590.35	476,321.43	1,572,911.77	4.20
	ทั้งปี	5,459,384.28	2,076,406.21	7,535,790.49	5,022,860.17	2,186,645.89	7,209,506.06	4.33
DOAS #4	เย็นและแห้ง	1,676,213.46	314,485.74	1,990,699.19	1,578,333.24	326,576.04	1,904,909.28	4.31
	ร้อนและแห้ง	1,975,506.80	387,260.30	2,362,767.10	1,872,805.37	401,442.81	2,274,248.18	3.75
	ร้อนและชื้น	1,443,552.17	279,857.62	1,723,409.79	1,369,570.08	290,114.22	1,659,684.30	3.70

เอกสารปกปิด ห้ามเผยแพร่ก่อนได้รับอนุญาต

	เย็นและชื้น	1,409,856.93	280,929.33	1,690,786.26	1,335,606.02	291,387.82	1,626,993.83	3.77
	ทั้งปี	6,505,129.36	1,262,532.98	7,767,662.33	6,156,314.71	1,309,520.88	7,465,835.59	3.89
DOAS #5	เย็นและแห้ง	1,563,759.00	291,031.90	1,854,790.90	1,515,503.04	296,895.66	1,812,398.70	2.29
	ร้อนและแห้ง	1,868,574.53	359,032.04	2,227,606.57	1,821,536.20	368,517.99	2,190,054.19	1.69
	ร้อนและชื้น	1,349,584.41	259,162.25	1,608,746.66	1,317,168.51	267,443.86	1,584,612.37	1.50
	เย็นและชื้น	1,303,491.26	257,983.08	1,561,474.34	1,284,481.23	271,509.10	1,555,990.33	0.35
	ทั้งปี	6,085,409.20	1,167,209.27	7,252,618.47	5,938,688.98	1,204,366.57	7,143,055.55	1.51

ตารางที่ 6.13 ภาระทำความเย็นของระบบปรับอากาศที่อุณหภูมิ 25oC และ 26oC และภาระการทำความเย็นที่ลดลงจากการปรับอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1oC (จาก 25oC เป็น 26oC) สำหรับอาคารสรรพสินค้า
ตัวอย่าง

ระบบ	สภาพอากาศ	ภาระทำความเย็น (อุณหภูมิ 25°C)			ภาระทำความเย็น (อุณหภูมิ 26°C)			ภาระทำความเย็นที่ลดลง
		เครื่องส่งลมเย็น	เครื่องเติมอากาศ	ทั้งระบบ	เครื่องส่งลมเย็น	เครื่องเติมอากาศ	ทั้งระบบ	
ระบบปกติ	เย็นและแห้ง	2,012,741.51	-	2,012,741.51	1,909,597.05	-	1,909,597.05	5.12
	ร้อนและแห้ง	2,398,740.63	-	2,398,740.63	2,283,125.29	-	2,283,125.29	4.82
	ร้อนและชื้น	1,746,007.13	-	1,746,007.13	1,659,762.31	-	1,659,762.31	4.94
	เย็นและชื้น	1,719,857.53	-	1,719,857.53	1,633,320.41	-	1,633,320.41	5.03
	ทั้งปี	7,877,346.80	-	7,877,346.80	7,485,805.07	-	7,485,805.07	4.97
DOAS #1	เย็นและแห้ง	952,284.60	1,151,112.17	2,103,396.77	863,883.38	1,151,112.17	2,014,995.55	4.20
	ร้อนและแห้ง	1,088,822.01	1,432,849.89	2,521,671.90	996,390.10	1,432,849.88	2,429,239.98	3.67
	ร้อนและชื้น	797,775.05	1,046,345.47	1,844,120.52	730,252.28	1,046,345.47	1,776,597.75	3.66
	เย็นและชื้น	780,974.90	1,042,276.85	1,823,251.75	712,441.42	1,042,276.86	1,754,718.28	3.76
	ทั้งปี	3,619,856.55	4,672,584.38	8,292,440.93	3,302,967.19	4,672,584.38	7,975,551.57	3.82
DOAS #2	เย็นและแห้ง	1,299,159.70	729,948.06	2,029,107.76	1,201,498.40	718,859.70	1,920,358.11	5.36
	ร้อนและแห้ง	1,511,859.51	1,024,392.88	2,536,252.40	1,416,260.70	1,023,512.31	2,439,773.01	3.80
	ร้อนและชื้น	1,097,329.46	762,035.89	1,859,365.35	1,028,488.66	763,220.63	1,791,709.29	3.64
	เย็นและชื้น	1,072,176.21	760,155.21	1,832,331.42	1,007,396.34	768,858.04	1,776,254.38	3.06
	ทั้งปี	4,980,524.88	3,276,532.04	8,257,056.92	4,653,644.11	3,274,450.69	7,928,094.80	3.98
DOAS #3	เย็นและแห้ง	957,104.63	791,281.52	1,748,386.15	865,626.08	820,112.62	1,685,738.69	3.58
	ร้อนและแห้ง	1,083,390.49	867,131.92	1,950,522.41	990,759.77	905,832.77	1,896,592.54	2.76
	ร้อนและชื้น	792,705.87	626,567.94	1,419,273.82	724,879.05	655,783.25	1,380,662.30	2.72
	เย็นและชื้น	772,713.28	629,130.59	1,401,843.87	705,968.22	657,971.90	1,363,940.12	2.70
	ทั้งปี	3,605,914.27	2,914,111.97	6,520,026.24	3,287,233.12	3,039,700.53	6,326,933.65	2.96
DOAS #4	เย็นและแห้ง	1,333,112.71	477,125.02	1,810,237.73	1270168.303	493941.6123	1764109.915	2.55
	ร้อนและแห้ง	1,464,707.73	556,036.64	2,020,744.37	1400843.433	574414.0248	1975257.457	2.25

	ร้อนและชื้น	1,058,030.89	404,889.24	1,462,920.13	1013570.504	417940.8542	1431511.358	2.15
	เย็นและชื้น	1,045,356.92	406,213.27	1,451,570.19	997034.763	420075.4665	1417110.229	2.37
	ทั้งปี	4,901,208.25	1,844,264.17	6,745,472.42	4681617.003	1906371.941	6587988.944	2.33
DOAS #5	เย็นและแห้ง	1,233,499.85	446,298.89	1,679,798.73	1,147,672.05	460,657.51	1,608,329.56	4.25
	ร้อนและแห้ง	1,347,021.65	511,203.36	1,858,225.00	1,264,612.47	534,310.52	1,798,922.99	3.19
	ร้อนและชื้น	977,091.52	373,376.00	1,350,467.52	923,566.04	391,031.36	1,314,597.40	2.66
	เย็นและชื้น	955,328.49	372,070.43	1,327,398.92	894,759.78	393,626.40	1,288,386.18	2.94
	ทั้งปี	4,512,941.51	1,702,948.68	6,215,890.18	4,230,610.35	1,779,625.78	6,010,236.13	3.31

6.7 การประเมินภาระความร้อนจากการรั่วของอากาศผ่านกรอบอาคาร (Infiltration)

เพื่อประเมินผลกระทบของภาระความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากการรั่วเข้าของอากาศในอาคารที่สูงขึ้นจากการเปิด/ปิดประตูบ่อยหรือเปิดค้างตลอดเวลา การประเมินนี้สมมุติในการรั่วเข้าจากประตูสูงเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 50 กล่าวคือการรั่วเข้าเพิ่มเป็น 0.75 ACH เทียบกับกรณีฐานที่กำหนดให้การรั่วเท่ากับ 0.50 ACH ทั้งนี้ประเทศไทยยังไม่เคยมีการสำรวจอัตราการรั่วเข้าของอากาศสู่อาคารจากการเปิดปิดประตูของอาคารพาณิชย์

ผลการจำลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.14 การรั่วเข้าของอากาศ (Infiltration) ที่มากขึ้นนั้นจะเพิ่มภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศโดยรวมร้อยละ 4-10 โดยระบบ DOAS ซึ่งมีเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนจะมีอัตราการเพิ่มของภาระที่สูงกว่าเทียบกับระบบปกติ เนื่องจากระบบมีฐานของการใช้พลังงานที่ต่ำกว่า

เนื่องจากการจำลองนี้กำหนดอุณหภูมิอากาศเย็นจากคอยล์ของเครื่องปรับอากาศภายนอก (Outdoor air unit: OAU) คงที่ที่ 10°C และปริมาณอากาศผ่านคอยล์สัมพันธ์กับจำนวนคนที่อยู่ในอาคาร ดังนั้น ภาระความร้อนจากการรั่วที่เพิ่มขึ้นจึงกระทบเฉพาะเครื่องปรับอากาศในพื้นที่ (Air handling unit: AHU) ซึ่งต้องมีขนาดใหญ่ขึ้นและรับภาระการทำความเย็นเพิ่มขึ้น โดยส่วนที่เพิ่มเท่ากับการลดของเอนทัลปีอากาศจากภายนอกมาที่ภาวะอากาศภายในอาคาร (อุณหภูมิ 25°C ความชื้นสัมพัทธ์ 50%)

ตารางที่ 6.14 การเปรียบเทียบภาระทำความเย็นของระบบปรับอากาศที่อัตราการรั่วของอากาศ 0.5 ACH และที่ 0.75 ACH สำหรับอาคารตัวอย่าง (อุณหภูมิอากาศภายในอาคารเท่ากับ 25°C)

ระบบ	สภาพอากาศ	ภาระทำความเย็น (การรั่วอากาศ 0.5 ACH)			ภาระทำความเย็น (การรั่วอากาศ 0.75 ACH)			ภาระทำความเย็นที่เพิ่มขึ้น (%)
		เครื่องส่งลมเย็น	เครื่องเติมอากาศ	ทั้งระบบ	เครื่องส่งลมเย็น	เครื่องเติมอากาศ	ทั้งระบบ	
สำนักงาน	ระบบปกติ	4,290,775.26		4,290,775.26	4,626,414.86	-	4,626,414.86	7.82
	DOAS #1	2,779,182.49	1,654,745.25	4,433,927.74	3,114,822.09	1,654,745.25	4,769,567.34	7.57
	DOAS #2	3,230,920.03	1,120,973.14	4,351,893.17	3,566,559.63	1,120,973.14	4,687,532.77	7.71
	DOAS #3	2,767,408.35	993,353.55	3,760,761.90	3,103,047.95	993,353.55	4,096,401.50	8.92
	DOAS #4	3,181,154.01	630,535.57	3,811,689.57	3,516,793.61	630,535.57	4,147,329.18	8.81
	DOAS #5	3,042,556.90	566,807.41	3,609,364.32	3,378,196.50	566,807.41	3,945,003.91	9.30
โรงแรม	ระบบปกติ	7,877,346.80	-	7,877,346.80	9,166,158.81	-	9,166,158.81	6.96
	DOAS #1	3,619,856.55	4,672,584.38	8,292,440.93	6,101,358.78	3,376,172.16	9,477,530.94	6.71
	DOAS #2	4,980,524.88	3,276,532.04	8,257,056.92	7,110,990.01	2,410,168.58	9,521,158.58	6.67
	DOAS #3	3,605,914.27	2,914,111.97	6,520,026.24	6,055,489.22	2,186,645.89	8,242,135.11	9.37
	DOAS #4	4,901,208.25	1,844,264.17	6,745,472.42	7,101,234.30	1,309,520.88	8,410,755.18	8.28
	DOAS #5	4,512,941.51	1,702,948.68	6,215,890.18	6,681,514.14	1,204,366.57	7,885,880.70	8.73
ห้างสรรพสินค้า	ระบบปกติ	8,570,053.87	-	8,570,053.87	8,212,114.21	-	8,212,114.21	4.25
	DOAS #1	5,505,253.84	3,376,172.15	8,881,426.00	3,954,623.96	4,672,584.38	8,627,208.34	4.04
	DOAS #2	6,514,885.07	2,411,126.91	8,926,011.98	5,315,292.29	3,274,450.69	8,589,742.98	4.03
	DOAS #3	5,459,384.28	2,076,406.21	7,535,790.49	3,940,681.68	3,039,700.53	6,980,382.21	7.06
	DOAS #4	6,505,129.36	1,262,532.98	7,767,662.33	5,235,975.66	1,906,371.94	7,142,347.60	5.88
	DOAS #5	6,085,409.20	1,167,209.27	7,252,618.47	4,847,708.92	1,779,625.78	6,627,334.70	6.62

บทที่ 7 สรุปผลการศึกษการจำลองระบบเติมอากาศแบบอิสระ

รายงานวิจัยฉบับนี้นำเสนอผลศึกษการปรับอากาศด้วยระบบเติมอากาศแบบอิสระ (Dedicated outdoor air system) เพื่อวิเคราะห์รูปแบบของระบบที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานกับอาคารประเภทต่างๆ ได้แก่ อาคารสำนักงาน โรงแรม และห้างสรรพสินค้า ภายใต้ภูมิอากาศแบบร้อนและชื้นของประเทศไทย โดยการจำลองระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ TRNSYS

การจำลองคำนวณภาระการทำความเย็นและการใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศ (Outdoor air unit) และของเครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่ (Air handling unit) รวมถึงสภาวะอากาศภายในอาคาร (Indoor air condition) อันเป็นผลจากการทำงานของระบบปรับอากาศ ผลจากการจำลองสามารถสรุปได้ดังนี้

- ระบบปรับอากาศแบบปกติซึ่งอาศัยเครื่องส่งลมเย็นจัดการทั้งภาระความร้อนสัมผัส ความร้อนแฝง และการเติมอากาศบริสุทธิ์ ไม่สามารถควบคุมสภาวะของอากาศในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ อาคารจึงมีความชื้นค่อนข้างสูง (55-70%) ระบบปรับอากาศแบบปกติที่กำหนดเป็นกรณีอ้างอิงนี้ไม่มีอุปกรณ์เสริมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน ดังนั้น ระบบจึงมีการใช้พลังงานสูง
- ระบบปรับอากาศด้วยเครื่องเติมอากาศแบบอิสระใช้เครื่องเติมอากาศจัดการการระบายอากาศของอาคารและใช้เครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่จัดการภาระความร้อน (ความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง) ในส่วนที่เหลือ ระบบลักษณะนี้แยกจัดการภาระความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงออกจากกัน ทำให้สามารถควบคุมสภาวะอากาศภายในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมั่นใจว่าการระบายอากาศของอาคารมีอย่างเพียงพอสำหรับคุณภาพอากาศที่ดี ผลจากการจำลองแสดงให้เห็นว่าระบบเติมอากาศแบบอิสระทุกรูปแบบสามารถควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในอาคารได้ตามที่กำหนดไว้ 25°C โดยความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ใกล้เคียงร้อยละ 50 เป็นไปตามมาตรฐานระบบปรับอากาศและระบบอากาศของประเทศไทยและของสากล
- เครื่องเติมอากาศแบบอิสระสามารถประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์เพื่อควบคุมความชื้นและอุปกรณ์ประสิทธิภาพพลังงาน เช่น รั้นอะราวคอยล์ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัส (แบบหมุนหรือแบบฮิตไปป์) เครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน โดยในการศึกษานี้ เครื่องเติมอากาศแบบอิสระที่ทำการศึกษประกอบด้วย 5 รูปแบบ คือ
 - รูปแบบที่ 1: เครื่องเติมอากาศที่มีเฉพาะคอยล์เย็น
 - รูปแบบที่ 2: เครื่องเติมอากาศที่ใช้คอยล์เย็นร่วมกับรั้นอะราวคอยล์ (Runaround coil)
 - รูปแบบที่ 3: เครื่องเติมอากาศที่ใช้คอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน (Enthalpy wheel)
 - รูปแบบที่ 4: เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 3 ใช้ร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัส (Sensible wheel)

- รูปแบบที่ 5: เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 ใช้ร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน (Enthalpy wheel)

การศึกษาได้จำลองการทำงานของระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องเติมอากาศแบบอิสระ 5 รูปแบบที่กำหนดข้างต้นเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศแบบปกติ ซึ่งผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า

- ระบบเติมอากาศแบบอิสระรูปแบบที่ 1 ควบคุมและลดความชื้นของอากาศในอาคารได้ดีกว่า แต่มีการใช้พลังงานสูงกว่าเนื่องจากระบบมีการระเหยความร้อนแฝงสูงกว่า
 - ระบบเติมอากาศแบบอิสระรูปแบบที่ 2 ควบคุมและลดความชื้นของอากาศในอาคารได้ดีกว่าระบบปรับอากาศแบบปกติและระบบเติมอากาศแบบอิสระรูปแบบที่ 1 ผลจำลองแสดงให้เห็นว่าระบบเติมอากาศรูปแบบที่ 2 มีการใช้พลังงานต่ำกว่าระบบปรับอากาศปกติ 1-3% ซึ่งเป็นผลจากการควบแน่นของน้ำในอากาศเติมบนด้านคอนเดนเซอร์ของชุดรีนอะราวคอยล์
 - ระบบเติมอากาศแบบอิสระรูปแบบที่ 3 ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายในอาคารได้ดี อย่างไรก็ตาม เครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนที่ติดตั้งสามารถลดภาระการทำความเย็นของอากาศเติม ทำให้การใช้พลังงานและขนาดทำความเย็นของระบบเล็กกว่าเมื่อเทียบกับระบบปรับอากาศปกติ
 - ระบบเติมอากาศแบบอิสระรูปแบบที่ 4 ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่ามีการภาระทำความเย็นและการใช้พลังงานสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบเติมอากาศรูปแบบที่ 3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัสที่ติดตั้งเพิ่มทำให้อากาศทิ้งมีอุณหภูมิต่ำลงจึงลดอุณหภูมิอากาศเติมก่อนที่จะเข้าคอยล์เย็นของเครื่องเติมอากาศแบบอิสระได้ อย่างไรก็ตาม อากาศเติมที่ผ่านคอยล์เย็นแล้วนั้นก่อนจะเข้าสู่อาคารจะถูกให้ความร้อนซ้ำ (Reheat) ด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัสทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้เครื่องส่งลมเย็นในพื้นที่ที่ต้องรับภาระความร้อนสัมผัสเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับระบบเติมอากาศรูปแบบที่ 3 อย่างไรก็ตาม ระบบเติมอากาศแบบอิสระรูปแบบที่ 4 มีการใช้พลังงานต่ำกว่าระบบปรับอากาศปกติ
 - ระบบเติมอากาศแบบอิสระรูปแบบที่ 5 เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้สามารถลดความชื้นและรับภาระความร้อนแฝงในสัดส่วนที่สูงกว่าเครื่องเติมอากาศรูปแบบอื่น ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าระบบเติมอากาศแบบอิสระรูปแบบนี้มีภาระการปรับอากาศและการใช้พลังงานต่ำที่สุด
- เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 5 (เครื่องเติมอากาศที่ประกอบด้วย คอยล์เย็น เครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและรันดอะราวด์คอยล์) สามารถลดการใช้พลังงานได้มากที่สุด โดยสามารถลดภาระปรับอากาศทั้งปีได้ระหว่าง 12.8-17.6%, 12.3-17.1% และ 16.5-22.8% สำหรับกรณีอาคารตัวอย่าง สำนักงาน โรงแรม และห้างสรรพสินค้า ตามลำดับ

- ผลจากการวิเคราะห์การปรับอากาศและการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศปกติและระบบเติมอากาศแบบอิสระถูกนำมาใช้ประกอบการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของระบบ โดยค่าพลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศคำนวณโดยอิงอัตราค่าไฟฟ้า TOU ตามการไฟฟ้านครหลวง และต้นทุนของระบบปรับอากาศประมาณการโดยอาศัยข้อมูลจากผู้ผลิตอุปกรณ์พบว่า ระบบเติมอากาศแบบอิสระมีต้นทุนสูงกว่าระบบปรับอากาศแบบปกติ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าระบบเติมอากาศแบบอิสระที่มีเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนมีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่ำกว่าระบบปรับอากาศปกติ โดยระบบเติมอากาศแบบอิสระรูปแบบที่ 5 มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่ำที่สุด
- จากการวิเคราะห์อนุรักษ์พลังงานของระบบเติมอากาศแบบอิสระที่ประกอบด้วยคอยล์เย็น รั้นอะราวคอยล์ และวงล้อแลกเปลี่ยนความร้อนกับอาคารสำนักงาน โรงแรม และห้างสรรพสินค้าที่คาดว่าจะก่อสร้างใหม่ในอีก 15 ปีข้างหน้า โดยอาศัยข้อมูลทำนายการใช้ไฟฟ้าของภาคอาคารตามแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี กระทรวงพลังงาน แบบจำลองพลังงานอาคาร และแบบจำลองดีพีพีวชั่น พบว่าระบบมีศักยภาพที่จะลดการใช้ไฟฟ้าสะสมตลอด 15 ปีเท่ากับ 2,912.5 ล้านหน่วย คิดเป็นร้อยละ 3 ของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (จากอาคารทั้งสามประเภท) โดยประมาณร้อยละ 80 ของผลประหยัดจากห้างสรรพสินค้า
- การวิจัยในโครงการนี้ครอบคลุมการสำรวจความสบายอุณหภูมิอากาศของคนไทยจำนวน 175 คนที่ทำงานอยู่ในอาคารปรับอากาศ การสำรวจประกอบด้วยการสอบถามความรู้สึกของผู้ถูกสัมภาษณ์และการตรวจวัดสภาวะอากาศโดยรอบ ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในอาคาร ความเร็วลม อุณหภูมิโกลบ ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้
 - อุณหภูมิโอเปอเรทีฟสำหรับความรู้สึกสบายที่ภาวะสมดุลความร้อนของร่างกาย (ไม่รู้สึกร้อนหรือเย็น) เท่ากับ 26°C
 - ในห้องที่มีการปรับอากาศ คนไทยยอมรับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่ต่ำกว่าภาวะสมดุลความร้อนมากกว่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่สูงกว่า
 - ความพึงพอใจของคนต่อการไหลหรือความเร็วลมของอากาศภายในห้องพบว่าสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศในห้อง โดยเมื่ออุณหภูมิอากาศสูงขึ้นคนยอมรับพึงพอใจที่จะมีลมผ่านตัวมากขึ้น
- ผลการจำลองการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศเมื่อมีการปรับเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น 1°C จาก 25°C เป็น 26°C พบว่าระบบปรับอากาศปกติมีการใช้พลังงานลดลงร้อยละ 4-5 สำหรับอาคารตัวอย่าง อย่างไรก็ตาม การปรับเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ความชื้นของอากาศในอาคารเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งกระทบต่อความสบายของผู้ที่อยู่ในอาคาร ในกรณีของระบบเติมอากาศแบบอิสระที่มีเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงาน การปรับเพิ่มอุณหภูมิช่วยลดการใช้พลังงานลดได้ร้อยละ 1-4 โดยที่ความชื้นของอากาศในอาคารยังคงสามารถควบคุมในระดับที่ใกล้เคียงเดิมที่ร้อยละ 50-55

จากผลการศึกษาทั้งหมดข้างต้นแสดงให้เห็นว่าระบบ DOAS สามารถสร้างภาวะสบายให้แก่ผู้ใช้อาคารด้วยการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอากาศภายในอาคารที่แม่นยำกว่าระบบปกติ อาคารมีคุณภาพอากาศที่ดีจากการระบายอากาศที่เพียงพอ และระบบมีศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงาน รวมถึงมีความคุ้มค่าเชิงต้นทุน ความร่วมมือระหว่างหน่วยงานภาครัฐและองค์กรวิชาชีพด้านปรับอากาศในการกำหนดมาตรการภาคบังคับผ่านเกณฑ์มาตรฐานสมรรถนะพลังงานอาคาร หรือภาคส่งเสริมผ่านการติดฉลากอาคาร ให้อาคารต้องติดตั้งระบบระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพกับอาคารจะนำไปสู่การอนุรักษ์พลังงานในภาคอาคารโดยภาพรวม

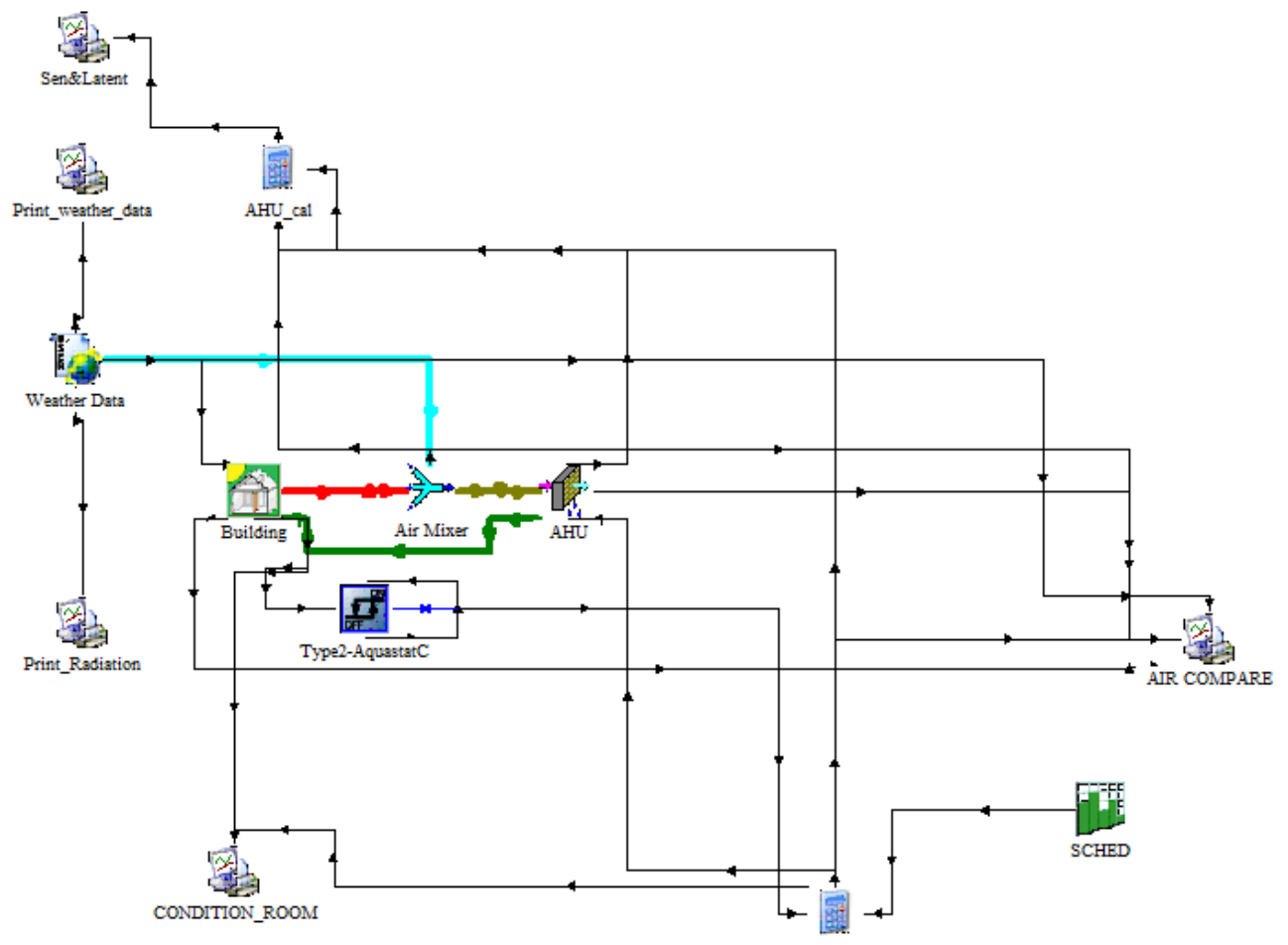
เอกสารอ้างอิง

- [1] Yu, B.F., Hu, Z.B., Liu, M., Yang, H.L., Kong, Q.X., Liu, Y.H. (2009) Review of research on air-conditioning systems and indoor air quality control for human health. *International Journal of Refrigeration* 32: 3-20.
- [2] Chirarattananon, S. (2005) *Energy efficiency for buildings*. ISBN: 974-93490-3-2.
- [3] Bearg, D. (1992) *Indoor air quality and humidity control*. Air-conditioning, Heating and Refrigeration News; 1992.
- [4] Sekhar, SC. (1995) Higher space temperatures and better thermal comfort – a tropical analysis. *Energy and Building* 23: 63–70.
- [5] Graudenz, G.S., Oliveira, C.H., Tribess, A., Mendes, C., Latorre, M.R.D.O., Kalil, J., 2005. Association of air-conditioning with respiratory symptoms in office workers in tropical climate. *Indoor Air* 15, 62–66.
- [6] Huh J, Brandemuehl MJ. Optimization of air-conditioning system operating strategies for hot and humid climates. *Energy and Building* 2008; 40:1202–13.
- [7] Zhang L, Lee WL. Evaluating the use heat pipe for dedicated ventilation of office buildings in Hong Kong. *Energy Convers Manage* 2011; 52(4):1983–9.
- [8] Imanari T, Omori T, Bogaki K. Thermal comfort and energy consumption of the radiant ceiling panel system. Comparison with the conventional all-air system. *Energy and Building* 1999;30:167–75
- [9] Yau, YH, and Ahmadzadehtalatapeh, M. (2010) A review on the application of horizontal heat pipe heat exchangers in air conditioning systems in the tropics. *Applied Thermal Engineering*. 30: 77-84.
- [10] Cejudo López, JM, Hernández, FF, Muñoz, FD, Andrés Ac. (2013) The optimization of the operation of a solar desiccant air handling unit couple with a radiant floor. *Energy and Building* 62: 427–435.
- [11] Lee, W.L., Chen, H., Leung, Y.C., Zhang, Y. (2012) Decoupling dehumidification and cooling for energy saving and desirable space air conditions in hot and humid Hong Kong. *Energy Conversion and Management* 53: 230-239.
- [12] Zhang, L., Lee, W.L. (2011) Evaluating the use heat pipe for dedicated ventilation of office buildings in Hong Kong. *Energy Conversion and Management* 52: 1983-1989.

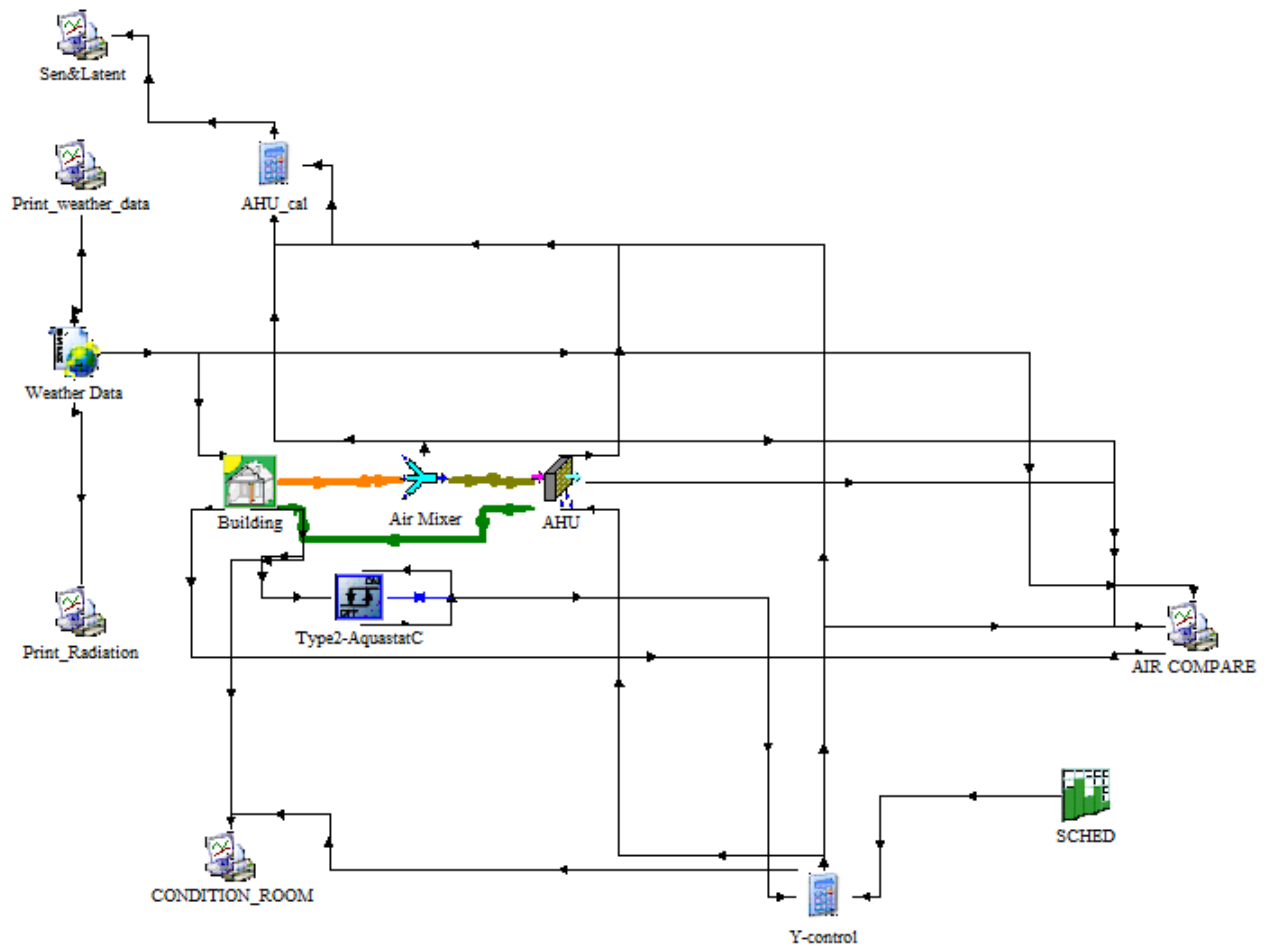
- [13] Ahmadzadehtalatapeh, M., Yau, Y.H. (2011) The application of heat pipe heat exchangers to improve the air quality and reduce the energy consumption of the air conditioning system in a hospital ward-A full year model simulation. *Energy and Building* 43: 2344-2355.
- [14] Ahmadzadehtalatapeh, M. (2013) An air-conditioning system performance enhancement by using heat pipe based heat recovery technology. *Scientia Iranica* 20(2): 329-336.
- [15] Niu, J.L., L.Z. Zhang, and H.G. Zuo, Energy savings potential of chilled-ceiling combined with desiccant cooling in hot and humid climates. *Energy and Buildings*, 2002. 34(5): p. 487-495.
- [16] Subramanyam, N., M.P. Maiya, and S.S. Murthy, Application of desiccant wheel to control humidity in air-conditioning systems. *Applied Thermal Engineering*, 2004. 24(17-18): p. 2777-2788.
- [17] Parker, S.A., Two-wheel desiccant dehumidification system, T.U.S.D.o. Energy, Editor. 1997.
- [18] Jeong, J., et al., Performance analysis of four-partition desiccant wheel and hybrid dehumidification air-conditioning system. *International Journal of Refrigeration*, 2010. 33(3): p. 496-509.
- [19] Ayuyuen, S., 2007, Enhancing Energy Efficiency of an Air-Conditioning System by Reducing Enthalpy of Fresh Air, Thesis of Master of Engineering Program, School of Energy, Environment and Materials, Energy Management Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi.
- [20] Murphy, J., 2006, "Smart Dedicated Outdoor Air Systems", *ASHRAE Journal* 48, pp. 31-37.
- [21] The Engineering Institute of Thailand Under H.M. The King's Patronage, 2013, Ventilation Standard for Ventilation and Air Conditioning Systems.
- [22] Morris, W., 2003, "The ABCs of DOAS: dedicated outdoor air systems", *ASHRAE Journal* 45, pp. 24-29.
- [23] ASHRAE, 2000, *ASHRAE Handbook HVAC Systems and Equipment*, American Society of Heating, Refrigeration and Air Condition Engineers, Atlanta, pp. 304-645.
- [24] A TRaNsient SYstem Simulation Program 17 (TRNSYS 17) [Online], Available : http://www.transsolar.com/__software/download/en/trnsys_shortinfo_en.pdf [2014, October 14]

- [25] S.K. Fuller, S.R. Petersen, NIST Handbook 135: Life Cycle Costing Manual for the Federal Energy Management Program, Washington, DC.
- [26] P. Harrell and A. Pavone. 1991. Evaluating DSM potential for industrial electrotechnologies, *Energy Engineering* 88 (5), pp. 6-13.
- [27] A.P. Gagge, G.M. Rapp, J.D. Hardy. 1967. The effective radiant field and operative temperature necessary for comfort with radiant heating. *ASHRAE Transactions* 73, part 1, ch. I.2.1.
- [28] F.H. Rohles, J.E. Woods, R.G. Nevins. 1974. The effect of air speed and temperature on the thermal sensations of sedentary man. *ASHRAE Transactions*, 80(1), 101-119.
- [29] ASHRAE. 1992. Thermal environmental condition for human occupancy. ANSI/ASHRAE standard 55.
- [30] M. Hamdi, G. Lachiver, F. Michaud. 1999. A new predictive thermal sensation index of human response, *Energy and Buildings*, 29(2), pp. 167-178.
- [31] E. Arens, T. Xu, K. Miura, Z. Hui, M. Fountain, F. Bauman. 1998. A study of occupant cooling by personally controlled air movement. *Energy and Buildings*, 27(1), pp. 45-59.
- [32] R.J. de Dear, G.S. Brager. 1998. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. *ASHRAE Transactions*, 104 (1a), pp. 145-167.
- [33] K. Parsons. 2003. *Human Thermal Environments*, 2nd ed., Taylor and Francis, London
- [34] F. Nicol. 2004. Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics, *Energy and Buildings*, 36 (7), pp. 628-637.

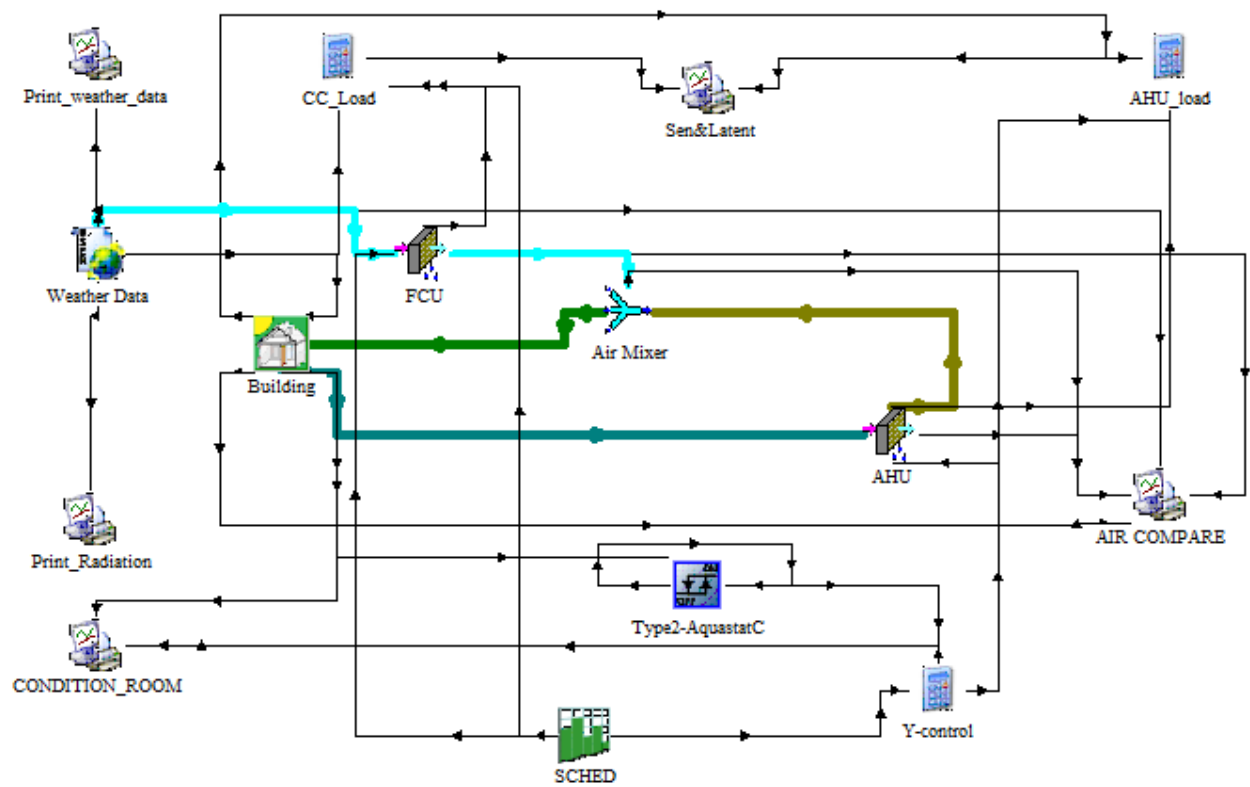
ภาคผนวก ก - แผนผังจากการจำลองระบบในโปรแกรม TRNSYS



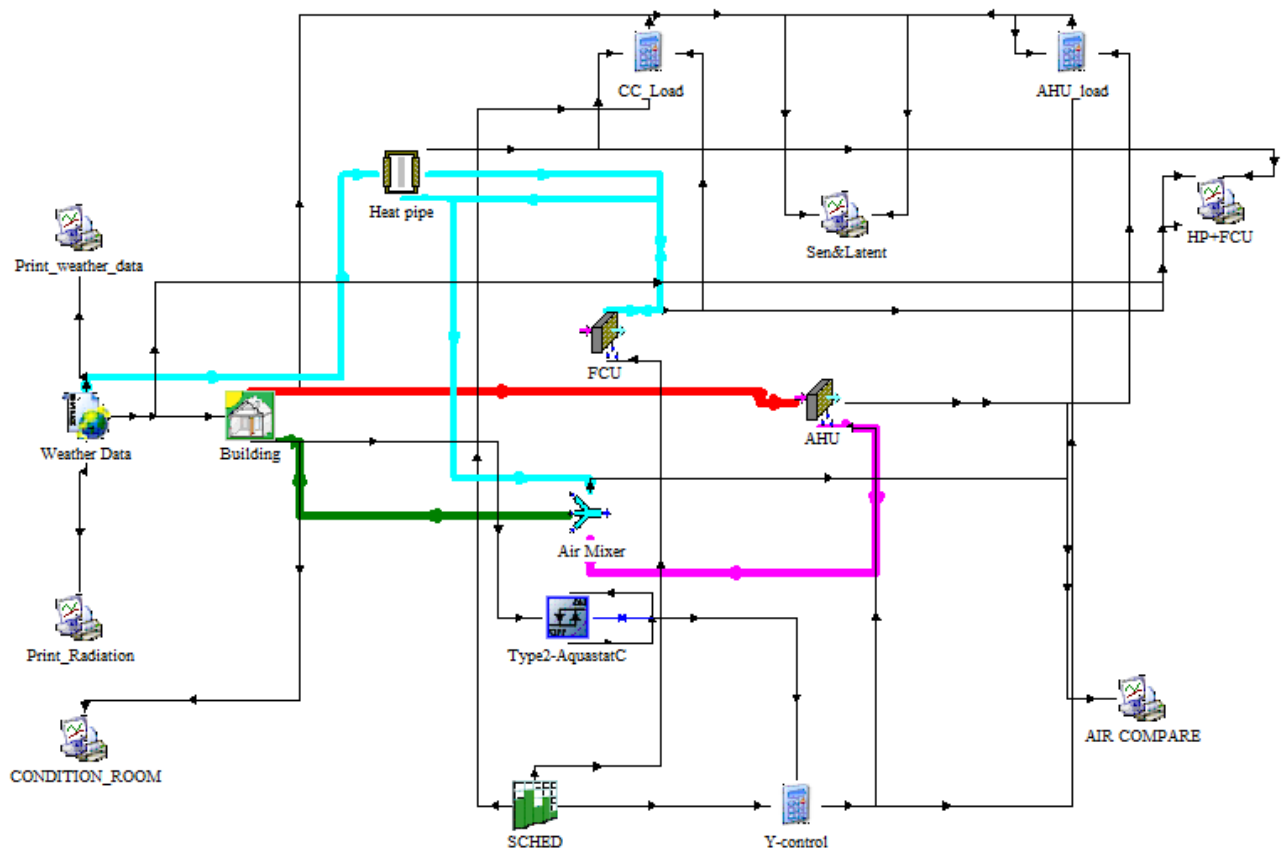
รูปที่ ก. 1 แผนผังจากโปรแกรม TRNSYS ของแบบจำลองระบบปรับอากาศทั่วไป



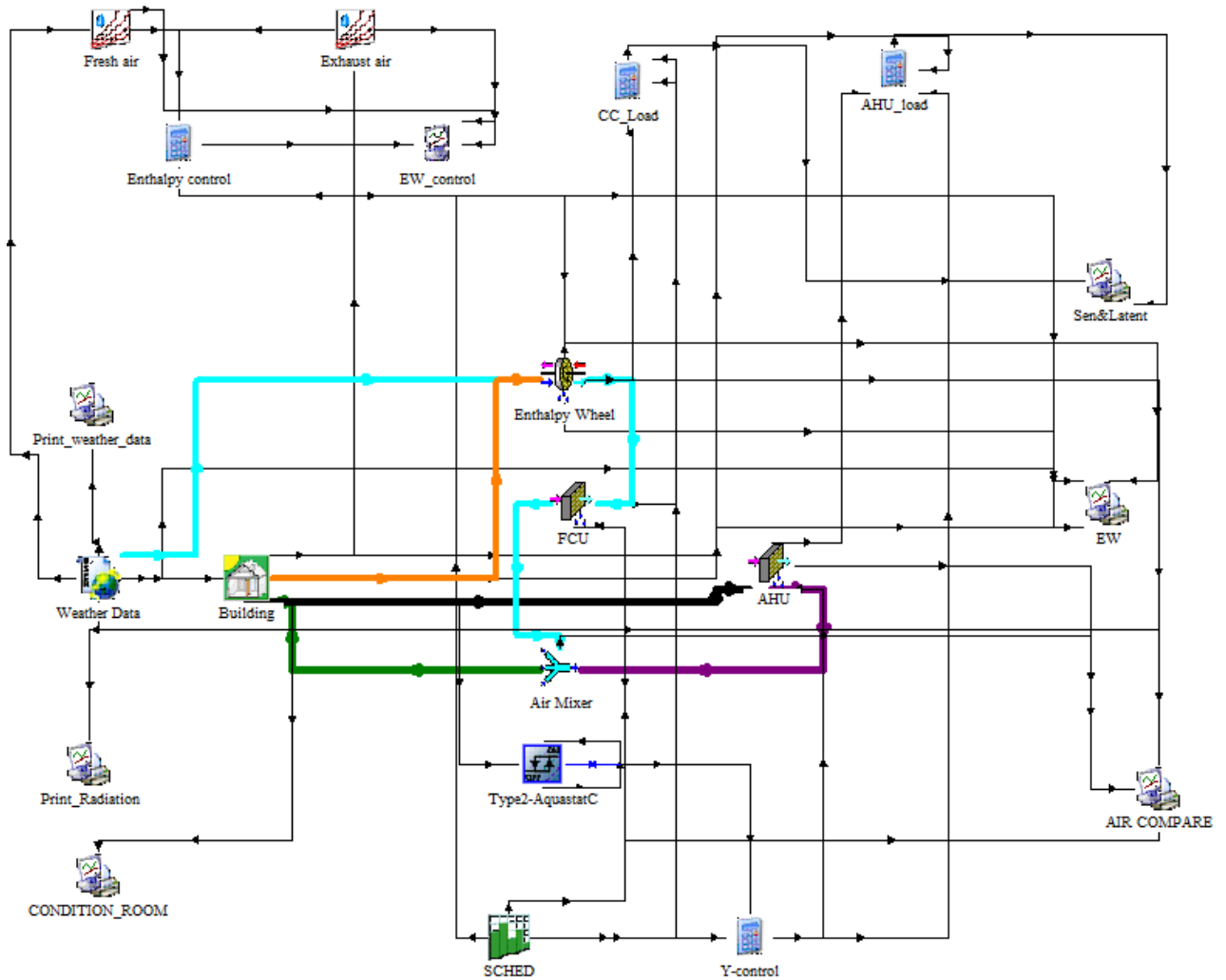
รูปที่ ก. 2 แผนผังจากโปรแกรม TRNSYS ของแบบจำลองระบบระบบปรับอากาศทั่วไปที่ปิดระบบ



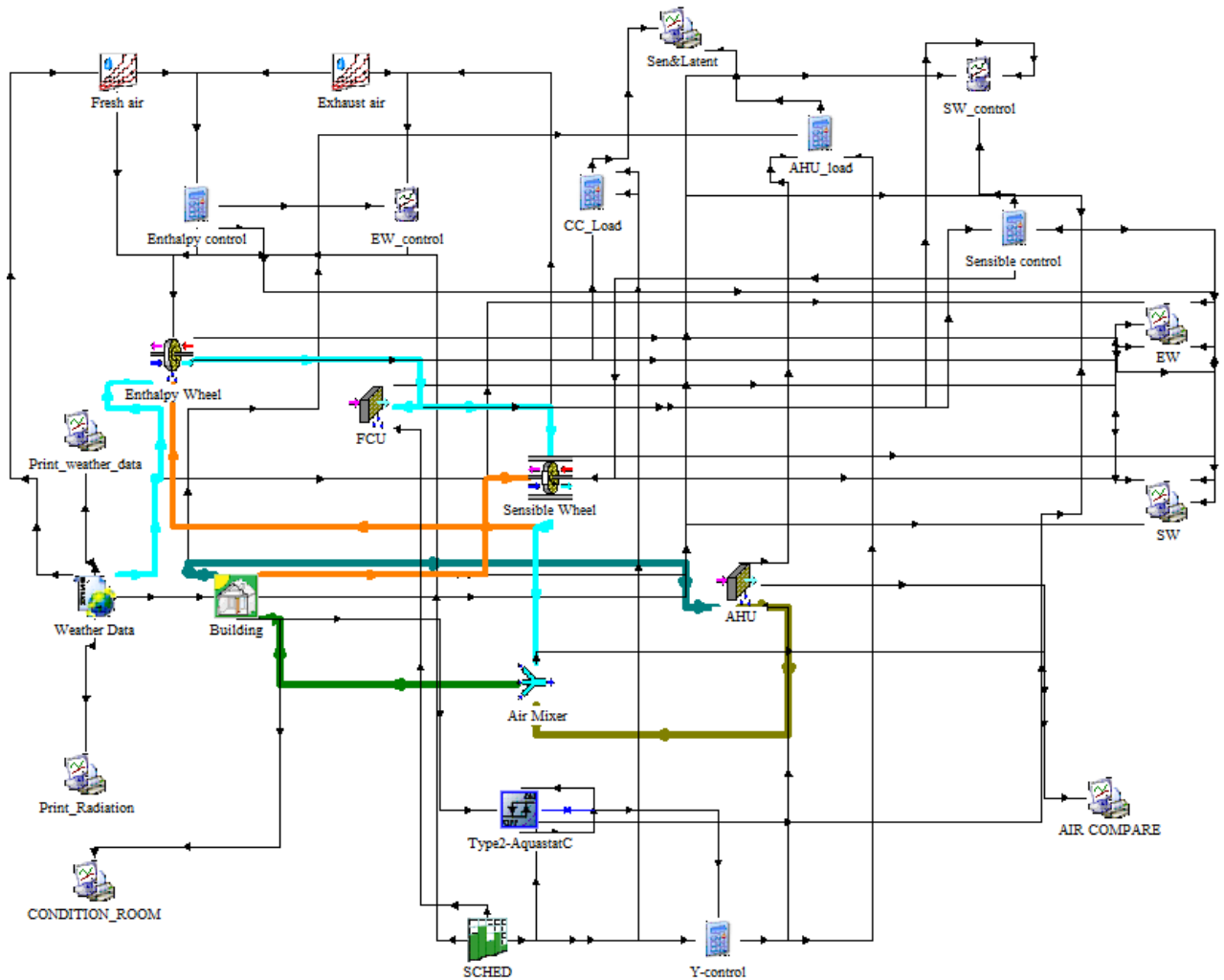
รูปที่ ก. 3 แผนผังจากโปรแกรม TRNSYS ของแบบจำลองระบบที่ใช้เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็น



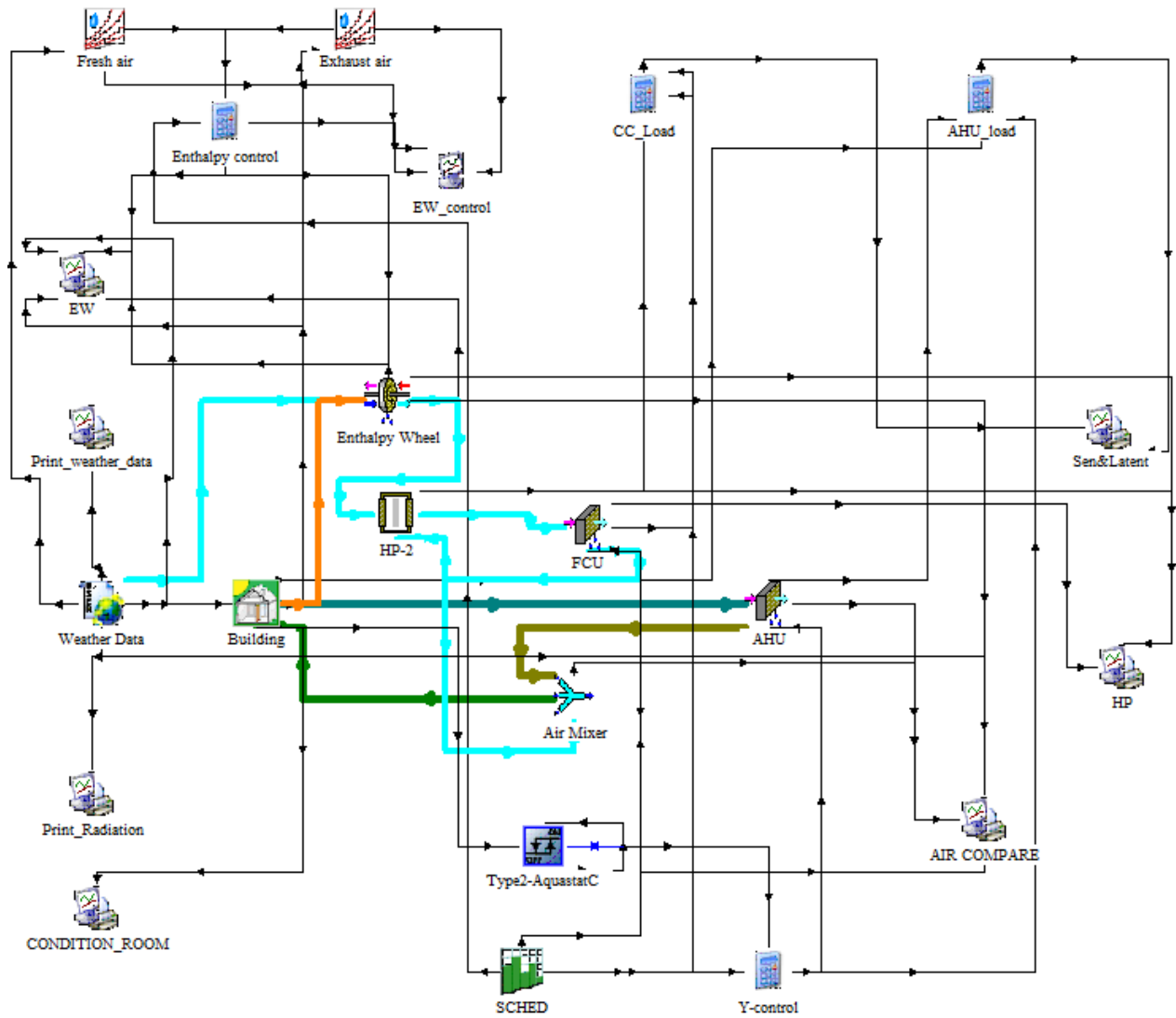
รูปที่ ก. 4 แผนผังจากโปรแกรม TRNSYS ของแบบจำลองระบบที่ใช้เครื่องเติมอากาศอากาศแบบคอยล์
เย็นร่วมกับรั้นอะราวด์คอยล์



รูปที่ ก. 5 แผนผังจากโปรแกรม TRNSYS ของแบบจำลองระบบที่ใช้เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์
เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน

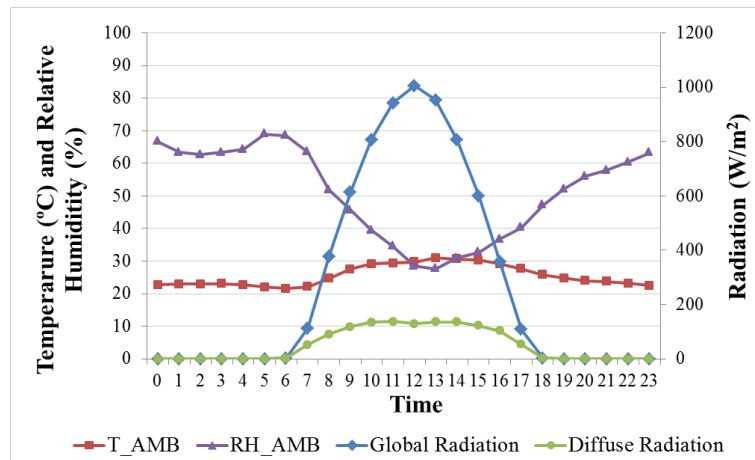


รูปที่ ก. 6 แผนผังจากโปรแกรม TRNSYS ของแบบจำลองระบบที่ใช้เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์
 เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน



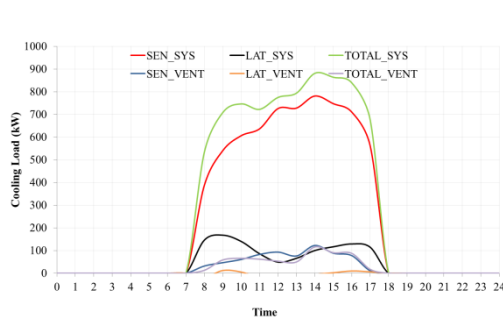
รูปที่ ก. 7 แผนผังจากโปรแกรม TRNSYS ของแบบจำลองระบบที่ใช้เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์
เย็น

ภาคผนวก ข - ระบบเติมอากาศในวันสภาพอากาศเย็นและแห้ง

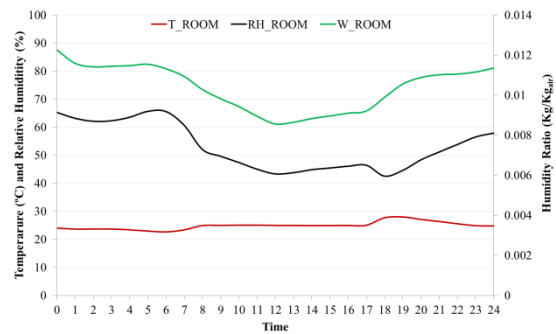


รูปที่ ข. 1 สภาพอากาศและการแผ่รังสีของวันสภาพอากาศเย็นและแห้ง (11 พฤศจิกายน)

อาคารสำนักงาน

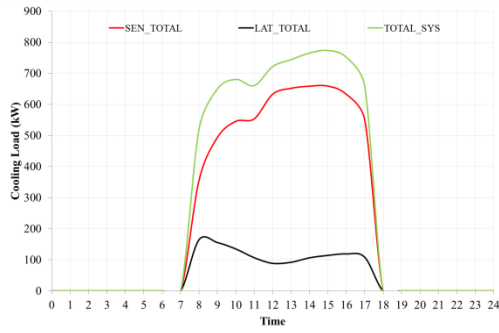


(ก) ภาระทำความเย็น



(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ข. 2 ระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป

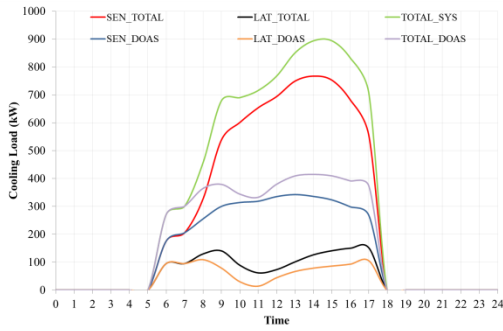


(ก) ภาระทำความเย็น

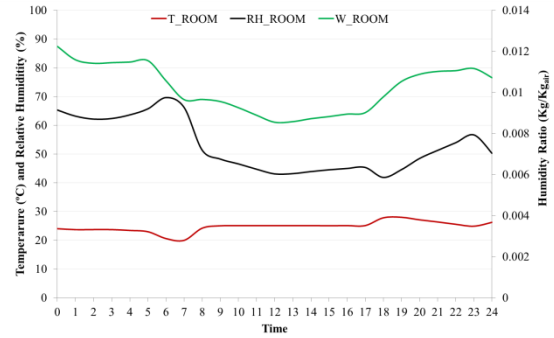


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ข. 3 ระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป (ปีระบบปรับอากาศ)

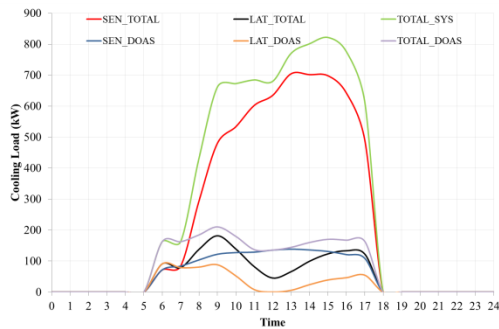


(ก) ภาระทำความเย็น

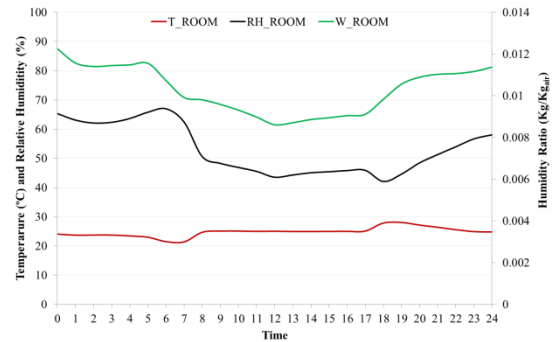


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ข. 4 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็น

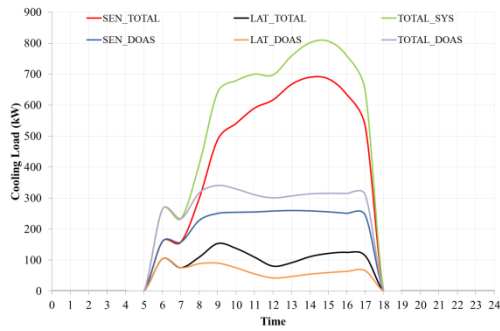


(ก) ภาระทำความเย็น



(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ข. 5 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวด์คอยล์

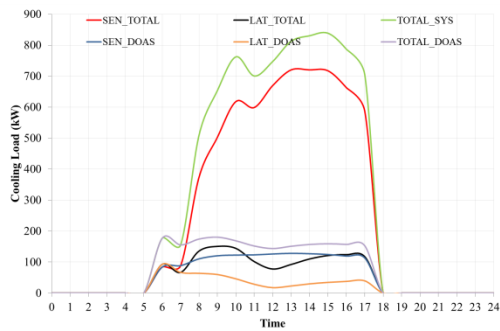


(ก) ภาระทำความเย็น

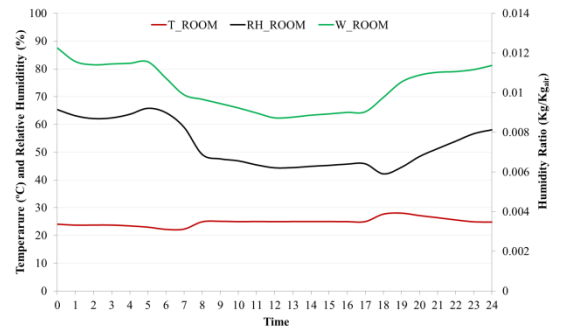


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ข. 6 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน

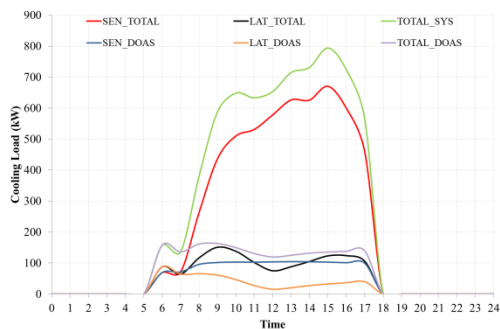


(ก) ภาระทำความเย็น

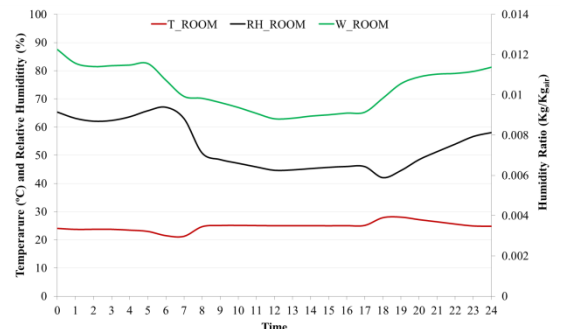


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ข. 7 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน



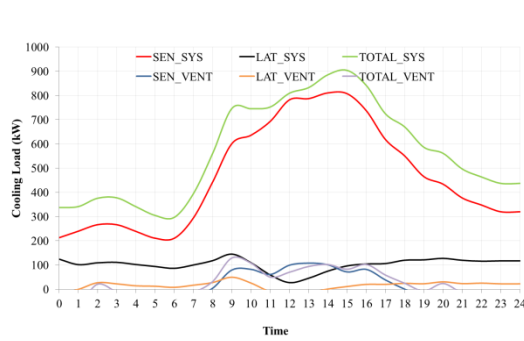
(ก) ภาระทำความเย็น



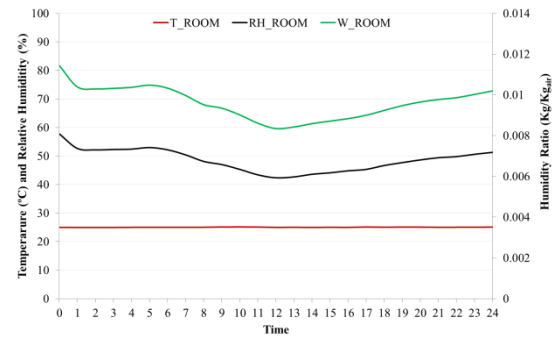
(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ข. 8 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและรันอะราวด์คอยล์

อาคารโรงแรม

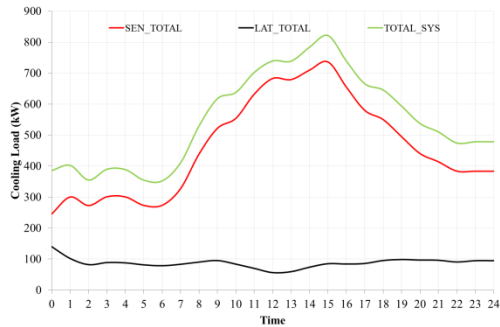


(ก) ภาระทำความเย็น

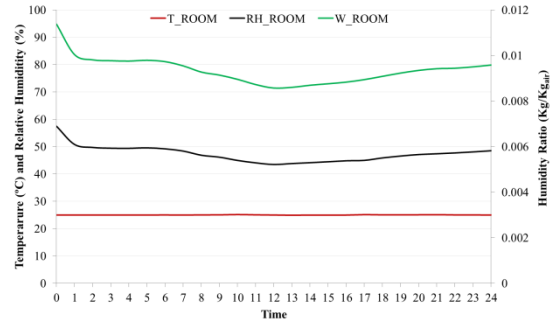


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ข. 9 ระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป

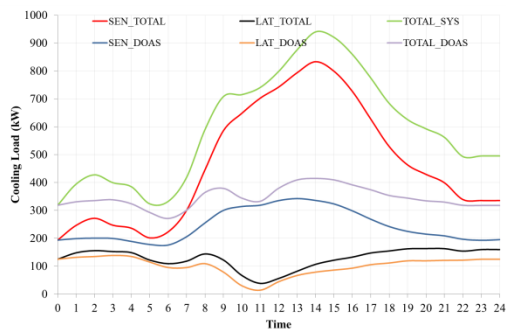


(ก) ภาระทำความเย็น

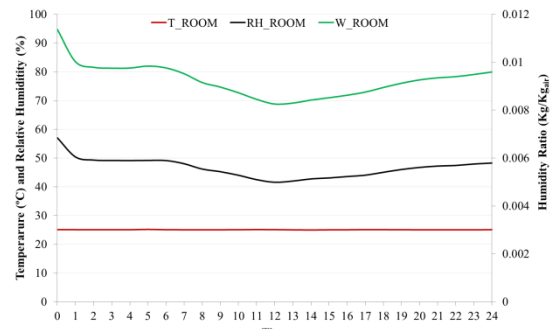


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ข. 10 ระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป (ปิดระบบปรับอากาศ)

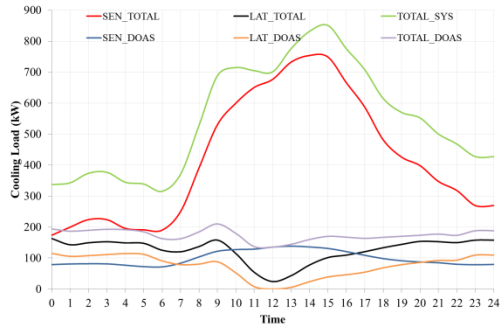


(ก) ภาระทำความเย็น

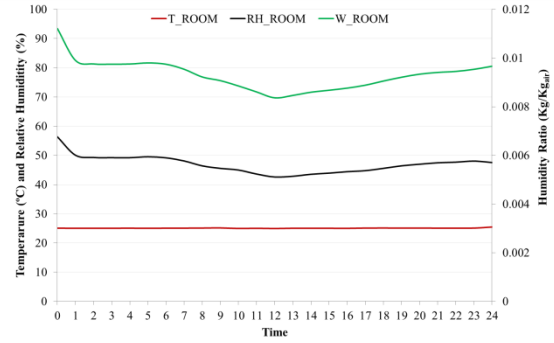


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ข. 11 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็น

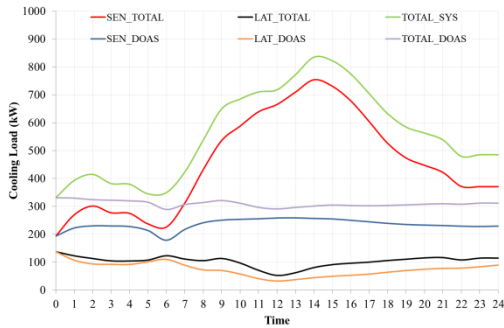


(ก) ภาระทำความเย็น

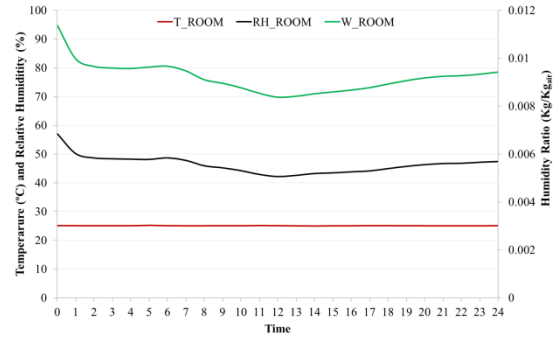


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ข. 12 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวต์คอยล์

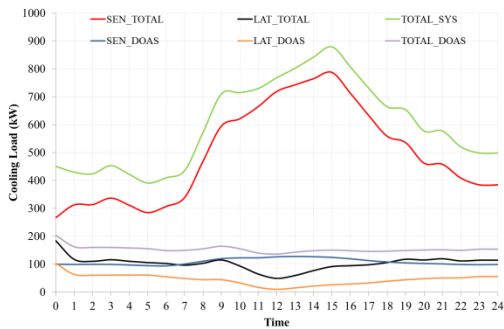


(ก) ภาระทำความเย็น

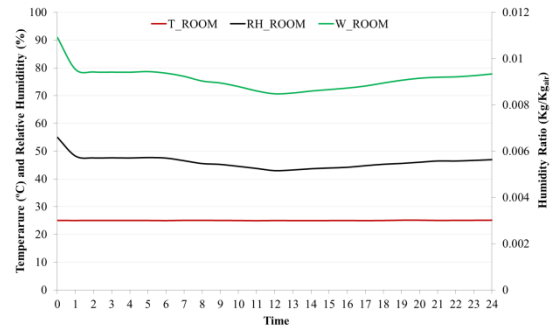


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ข. 13 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน

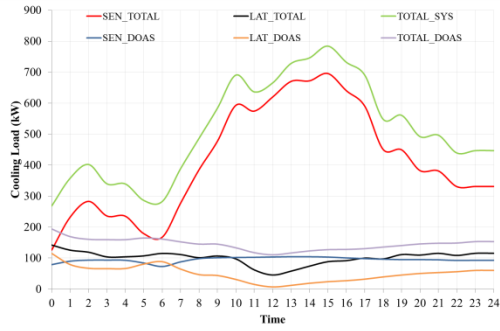


(ก) ภาระทำความเย็น



(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ข. 14 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน



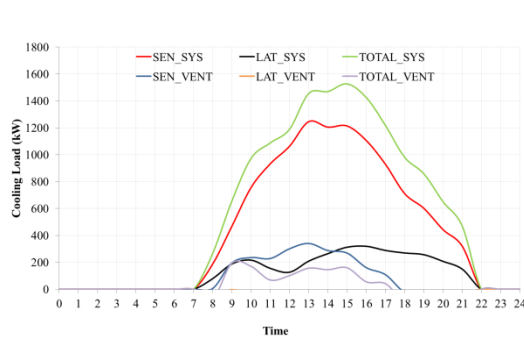
(ก) ภาระทำความเย็น



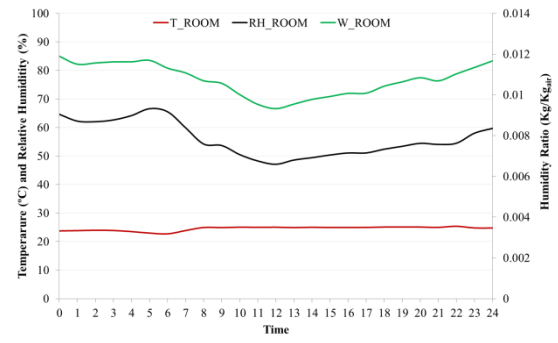
(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ข. 15 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและรันอะราวด์คอยล์

อาคารห้างสรรพสินค้า

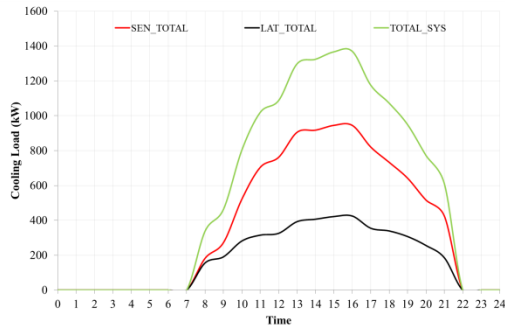


(ก) ภาระทำความเย็น



(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ข. 16 ระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป

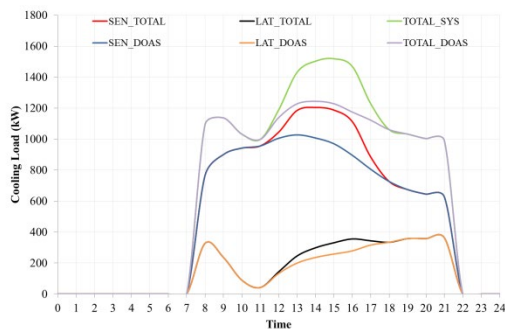


(ก) ภาระทำความเย็น



(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ข. 17 ระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป (ปิดระบบปรับอากาศ)

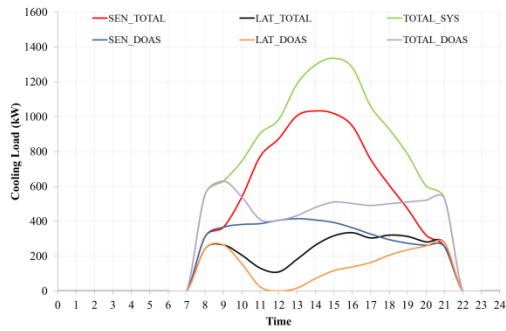


(ก) ภาระทำความเย็น

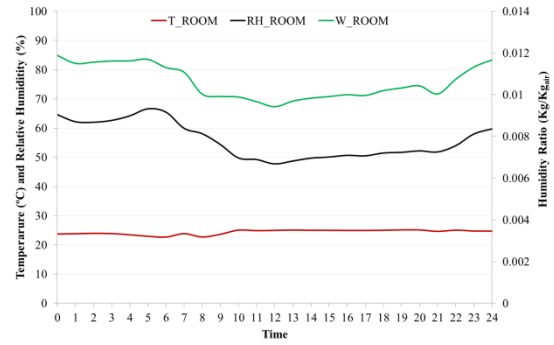


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ข. 18 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็น

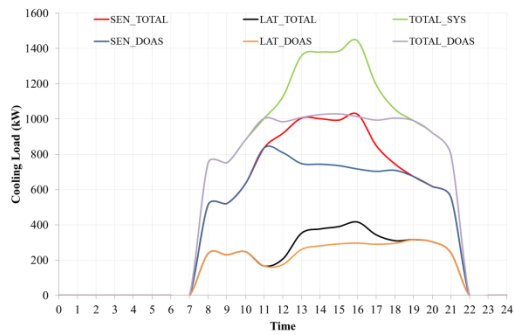


(ก) ภาระทำความเย็น

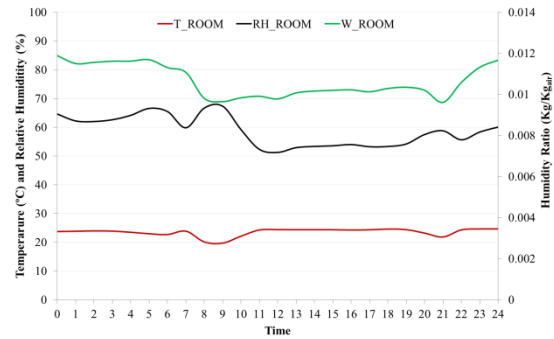


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ข. 19 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวต์คอยล์

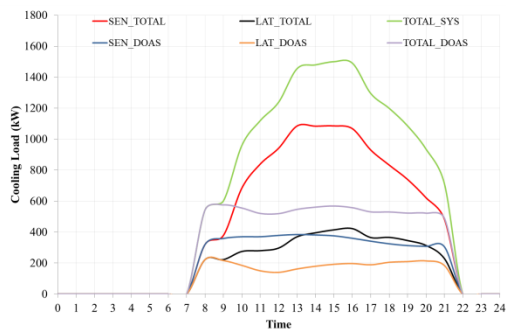


(ก) ภาระทำความเย็น

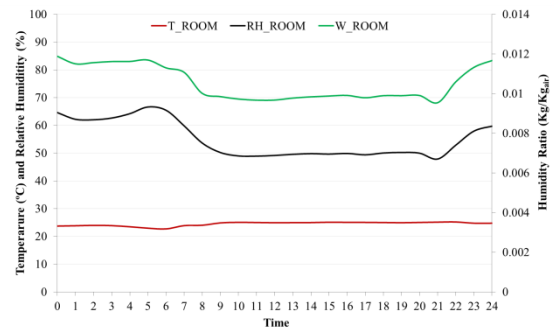


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ข. 20 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน

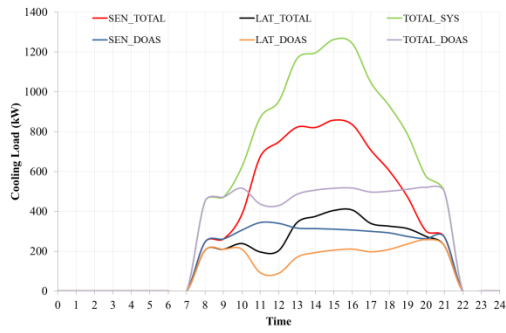


(ก) ภาระทำความเย็น

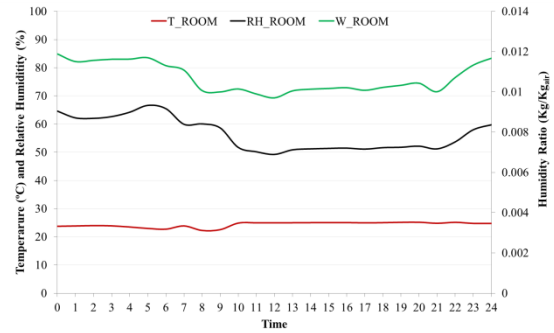


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ข. 21 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อน
สัมผัสแบบหมุน



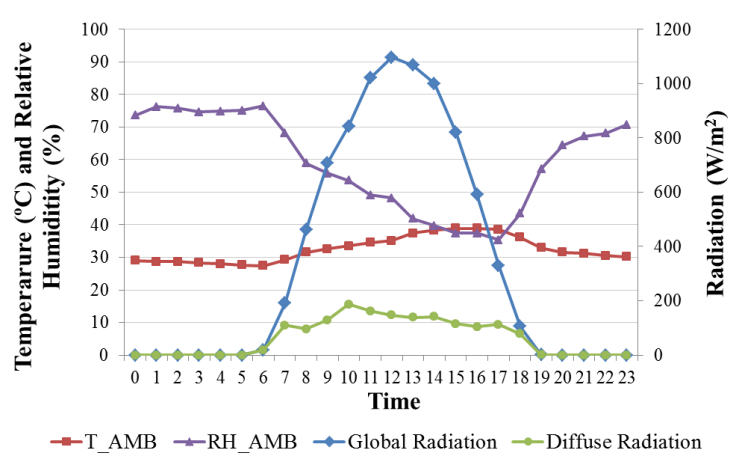
(ก) ภาระทำความเย็น



(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

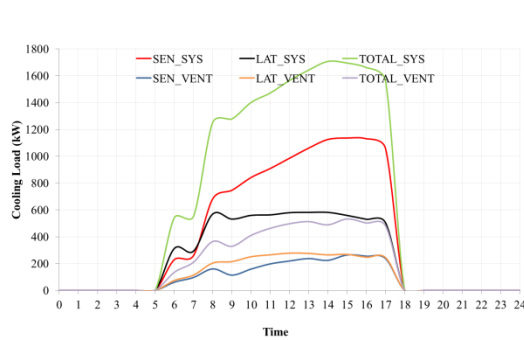
รูปที่ ข. 22 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและรันอะราวด์คอยล์

ภาคผนวก ค - ระบบเติมอากาศในวันสภาพอากาศร้อนและแห้ง

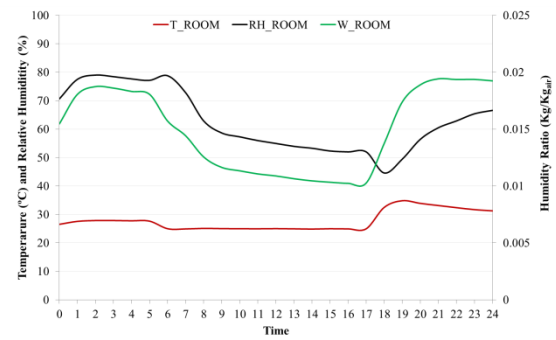


รูปที่ ค. 1 สภาพอากาศและการแผ่รังสีของวันสภาพอากาศร้อนและแห้ง (29 พฤษภาคม)

อาคารสำนักงาน

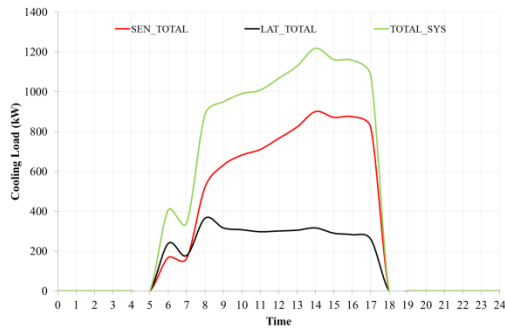


(ก) การทำความเย็น

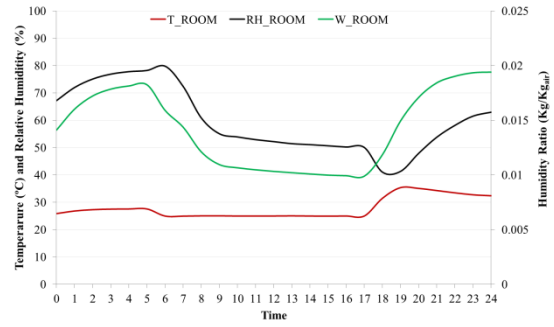


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ค. 2 ระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป

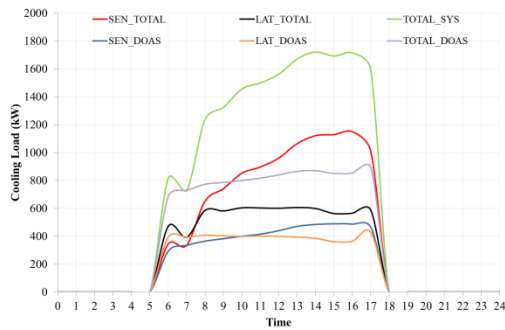


(ก) ภาระทำความเย็น

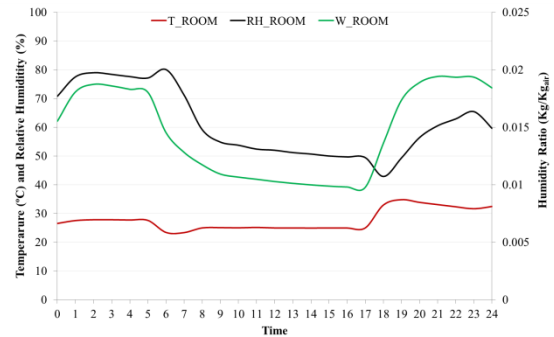


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ค. 3 ระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป (ปิดระบบปรับอากาศ)

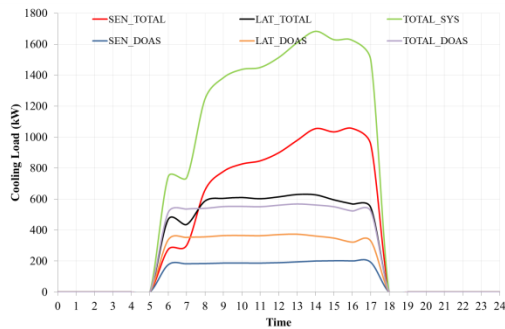


(ก) ภาระทำความเย็น

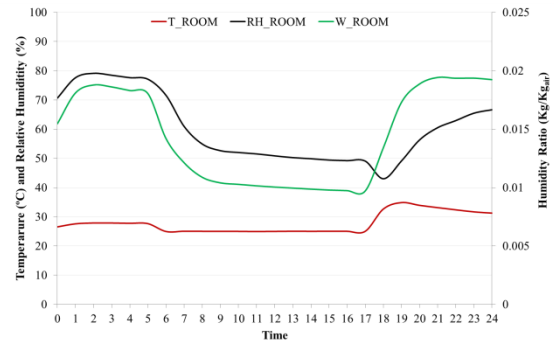


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ค. 4 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็น

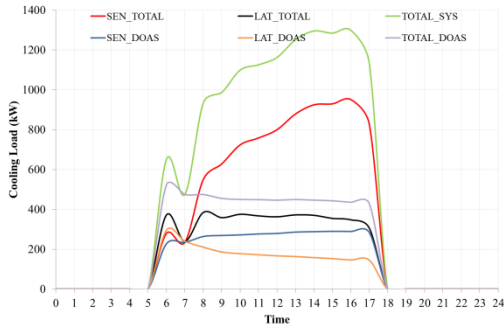


(ก) ภาระทำความเย็น

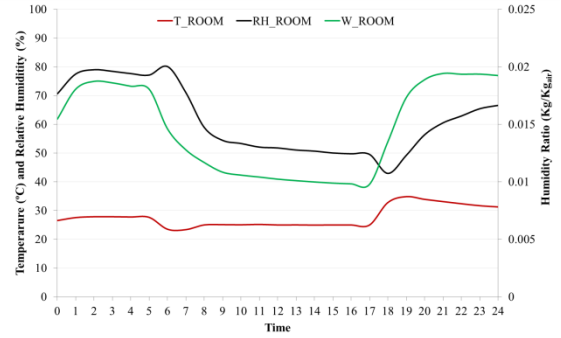


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ค. 5 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวด์คอยล์

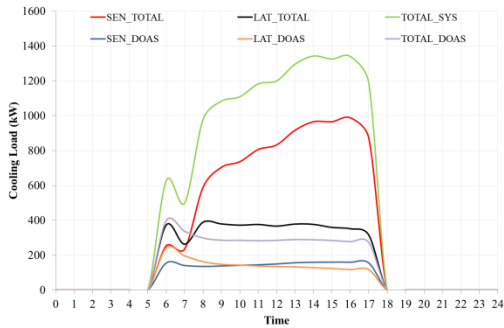


(ก) ภาระทำความเย็น

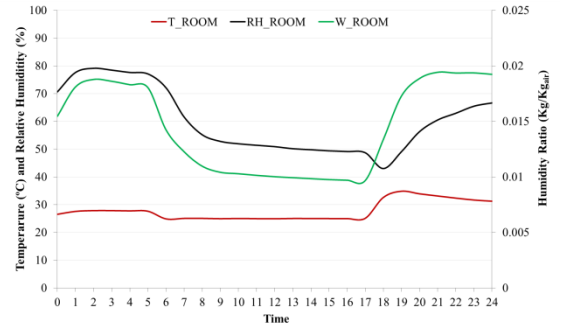


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ค. 6 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน

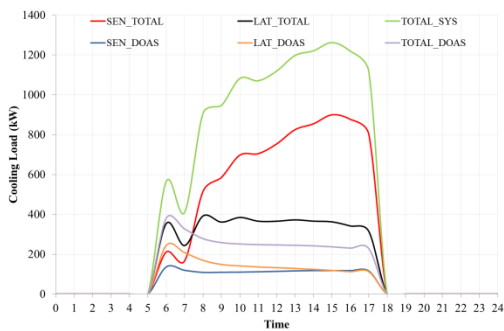


(ก) ภาระทำความเย็น

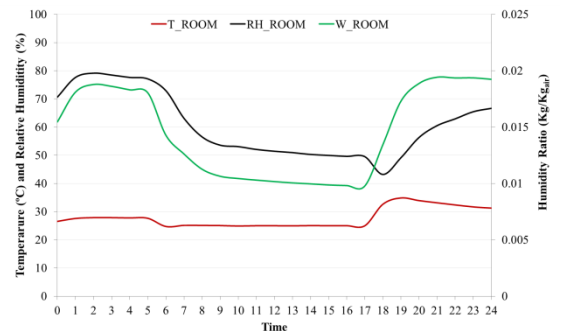


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ค. 7 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน



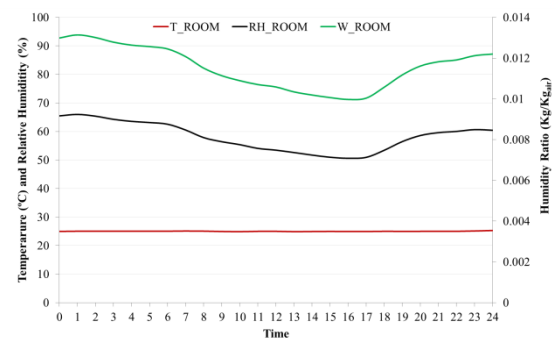
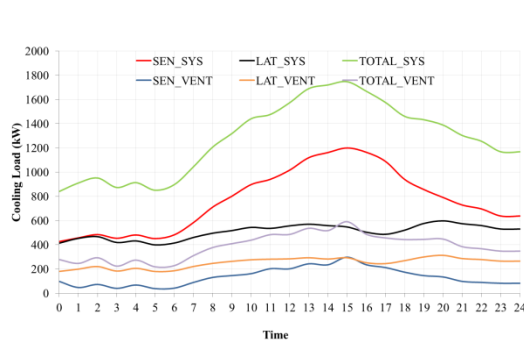
(ก) ภาระทำความเย็น



(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ค. 8 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและร็นอะราร์ดคอยล์

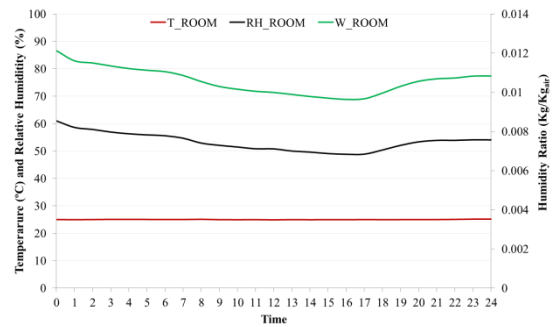
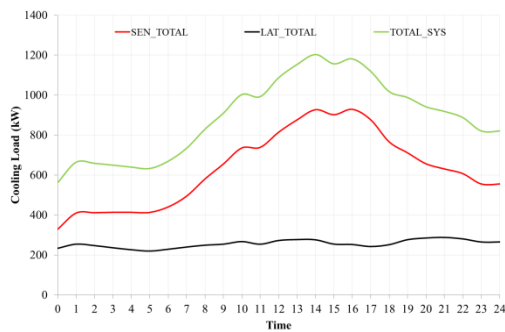
อาคารโรงแรม



(ก) ภาระทำความเย็น

(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

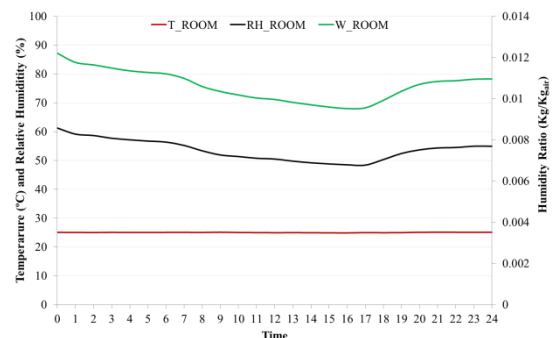
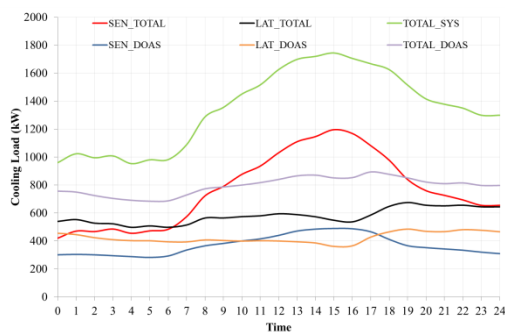
รูปที่ ค. 9 ระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป



(ก) ภาระทำความเย็น

(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

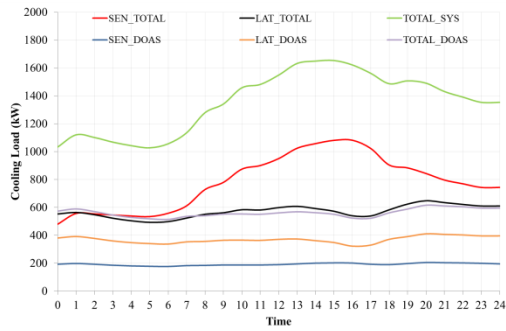
รูปที่ ค. 10 ระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป (ปีดระบบปรับอากาศ)



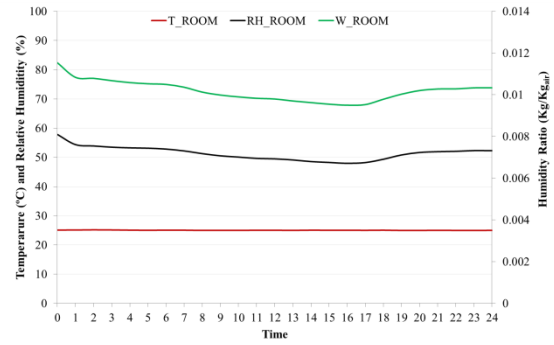
(ก) ภาระทำความเย็น

(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ค. 11 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็น

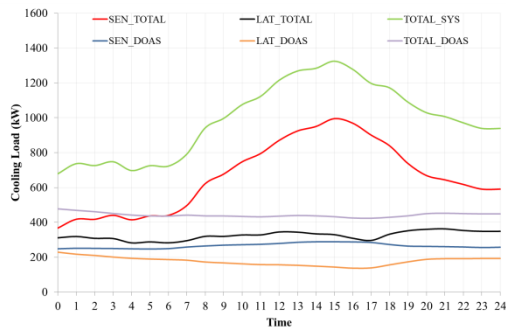


(ก) ภาระทำความเย็น

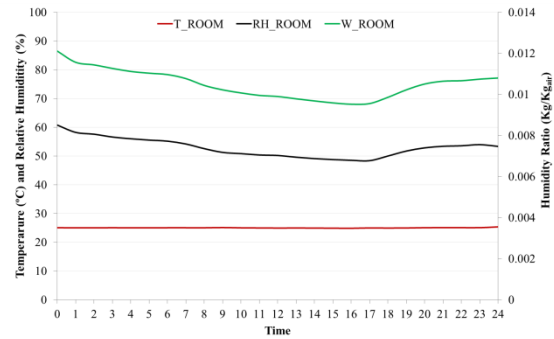


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ค. 12 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวต์คอยล์

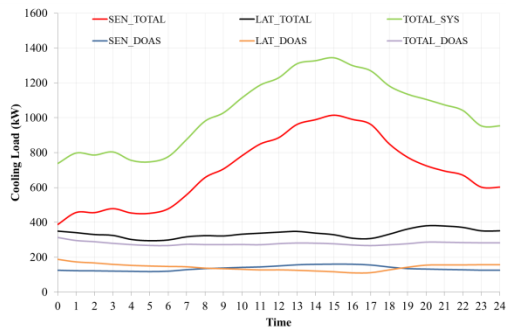


(ก) ภาระทำความเย็น

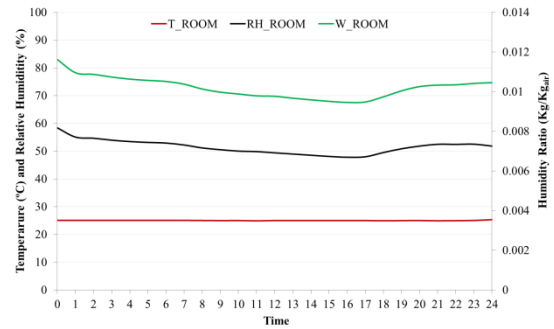


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ค. 13 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน

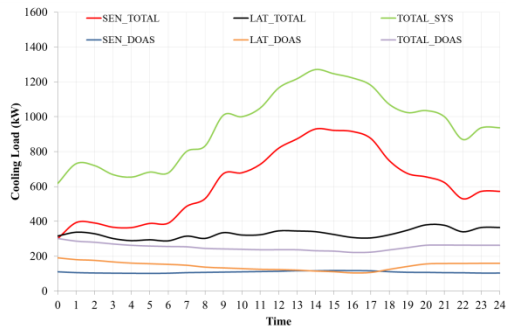


(ก) ภาระทำความเย็น



(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ค. 14 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน



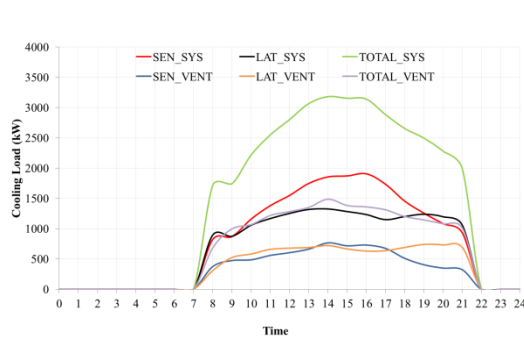
(ก) ภาระทำความเย็น



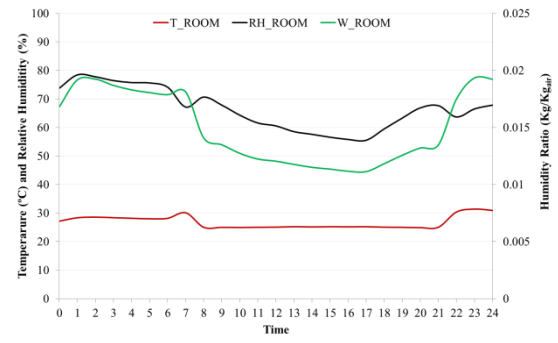
(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ค. 15 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและรันอะราวด์คอยล์

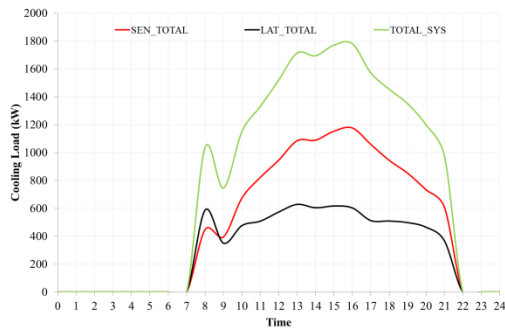
อาคารห้างสรรพสินค้า



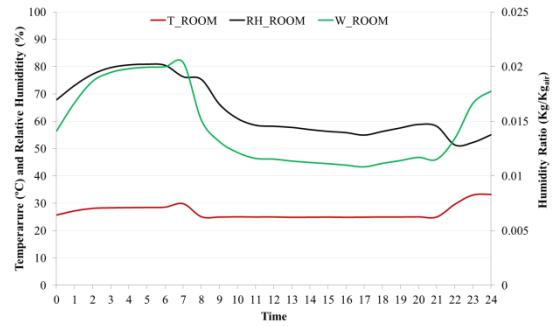
(ก) ภาระทำความเย็น



(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

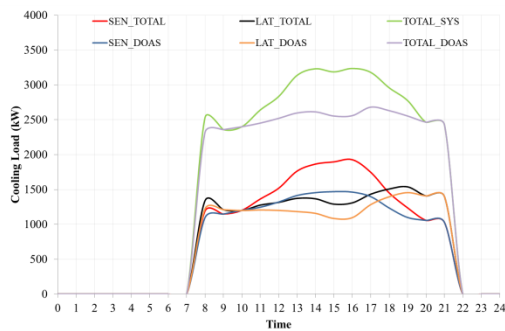


(ก) ภาระทำความเย็น

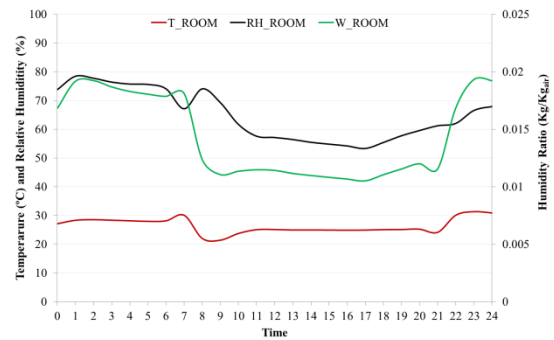


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ค. 16 ระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป (ปีระบบปรับอากาศ)

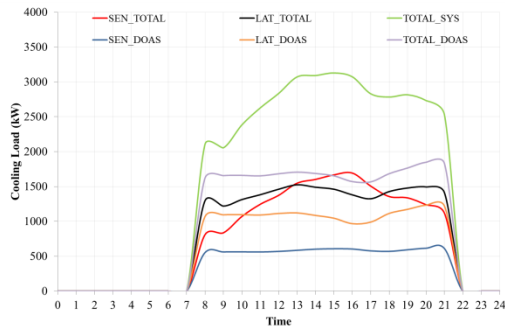


(ก) ภาระทำความเย็น

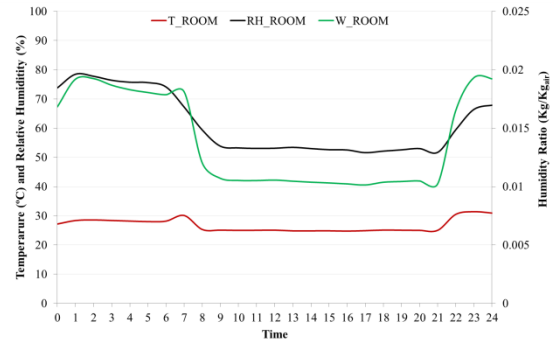


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ค. 17 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็น

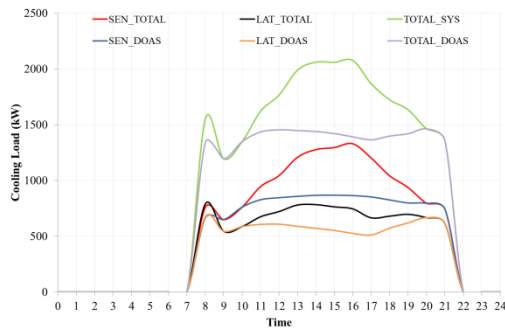


(ก) ภาระทำความเย็น

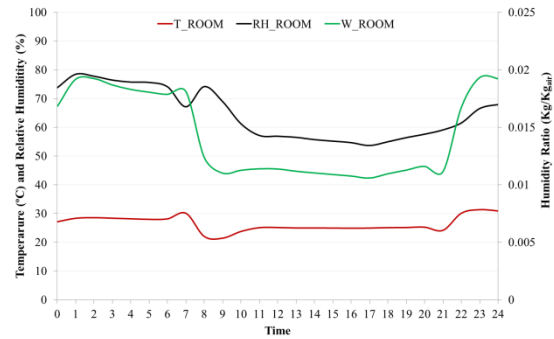


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ค. 18 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวต์คอยล์

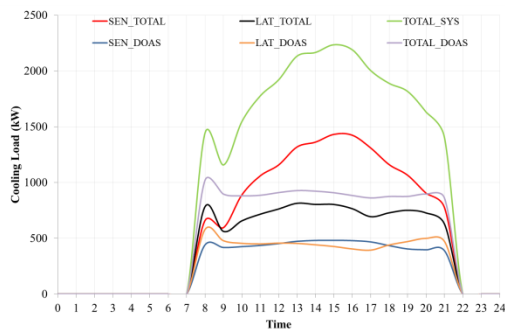


(ก) ภาระทำความเย็น

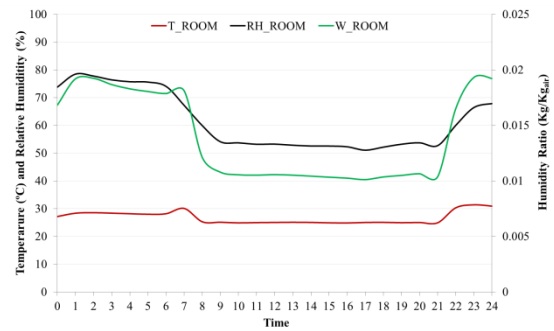


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ค. 19 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน

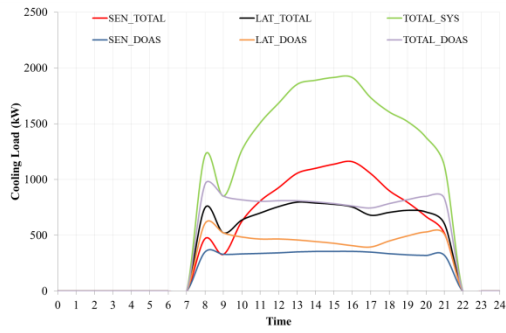


(ก) ภาระทำความเย็น

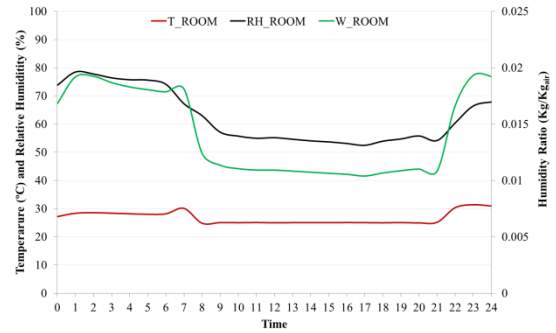


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ค. 20 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน



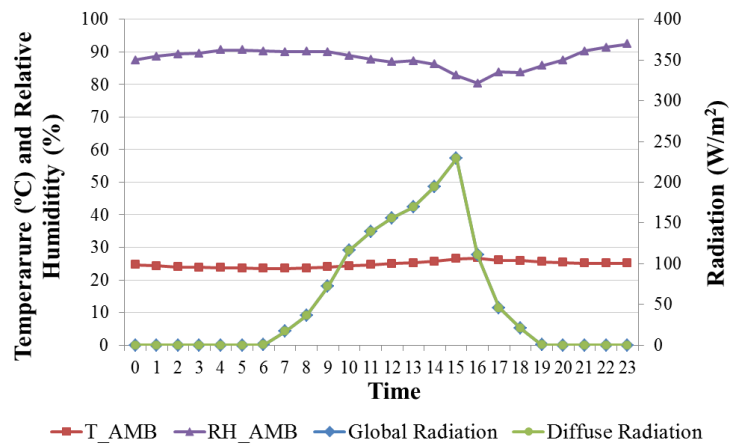
(ก) ภาระทำความเย็น



(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

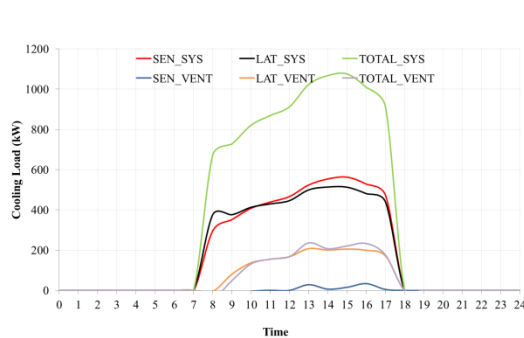
รูปที่ ค. 21 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและรันอะราวด์คอยล์

ภาคผนวก ง - ระบบเติมอากาศในวันสภาพอากาศเย็นและชื้น

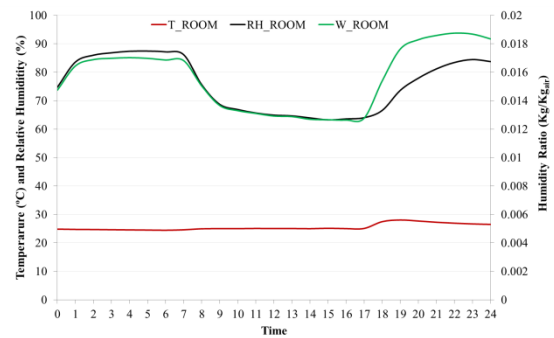


รูปที่ ง. 1 สภาพอากาศและการแผ่รังสีของวันสภาพอากาศเย็นและชื้น (24 สิงหาคม)

อาคารสำนักงาน

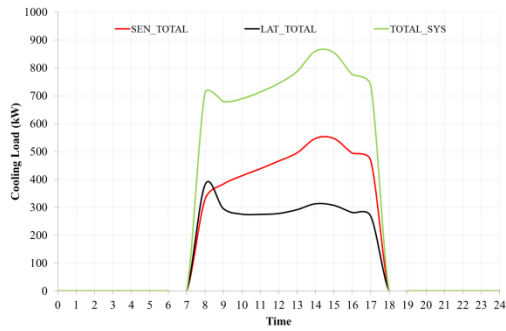


(ก) ภาระทำความเย็น

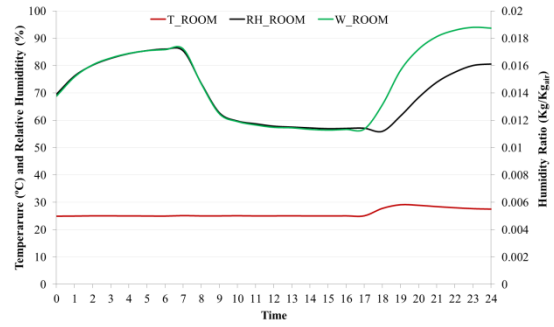


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ง. 2 ระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป

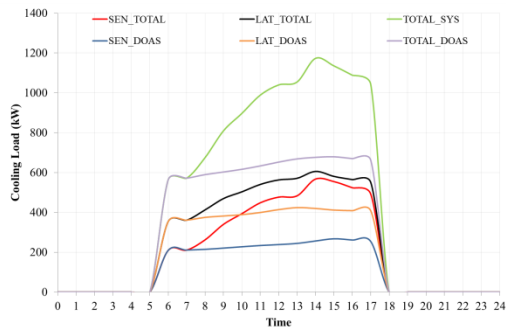


(ก) ภาระทำความเย็น

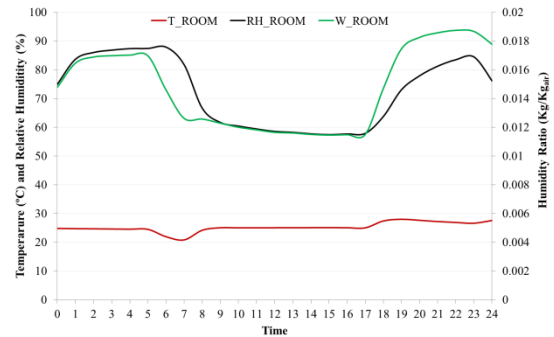


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ง. 3 ระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป (ปีระบบปรับอากาศ)

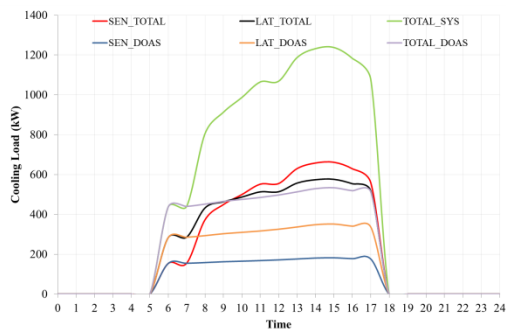


(ก) ภาระทำความเย็น

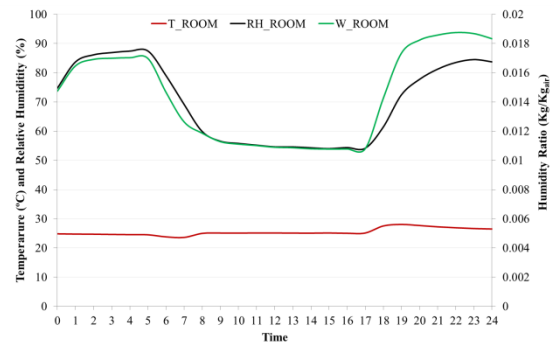


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ง. 4 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็น

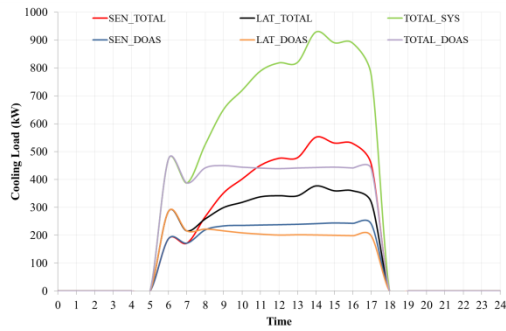


(ก) ภาระทำความเย็น

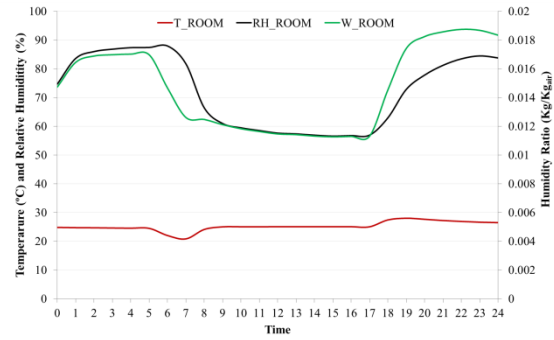


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ง. 5 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวด์คอยล์

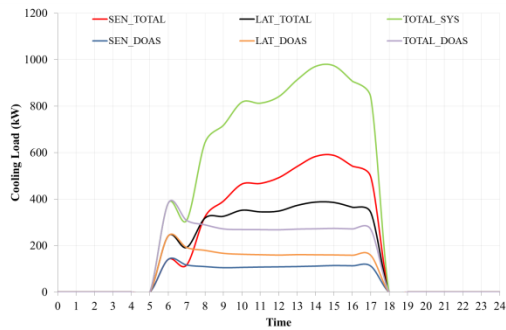


(ก) ภาระทำความเย็น

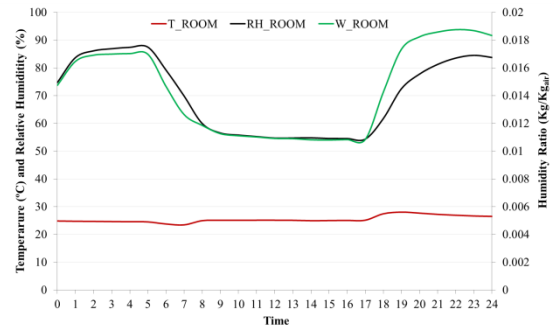


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ง. 6 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน

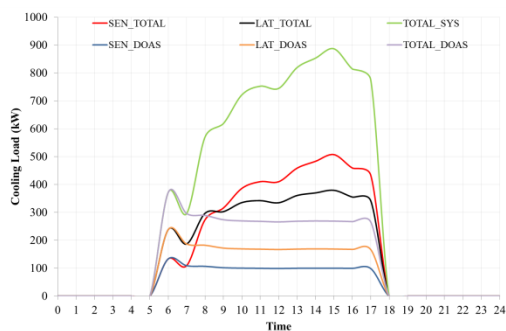


(ก) ภาระทำความเย็น

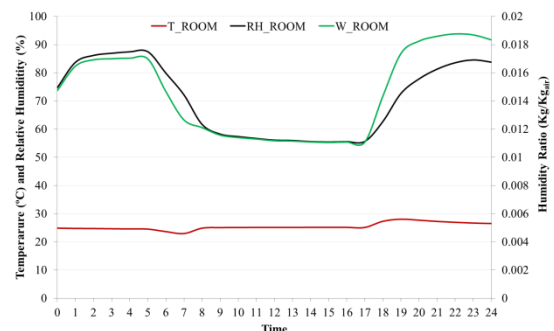


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ง. 7 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน



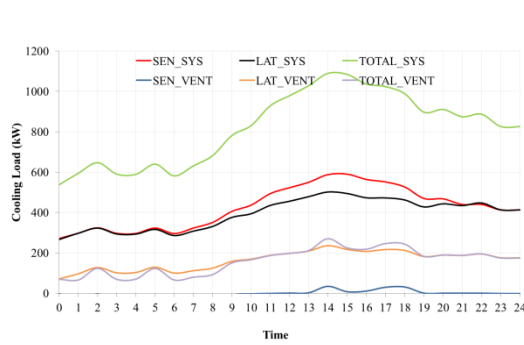
(ก) ภาระทำความเย็น



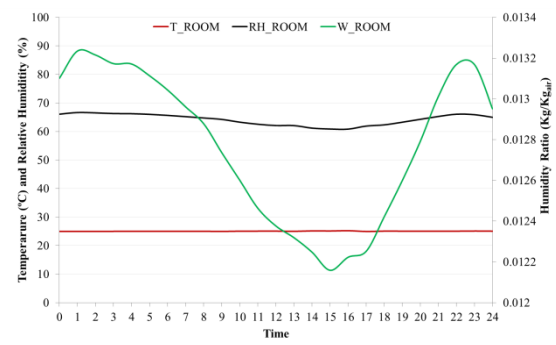
(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ง. 8 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและร่อนอะราร์ดคอยล์

อาคารโรงแรม

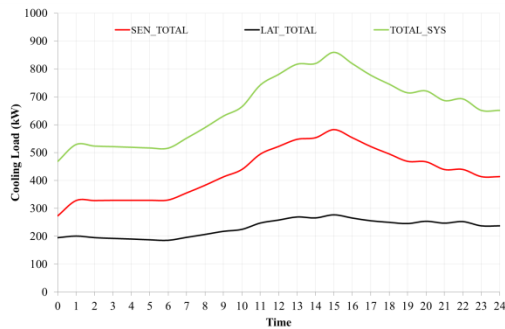


(ก) ภาระทำความเย็น

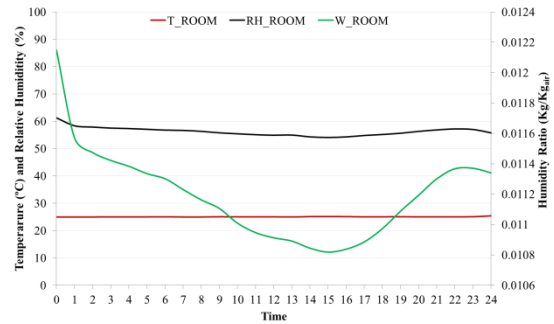


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ๙ ระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป

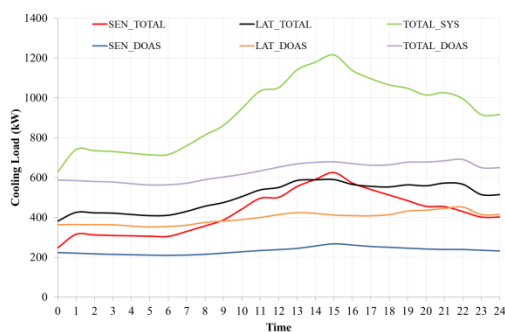


(ก) ภาระทำความเย็น

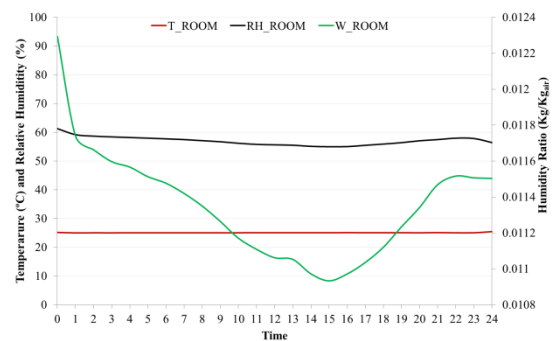


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ๑๐ ระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป (ปิดระบบปรับอากาศ)

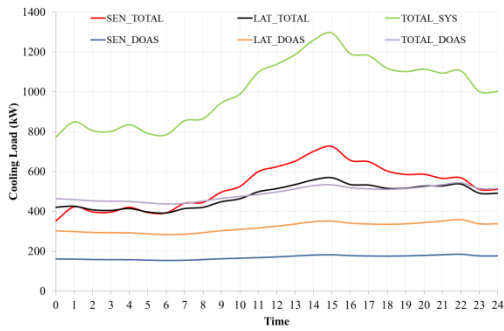


(ก) ภาระทำความเย็น

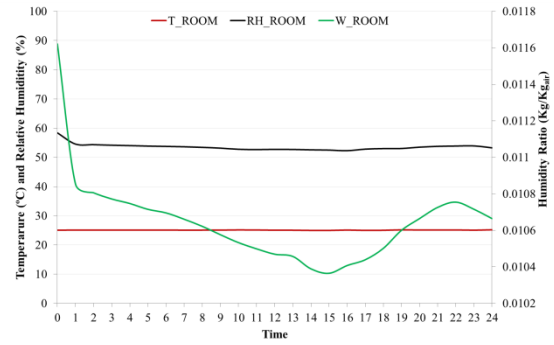


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ๑๑ เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็น

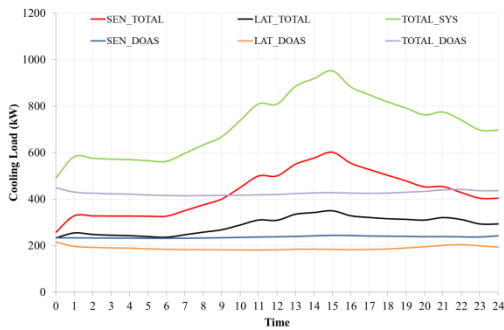


(ก) ภาระทำความเย็น

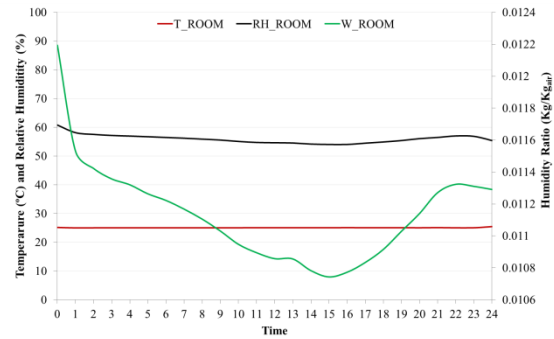


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ง. 12 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวด์คอยล์

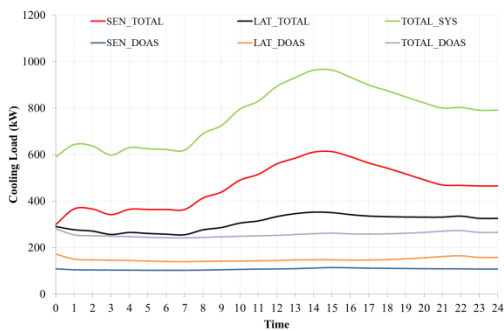


(ก) ภาระทำความเย็น

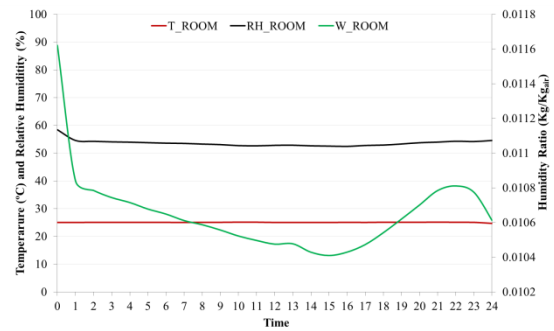


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ง. 13 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน

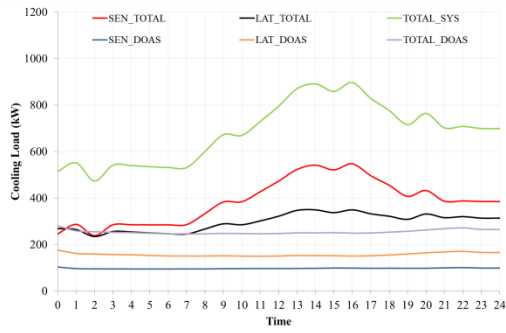


(ก) ภาระทำความเย็น

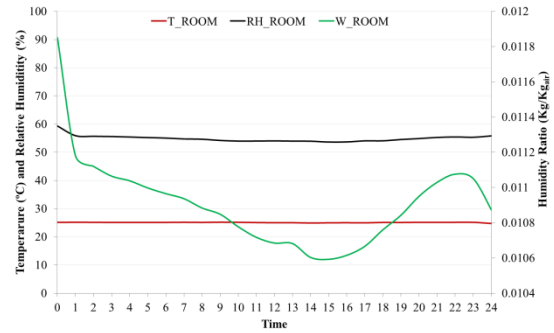


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ง. 14 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน



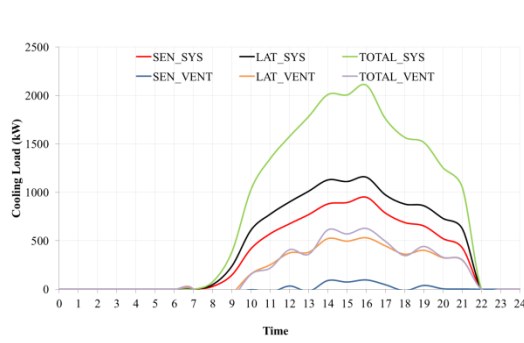
(ก) ภาระทำความเย็น



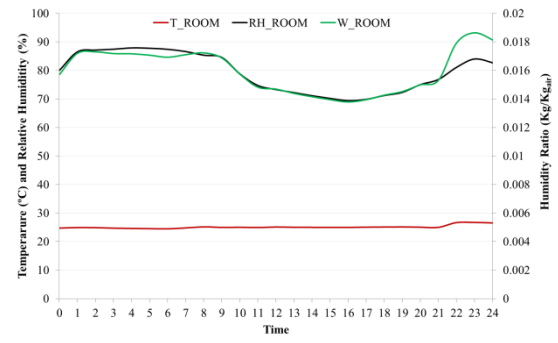
(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ง. 15 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและรันอะราวด์คอยล์

อาคารห้างสรรพสินค้า

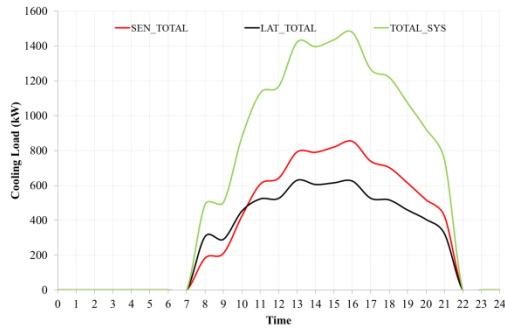


(ก) ภาระทำความเย็น



(ข) สภาพภายในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ง. 16 ระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป

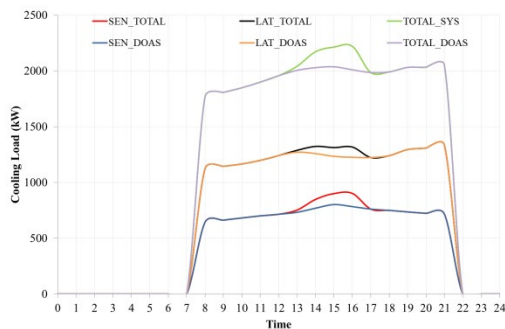


(ก) ภาระทำความเย็น

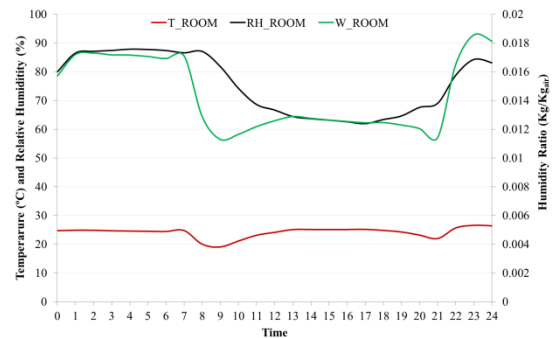


(ข) สภาพภายในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ง. 17 ระบบปรับอากาศและระบายอากาศทั่วไป (ปีระบบปรับอากาศ)

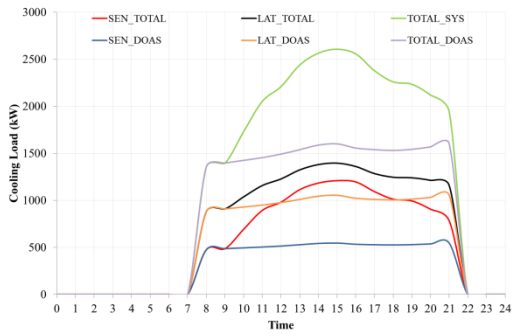


(ก) ภาระทำความเย็น

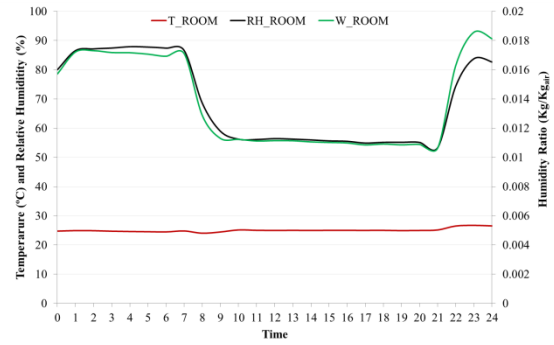


(ข) สภาพภายในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ง. 18 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็น

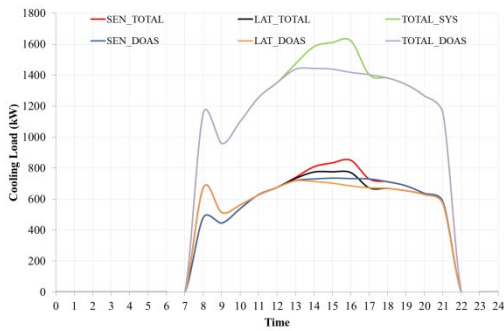


(ก) ภาระทำความเย็น

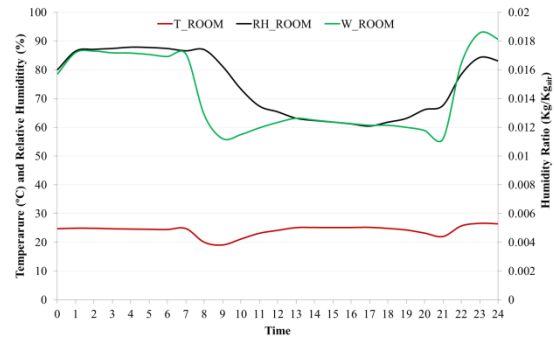


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ง. 19 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับรันอะราวด์คอยล์

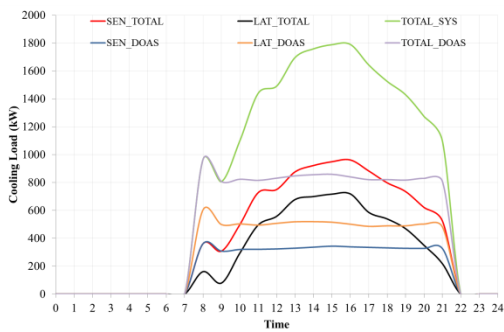


(ก) ภาระทำความเย็น

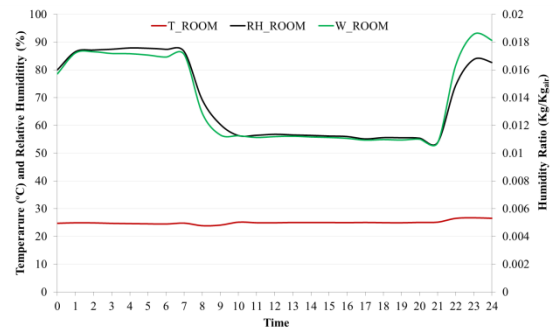


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ง. 20 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน

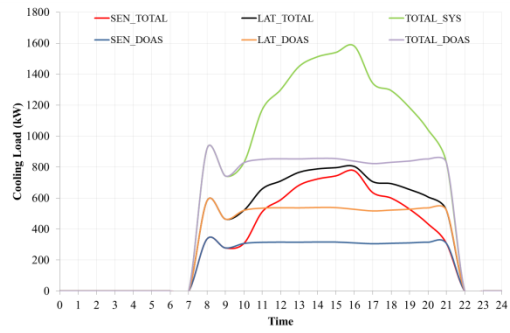


(ก) ภาระทำความเย็น

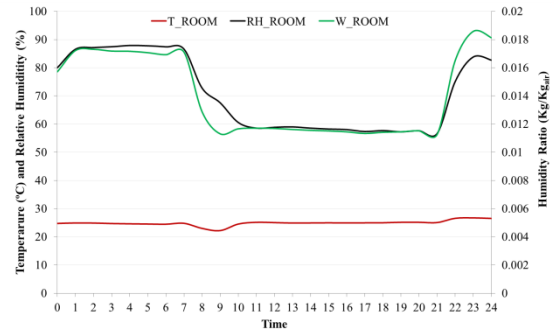


(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ง. 21 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานและความร้อนสัมผัสแบบหมุน



(ก) ภาระทำความเย็น



(ข) สภาวะในพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ ง. 22 เครื่องเติมอากาศแบบคอยล์เย็นร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนและรันอะราวด์คอยล์