

การออกแบบเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระที่เหมาะสมสำหรับกรุงเทพมหานคร

นายเชาวนพันธ์ุ เหล็กขำ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

OPTIMUM DESIGN OF A DEDICATED MAKE-UP AIR UNIT FOR BANGKOK

Mr.Chaowanaphan Lekkham

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระที่ เหมาะสมสำหรับกรุงเทพมหานคร
โดย	นายเชาวนพันธ์ุ เหล็กขำ
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ตุลย์ มณีวัฒนา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. เวชพฤติ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ตุลย์ มณีวัฒนา)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลวสาน)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. วัฒนา ศรีวาจนะ)

เชาวนพันธ์ุ เหล็กขำ : การออกแบบเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระที่เหมาะสมสำหรับกรุงเทพมหานคร (OPTIMUM DESIGN OF A DEDICATED MAKE-UP AIR UNIT FOR BANGKOK) อ. ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผศ.ดร. ตุลย์ มณีวัฒนา, 140 หน้า.

เครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระ (DOAS) เป็นอุปกรณ์ที่มีหน้าที่เติมอากาศจากภายนอกเข้าสู่อาคารขนาดใหญ่เพื่อให้เกิดการระบายอากาศตามมาตรฐาน และยังมีหน้าที่อื่นๆ อีกด้วย อาทิเช่น การอัดความดันในอาคาร และการจัดการกับความร้อนแฝงที่เกิดขึ้นภายในอาคาร เป็นต้น ปัจจุบันได้มีการนำเอา DOAS เหล่านี้มาใช้ในอาคารประเภทต่างๆ ภายในกรุงเทพมหานครมากขึ้น แต่จากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่า การออกแบบ DOAS ที่เหมาะสมมิใช่เรื่องที่จะกระทำได้ง่าย เนื่องจาก DOAS เหล่านี้ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานมากและมีองค์ประกอบภายในที่หลากหลาย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะทำการออกแบบ DOAS ที่มีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานในอาคาร 4 ประเภท ที่ตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร อันได้แก่ อาคารสำนักงาน ห้างสรรพสินค้า โรงพยาบาล และโรงแรม การออกแบบจะกระทำโดยการสร้างแบบจำลองของ DOAS จำนวน 9 รูปแบบแล้วใช้โปรแกรมจำลองการใช้พลังงาน (EnergyPlus) ศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานรวมตลอดทั้งปีของ DOAS แต่ละรูปแบบ องค์ประกอบภายในของอุปกรณ์ที่ใช้ครอบคลุมทั้ง คอยล์เย็น, ฮีตปัปป์, รั้นอะราวต์คอยล์, เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัสแบบหมุน, วงล้อเอนทาลปี และวงล้อดูดความชื้นแบบแอกทีฟ

ผลจากการจำลองระบบสามารถสรุปได้ว่า DOAS ที่เหมาะสมกับการใช้งานในอาคาร 3 ประเภทคือ อาคารสำนักงาน ห้างสรรพสินค้า และโรงแรม ควรจะมีองค์ประกอบภายในที่ประกอบไปด้วยวงล้อเอนทาลปี คอยล์เย็น และรั้นอะราวต์คอยล์ ซึ่งสามารถลดพลังงานที่ใช้ทั้งหมดเมื่อเทียบกับเครื่องเติมอากาศทั่วไปที่มีเพียงคอล์ยเย็น ได้ประมาณ 15-30% ส่วนอาคารประเภทโรงพยาบาลไม่สามารถใช้วงล้อเอนทาลปี กับอากาศที่ระบายได้ เพราะอากาศที่ระบายออกจากอาคารไม่สะอาด ดังนั้น เครื่องเติมอากาศจึงมีองค์ประกอบภายในเหลืออยู่เพียงรั้นอะราวต์คอยล์ และคอยล์เย็น ซึ่งสามารถลดพลังงานที่ใช้ได้ประมาณ 10%

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา.....2554.....

5170291221 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEYWORDS: DOAS / MAKE-UP AIR UNIT / VENTILATION / ENERGY SIMULATION

CHAOWANAPHAN LEKKHAM: OPTIMUM DESIGN OF A DEDICATED MAKE-UP AIR UNIT FOR BANGKOK. ADVISOR: ASST.PROF. TUL MANEWATTANA, Ph.D., 140 pp.

A dedicated make-up air unit (DOAS) is a device that supplies outdoor air from outside into large building to meet the requirements of ventilation standards. It is also used to pressurize the building and remove building latent load. So far, there are many buildings in Bangkok that using them and many more will be using them in the near future. Preliminary study has shown that the design and selection for the appropriate DOAS for Bangkok is not quite straightforward. This is because these DOAS have many possible internal configurations and their energy consumption is large.

The objective of this research is to design the DOAS that suitable for use in four typical types of building in Bangkok, i.e., office buildings, department stores, hotels, and hospitals. The design will be done by constructing 9 DOAS models for each building type and run them through the energy simulation program (EnergyPlus) to obtain the yearly energy consumption for comparisons. The suitable internal configurations for each DOAS model are considered from all the possible devices, i.e., cooling coil, heat pipe, run around coil, sensible wheel, passive desiccant wheel or enthalpy wheel, and active desiccant wheel.

The simulation results show that the suitable configurations of DOAS for office buildings, department stores and hotels consist of a enthalpy wheel, a run around coil, and a cooling coil. The results show the reduction of around 15-30% energy consumption from the traditional cooling coil-only DOAS. For the hospital building, the passive desiccant wheel and the sensible wheel could not be used due to the possible contamination of the exhaust air. Therefore, the only possible configuration for this case is the combination of a cooling coil and a run around coil. The reduction in energy consumption is only around 10%

Department : Mechanical Engineering Student's Signature

Field of Study : Mechanical Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2011

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ของผู้วิจัย “ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ตุลย์ มณีวัฒนา” ซึ่งได้มอบความรู้ คำแนะนำต่าง ๆ ไม่ว่าในด้านของงานวิจัยและการดำเนินชีวิตต่อไป ขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงที่ช่วยอบรมสั่งสอน ให้กำลังใจ และช่วยผลักดันให้ผู้วิจัยเดินทางมาถึง จุดหมายที่คาดหวังไว้ได้สำเร็จ

ตลอดระยะเวลา 3 ปี 6 เดือนที่ผ่านมา ณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลแห่งนี้ ผู้วิจัย ได้รับกำลังใจและความเอื้ออาทรจาก พี่ เพื่อน ในภาควิชาเป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งแด่ นายวิโรจน์ เอกวงค์มั่นคง เพื่อนผู้ร่วมทำวิจัยช่วยกันค้นคว้าหาความรู้และร่วมฟันฝ่าอุปสรรคตลอดการทำงานมาด้วยกัน และขอขอบพระคุณนางสาวภาวศุทธิ์ ชุตินันท์ช่วยให้เป็นกำลังใจและให้คำปรึกษาในเรื่องเรียนและการทำงานด้วยความยินดีมาตลอด และขอขอบคุณเพื่อนๆ นายภากร นนทวัฒน์วิช นายสมพงษ์ เจริญบุญวิวัฒน์ พี่กฤษณ์กร ประไพพิทยาคุณ และพี่กรกช เพชรดี รวมถึงเพื่อนที่เรียนปริญญาโทมาด้วยกันทุกคน ที่คอยให้กำลังใจให้ความช่วยเหลือและสร้างความสนุกสนานแก่ผู้วิจัยมาตลอด

และในท้ายที่สุด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ นายทวีป และม.ล.ถนอมพันธุ์ เหล็กขำ บิดา-มารดาของผู้วิจัยที่ได้ให้การเลี้ยงดูทั้งกายและใจ ให้การสนับสนุนในด้านต่าง ๆ มาโดยตลอด ทำให้ผู้วิจัยมีแรงใจในการทำงานและไม่ย่อท้อต่ออุปสรรคที่เกิดขึ้นจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฐ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ถ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	1
1.4 ขั้นตอนในการทำงานวิจัย.....	2
1.4.1 วิเคราะห์สภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร.....	2
1.4.2 ศึกษาระบบปรับอากาศที่มีการใช้เครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระ.....	2
1.4.3 ศึกษาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อการประหยัดพลังงาน.....	2
1.4.4 กำหนดเกณฑ์ในการออกแบบ.....	2
1.4.5 ออกแบบเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระในรูปแบบต่างๆ.....	2
1.4.6 วิเคราะห์ผลการจำลองระบบและเกณฑ์ในการออกแบบ.....	2
1.4.7 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	2
1.4.8 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์.....	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
3.1 ระบบปรับอากาศที่มีเครื่องเติมอากาศแยกอิสระ.....	6

3.1.1 การเติมอากาศที่ผ่านการปรับอากาศแล้วเข้าสู่อาคาร	7
3.2 อุปกรณ์ที่ในเครื่องเติมอากาศร่วมกับคอยล์เย็น.....	10
3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อประหยัดพลังงาน	10
3.2.2 การลดความชื้นโดยสารดูดความชื้น.....	22
3.3 แบบจำลองของอุปกรณ์ในโปรแกรม EnergyPlus	24
3.3.1 แบบจำลองของคอยล์เย็น	24
3.3.2 แบบจำลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมด ..	28
3.3.3 แบบจำลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัส.....	32
3.3.4 แบบจำลองของวงล้อดูดความชื้น.....	32
3.4 การเปรียบเทียบค่าเทียบเท่าปัจจุบันสุทธิของโครงการที่มีอายุเท่ากัน.....	33
บทที่ 4 การออกแบบเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระที่เหมาะสมกับกรุงเทพมหานคร	36
4.1 เงื่อนไขการออกแบบเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระ.....	36
4.1.1 ความต้องการด้านประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศ.....	36
4.1.2 ความต้องการขนาดทำความเย็นของเครื่องเติมอากาศ	36
4.1.3 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของเครื่องเติมอากาศ	37
4.1.4 ความน่าเชื่อถือของเครื่องเติมอากาศ	38
4.1.5 ความยืดหยุ่นของเครื่องเติมอากาศ.....	38
4.1.6 ความยั่งยืน	38
4.2 การวิเคราะห์สภาพอากาศของกรุงเทพมหานคร	39
4.3 การออกแบบเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระสำหรับกรุงเทพมหานคร.....	40
4.3.1 การคำนวณขนาดเครื่องเติมอากาศภายนอก	40
4.3.2 รูปแบบของเครื่องเติมอากาศภายนอก	44
4.4 การจำลองการระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องเติมอากาศที่ออกแบบไว้กับอาคารตัวอย่าง	54
4.4.1 รูปแบบจำลองของอาคารสำนักงาน.....	54

4.4.2 รูปแบบจำลองของห้างสรรพสินค้า	57
4.4.3 รูปแบบจำลองของโรงแรม	59
4.4.4 รูปแบบจำลองของโรงพยาบาล	61
4.5 การจำลองระบบด้วย EnergyPlus	63
บทที่ 5 ผลและการวิเคราะห์.....	65
5.1 ภาระทำความเย็นของอาคารประเภทต่าง ๆ.....	65
5.2 การใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศภายนอกและระบบของอาคาร.....	69
5.3 ความสามารถในการทำงานของเครื่องเติมอากาศภายนอก.....	74
5.4 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของเครื่องเติมอากาศภายนอก	80
5.5 การเลือกใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัส	81
5.5.1 ประสิทธิภาพ	81
5.5.2 การควบคุม	81
5.5.3 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน	81
5.5.4 การบำรุงรักษา.....	81
5.5.4 ความยืดหยุ่น	82
5.5.5 ข้อสรุปในการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัส.....	82
5.6 การเลือกเครื่องเติมอากาศภายนอกที่เหมาะสมสำหรับกรุงเทพมหานคร.....	83
5.6.1 ความต้องการด้านประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศ.....	83
5.6.2 ความต้องการขนาดทำความเย็นของเครื่องเติมอากาศ	83
5.6.3 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของเครื่องเติมอากาศ	83
5.6.4 ความน่าเชื่อถือของเครื่องเติมอากาศ	83
5.6.5 ความยืดหยุ่นของเครื่องเติมอากาศ.....	83
5.6.6 ความยั่งยืน	84
5.6.7 ข้อสรุปในการออกแบบเครื่องเติมอากาศภายนอก	84

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	86
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	86
6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัย.....	87
รายการอ้างอิง	88
ภาคผนวก.....	90
ภาคผนวก ก.....	91
ภาคผนวก ข	93
1. โรงจ่ายน้ำเย็น/น้ำร้อน	93
2. เครื่องเป่าลมเย็นในแต่ละโซนของอาคาร.....	93
3. เครื่องเติมอากาศภายนอก.....	93
ภาคผนวก ค.....	103
ภาคผนวก ง	120
ง.1 ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน	120
ง.2 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารสำนักงาน.....	122
ง.3 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของห้างสรรพสินค้า	127
ง.4 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของโรงแรม	132
ง.5 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของโรงพยาบาล	137
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	140

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ตารางค่าถ่วงน้ำหนักของการออกแบบเครื่องเติมอากาศภายนอก	38
4.2 สภาวะออกแบบภายนอกที่ 0.4% ของ ASHRAE สำหรับการทำความเย็นและ ลดความชื้นของกรุงเทพมหานคร	41
4.3 เงื่อนไขการออกแบบเบื้องต้นของระบบ DOAS สำหรับอาคาร 4 ประเภท.....	42
4.4 สัญลักษณ์แทนอุปกรณ์ในการออกแบบ.....	44
4.5 สัญลักษณ์แทนสถานะของอากาศในแผนภาพไซโครเมตรี	44
4.6 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองของอาคารประเภทต่างๆ.....	55
5.1 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องเติมอากาศ ภายนอก สำหรับอาคารประเภทต่างๆ.....	80
5.2 การให้คะแนนเพื่อเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัสที่เหมาะสมที่สุด	82
5.3 การให้คะแนนเพื่อเลือกเครื่องเติมอากาศภายนอกที่เหมาะสมที่สุด	84
ก.1 โครงสร้างและคุณสมบัติของกรอบอาคารที่ใช้ในแบบจำลอง	92
ค.1 อัตราส่วนความชื้นของอาคารแต่ละชนิด	103
ง.1 ค่าใช้จ่ายอาคารสำนักงานที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 (CC)	122
ง.2 ค่าใช้จ่ายอาคารสำนักงานที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 (HxCoil).....	122
ง.3 ค่าใช้จ่ายอาคารสำนักงานที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 3 (EW+CC)	123
ง.4 ค่าใช้จ่ายอาคารสำนักงานที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 4 (EW+HxCoil).....	123
ง.5 ค่าใช้จ่ายอาคารสำนักงานที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 5 (EW+CC+SW)	124
ง.6 ค่าใช้จ่ายอาคารสำนักงานที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 6 (CC+PDHC).....	124
ง.7 ค่าใช้จ่ายอาคารสำนักงานที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 7 (EW+PDHC+CC).....	125
ง.8 ค่าใช้จ่ายอาคารสำนักงานที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 8 (EW+CC+PDHC).....	125
ง.9 ค่าใช้จ่ายอาคารสำนักงานที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 9 (CC+AdeSW).....	126
ง.10 รายละเอียดเงินลงทุน ค่าเงินเทียบเท่ารายปีที่เท่ากัน และค่าเทียบเท่าปัจจุบัน ของอาคารสำนักงานที่ติดตั้งเครื่องเติมอากาศ 9 รูปแบบ	126
ง.11 ค่าใช้จ่ายห้างสรรพสินค้าที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 (CC).....	127
ง.12 ค่าใช้จ่ายห้างสรรพสินค้าที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 (HxCoil).....	127
ง.13 ค่าใช้จ่ายห้างสรรพสินค้าที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 3 (EW+CC).....	128
ง.14 ค่าใช้จ่ายห้างสรรพสินค้าที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 4 (EW+HxCoil).....	128

ตารางที่	หน้า
ง.15 ค่าใช้จ่ายห้างสรรพสินค้าที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 5 (EW+CC+SW).....	129
ง.16 ค่าใช้จ่ายห้างสรรพสินค้าที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 6 (CC+PDHC)	129
ง.17 ค่าใช้จ่ายห้างสรรพสินค้าที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 7 (EW+PDHC+CC)	130
ง.18 ค่าใช้จ่ายห้างสรรพสินค้าที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 8 (EW+CC+PDHC)	130
ง.19 ค่าใช้จ่ายห้างสรรพสินค้าที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 9 (CC+ADEsW)	131
ง.20 รายละเอียดเงินลงทุน ค่าเงินเทียบเท่ารายปีที่เท่ากัน และค่าเทียบเท่าปัจจุบัน ของห้างสรรพสินค้าที่ติดตั้งเครื่องเติมอากาศ 9 รูปแบบ	131
ง.21 ค่าใช้จ่ายของโรงแรมที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 (CC).....	132
ง.22 ค่าใช้จ่ายของโรงแรมที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 (HxCoIL).....	132
ง.23 ค่าใช้จ่ายของโรงแรมที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 3 (EW+CC).....	133
ง.24 ค่าใช้จ่ายของโรงแรมที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 4 (EW+HxCoIL).....	133
ง.25 ค่าใช้จ่ายของโรงแรมที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 5 (EW+CC+SW).....	134
ง.26 ค่าใช้จ่ายของโรงแรมที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 6 (CC+PDHC)	134
ง.27 ค่าใช้จ่ายของโรงแรมที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 7 (EW+PDHC+CC)	135
ง.28 ค่าใช้จ่ายของโรงแรมที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 8 (EW+CC+PDHC)	135
ง.29 ค่าใช้จ่ายของโรงแรมที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 9 (CC+ADEsW)	136
ง.30 รายละเอียดเงินลงทุน ค่าเงินเทียบเท่ารายปีที่เท่ากัน และค่าเทียบเท่าปัจจุบัน ของโรงแรมที่ติดตั้งเครื่องเติมอากาศ 9 รูปแบบ	136
ง.31 ค่าใช้จ่ายของโรงพยาบาลที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 (CC).....	137
ง.32 ค่าใช้จ่ายของโรงพยาบาลที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 (HxCoIL).....	137
ง.33 ค่าใช้จ่ายของโรงพยาบาลที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 6 (CC+PDHC)	138
ง.34 ค่าใช้จ่ายของโรงพยาบาลที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 9 (CC+ADEsW)	138
ง.35 รายละเอียดเงินลงทุน ค่าเงินเทียบเท่ารายปีที่เท่ากัน และค่าเทียบเท่าปัจจุบัน ของโรงพยาบาลที่ติดตั้งเครื่องเติมอากาศ 9 รูปแบบ	139

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
3.1	การนำอากาศบริสุทธิ์เข้าสู่อาคารในระบบปรับอากาศทั่วไป6
3.2	ระบบปรับอากาศที่มีเครื่องเติมอากาศภายนอกอิสระ (DOAS)7
3.3	ระบบปรับอากาศแบบ DOAS ที่มีการเติมอากาศเข้าสู่พื้นที่โดยตรง8
3.4	ระบบปรับอากาศแบบ DOAS ที่มีการเติมอากาศเข้าสู่เครื่องปรับอากาศในแต่ละพื้นที่9
3.5	เครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานอากาศแบบหมุน (ROTARY AIR-TO-AIR ENERGY EXCHANGER) 10
3.6	ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน 3 แบบ 12
3.7	รั้นอะราวด์คอยล์ (COIL ENERGY RECOVERY LOOP) 14
3.8	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์ (HEAT PIPE HEAT EXCHANGERS) 17
3.9	ฮีตไปป์ (HEAT PIPE TUBE) 18
3.10	ประสิทธิผลของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ 20
3.11	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อที่มีการติดตั้งตัวควบคุมความเอียง 22
3.12	ส่วนประกอบของกงล้อดูดความชื้น (DESICCANT WHEEL) 23
3.13	กระบวนการลดความชื้นของสารดูดความชื้นบนแผ่นภูมิไซโครเมทรี 23
3.14	แผนภาพแบบง่ายของคอยล์ทำความเย็น/ลดความชื้น 24
3.15	แผนผังกระแสเงินของระบบการจ่ายเป็นอนุกรมที่มีค่าเท่ากัน 34
4.1	สภาพอากาศของกรุงเทพมหานครที่แบ่งตามกระบวนการปรับอากาศ 39
4.2	ระบบปรับอากาศที่มีเครื่องเติมอากาศอิสระแยกกับเครื่องเป่าลมเย็น 40
4.3	การเปรียบเทียบอุณหภูมิออกแบบภายนอก 0.4% ตามเงื่อนไขการออกแบบทำความเย็นในกรุงเทพฯ 41
4.4	เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 (CC) 45
4.5	เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 (HxCOIL) 46
4.6	เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 3 (EW+CC) 47
4.7	เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 4 (EW+HxCOIL) 48
4.8	เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 5 (EW+CC+SW) 49
4.9	เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 6 (CC+PDHC) 50
4.10	เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 7 (EW+PDHC+CC) 51

ภาพที่	หน้า
4.11 เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 8 (EW+CC+PDHC)	52
4.12 เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 9 (CC+ADEsW)	53
4.13 แบบจำลองโครงสร้างอาคารสำนักงาน	54
4.14 ระดับความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารสำนักงานเทียบตามเวลา.....	56
4.15 ระดับการใช้ไฟส่องสว่างของอาคารสำนักงานเทียบตามเวลา	56
4.16 ระดับการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าของอาคารสำนักงานเทียบตามเวลา	57
4.17 แบบจำลองโครงสร้างห้างสรรพสินค้า	57
4.18 ระดับความหนาแน่นของผู้ใช้ห้างสรรพสินค้าเทียบตามเวลา.....	58
4.19 ระดับการใช้ไฟส่องสว่างของห้างสรรพสินค้าเทียบตามเวลา	58
4.20 ระดับการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าของห้างสรรพสินค้าเทียบตามเวลา.....	59
4.21 แบบจำลองโครงสร้างโรงแรม.....	59
4.22 ระดับความหนาแน่นของผู้ใช้โรงแรมเทียบตามเวลา	60
4.23 ระดับการใช้ไฟส่องสว่างของโรงแรมเทียบตามเวลา	60
4.24 ระดับการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าของโรงแรมเทียบตามเวลา.....	61
4.25 แบบจำลองโครงสร้างโรงพยาบาล.....	61
4.26 ระดับความหนาแน่นของผู้ใช้โรงพยาบาลเทียบตามเวลา	62
4.27 ระดับการใช้ไฟส่องสว่างของโรงพยาบาลเทียบตามเวลา	62
4.28 ระดับการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าของโรงพยาบาลเทียบตามเวลา.....	63
4.29 แผนผังการจำลองการใช้พลังงานของอาคารด้วยโปรแกรม ENERGYPLUS	64
5.1 ภาระทำความเย็นตลอดวันของอาคารประเภทต่างๆ	66
5.2 ภาระทำความเย็นตลอดวันของอาคารและเครื่องเติมอากาศสำหรับอาคาร สำนักงาน.....	67
5.3 ภาระทำความเย็นตลอดวันของอาคารและเครื่องเติมอากาศสำหรับ ห้างสรรพสินค้า.....	67
5.4 ภาระทำความเย็นตลอดวันของอาคารและเครื่องเติมอากาศสำหรับโรงแรม	68
5.5 ภาระทำความเย็นตลอดวันของอาคารและเครื่องเติมอากาศสำหรับโรงพยาบาล	68
5.6 การเปรียบเทียบพลังงานของเครื่องเติมอากาศภายนอกประเภทต่างๆที่ใช้ สำหรับอาคารสำนักงาน.....	70

ภาพที่	หน้า
5.7 การเปรียบเทียบพลังงานของเครื่องเติมอากาศภายนอกประเภทต่างๆที่ใช้สำหรับห้างสรรพสินค้า.....	70
5.8 การเปรียบเทียบพลังงานของเครื่องเติมอากาศภายนอกประเภทต่างๆที่ใช้สำหรับโรงแรม.....	71
5.9 การเปรียบเทียบพลังงานของเครื่องเติมอากาศภายนอกประเภทต่างๆที่ใช้สำหรับโรงพยาบาล.....	71
5.10 การใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศและเครื่องเป่าลมเย็นสำหรับอาคารสำนักงาน.....	72
5.11 การใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศและเครื่องเป่าลมเย็นสำหรับห้างสรรพสินค้า.....	72
5.12 การใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศและเครื่องเป่าลมเย็นสำหรับโรงแรม.....	73
5.13 การใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศและเครื่องเป่าลมเย็นสำหรับโรงพยาบาล.....	73
5.14 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 (CC) และภายในโซนของอาคารสำนักงาน.....	75
5.15 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 (HxCoil) และภายในโซนของอาคารสำนักงาน.....	76
5.16 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 3 (EW+CC) และภายในโซนของอาคารสำนักงาน.....	76
5.17 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 4 (EW+HxCoil) และภายในโซนของอาคารสำนักงาน.....	77
5.18 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 5 (EW+CC+SW) และภายในโซนของอาคารสำนักงาน.....	77
5.19 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 6 (CC+PDHC) และภายในโซนของอาคารสำนักงาน.....	78
5.20 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 7 (EW+PDHC+CC) และภายในโซนของอาคารสำนักงาน.....	78
5.21 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 8 (EW+CC+PDHC) และภายในโซนของอาคารสำนักงาน.....	79
5.22 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 9 (CC+ADESW) และภายในโซนของอาคารสำนักงาน.....	79

ภาพที่	หน้า
ก.1 โครงสร้างของผนังที่ใช้สร้างแบบจำลองอาคาร	91
ก.2 โครงสร้างของหลังคาที่ใช้สร้างแบบจำลองอาคาร	91
ก.3 โครงสร้างของพื้นที่ใช้สร้างแบบจำลองอาคาร.....	91
ข.1 แผนผัง HVAC จากโปรแกรมENERGYPLUS ของแบบจำลองระบบที่ใช้เครื่องเติม อากาศรูปแบบที่ 1 (CC)	94
ข.2 แผนผัง HVAC จากโปรแกรมENERGYPLUS ของแบบจำลองระบบที่ใช้เครื่องเติม อากาศรูปแบบที่ 2 (HxCOIL)	95
ข.3 แผนผัง HVAC จากโปรแกรมENERGYPLUS ของแบบจำลองระบบที่ใช้เครื่องเติม อากาศรูปแบบที่ 3 (EW+CC)	96
ข.4 แผนผัง HVAC จากโปรแกรมENERGYPLUS ของแบบจำลองระบบที่ใช้เครื่องเติม อากาศรูปแบบที่ 4 (EW+HxCOIL).....	97
ข.5 แผนผัง HVAC จากโปรแกรมENERGYPLUS ของแบบจำลองระบบที่ใช้เครื่องเติม อากาศรูปแบบที่ 5 (EW+CC+SW)	98
ข.6 แผนผัง HVAC จากโปรแกรมENERGYPLUS ของแบบจำลองระบบที่ใช้เครื่องเติม อากาศรูปแบบที่ 6 (CC+PDHC).....	99
ข.7 แผนผัง HVAC จากโปรแกรมENERGYPLUS ของแบบจำลองระบบที่ใช้เครื่องเติม อากาศรูปแบบที่ 7 (EW+PDHC+CC).....	100
ข.8 แผนผัง HVAC จากโปรแกรมENERGYPLUS ของแบบจำลองระบบที่ใช้เครื่องเติม อากาศรูปแบบที่ 8 (EW+CC+PDHC).....	101
ข. 9 แผนผัง HVAC จากโปรแกรมENERGYPLUS ของแบบจำลองระบบที่ใช้เครื่องเติม อากาศรูปแบบที่ 9 (CC+ADESW).....	102
ค.1 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 (CC) และภายในโซน ของอาคารสำนักงาน	104
ค.2 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 (HxCOIL) และภายใน โซนของอาคารสำนักงาน.....	104
ค.3 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 3 (EW+CC) และภายใน โซนของอาคารสำนักงาน.....	105
ค.4 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 4 (EW+HxCOIL) และ ภายในโซนของอาคารสำนักงาน.....	105

ภาพที่	หน้า
ค.5 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 5 (EW+CC+SW) และ ภายในไซนของอาคารสำนักงาน.....	106
ค.6 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 6 (CC+PDHC) และ ภายในไซนของอาคารสำนักงาน.....	106
ค.7 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 7 (EW+PDHC+CC) และภายในไซนของอาคารสำนักงาน.....	107
ค.8 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 8 (EW+CC+PDHC) และภายในไซนของอาคารสำนักงาน.....	107
ค.9 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 9 (CC+ADESW) และ ภายในไซนของอาคารสำนักงาน.....	108
ค.10 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 (CC) และภายในไซน ของห้างสรรพสินค้า.....	108
ค.11 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 (HxCoIL) และภายใน ไซนของห้างสรรพสินค้า.....	109
ค.12 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 3 (EW+CC) และภายใน ไซนของห้างสรรพสินค้า.....	109
ค.13 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 4 (EW+HxCoIL) และ ภายในไซนของห้างสรรพสินค้า.....	110
ค.14 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 5 (EW+CC+SW) และ ภายในไซนของห้างสรรพสินค้า.....	110
ค.15 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 6 (CC+PDHC) และ ภายในไซนของห้างสรรพสินค้า.....	111
ค.16 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 7 (EW+PDHC+CC) และภายในไซนของห้างสรรพสินค้า.....	111
ค.17 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 8 (EW+CC+PDHC) และภายในไซนของห้างสรรพสินค้า.....	112
ค.18 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 9 (CC+ADESW) และ ภายในไซนของห้างสรรพสินค้า.....	112

ภาพที่	หน้า
ค.19 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 (CC) และภายในโซน ของโรงแรม.....	113
ค.20 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 (HxCoil) และภายใน โซนของโรงแรม	113
ค.21 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 3 (EW+CC) และภายใน โซนของโรงแรม	114
ค.22 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 4 (EW+HxCoil) และ ภายในโซนของโรงแรม.....	114
ค.23 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 5 (EW+CC+SW) และ ภายในโซนของโรงแรม.....	115
ค.24 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 6 (CC+PDHC) และ ภายในโซนของโรงแรม.....	115
ค.25 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 7 (EW+PDHC+CC) และภายในโซนโรงแรม.....	116
ค.26 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 8 (EW+CC+PDHC) และภายในโซนโรงแรม.....	116
ค.27 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 9 (CC+ADESW) และ ภายในโซนของโรงแรม.....	117
ค.28 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 (CC) และภายในโซน ของโรงพยาบาล.....	117
ค.29 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 (HxCoil) และภายใน โซนของโรงพยาบาล	118
ค.30 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 6 (CC+PDHC) และ ภายในโซนของโรงพยาบาล.....	118
ค.31 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 9 (CC+ADESW) และ ภายในโซนของโรงพยาบาล.....	119
ง. 1 แผนผังกระแสเงินสดแบบจำลองของอาคารสำนักงานที่มีรูปแบบเครื่องเติม อากาศรูปแบบที่ 1 (CC).....	121

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

aa	สัมประสิทธิ์ในการประมาณค่าเอนทาลปี
A	พื้นที่ผิวของคอยล์ทำความเย็น
A_z	พื้นที่ที่ทำการระบายอากาศ
bb	สัมประสิทธิ์ในการประมาณค่าเอนทาลปี
C_1, C_2	สัมประสิทธิ์ของฟิล์มบนผนังอากาศ
C_p	ความจุความร้อนจำเพาะ
C_{min}	อัตราส่วนการไหลน้อยที่สุด
D	ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง
D_{hdr}	ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกบนผนังอากาศ
F	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของฟิล์ม
F_{ai}	ตัวแปรสำหรับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของครีป
$h_{fg@0^\circ C}$	เอนทาลปีของน้ำที่ $0^\circ C$
H	เอนทาลปี
$HX_{flowratio}$	อัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ
I	ภายใน (ผนังน้ำ)
K_1	ตัวแปรในการแก้สมการ
K	ค่าการนำความร้อน
$LMHD$	ความแตกต่างลอกมีน ของเอนทาลปี
$LMTD$	ความแตกต่างลอกมีน ของอุณหภูมิ
m	อัตราการไหลเชิงมวล
PLR	อัตราส่วนการทำงานของพัดลม
P	กำลังไฟฟ้า
Pr	Prandtl number
P_z	จำนวนคนมากที่สุดในพื้นที่
R	ความต้านทานความร้อนรวม
R_a	อัตราการไหลของอากาศต่อพื้นที่
R_p	อัตราการไหลของอากาศต่อจำนวนคน

Re	Reynolds number
St	Stanton number
T	อุณหภูมิ
UA_{dry}	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมส่วนแห้ง x พื้นที่แห้ง
$U_c A_w$	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมส่วนเปียก x พื้นที่เปียก
u_b, u_e	ตัวแปรในการคำนวณประสิทธิภาพของครีป
V	ความเร็วเฉลี่ย
\dot{V}	อัตราการไหลเชิงปริมาตร
V_{bz}	อัตราการระบายอากาศ
\dot{Q}	อัตราถ่ายเทความร้อน
w	อัตราส่วนความชื้น
Z	ตัวแปรในการการสมการ

ตัวอักษรกรีก

Δ	ระยะห่าง
δ	ความหนา
ε	ประสิทธิผลในการดำเนินงาน
η	ประสิทธิภาพ
μ	ความหนืด
ρ	อัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลาง, ความหนาแน่น
ω	อัตราส่วนความชื้นของอากาศ

ตัวอักษรห้อย

a	อากาศ, ฝั่งที่อากาศผ่าน
dry	ส่วนแห้ง
$Exh, ExhAir, exhaust$	อากาศที่ระบายออก
$ExhAirIn$	อากาศที่ระบายออกขาเข้า
$ExhAirOut$	อากาศที่ระบายออกขาออก
i	ขาเข้า
$latent$	ความร้อนแฝง

<i>max</i>	ค่าที่มากที่สุด
<i>mf</i>	พลาวัลลิ่งของโลหะ
<i>min</i>	ค่าที่น้อยที่สุด
<i>o</i>	ขาออก
<i>operating</i>	การดำเนินงาน
<i>pri</i>	กระแสแรก
<i>s</i>	พื้นผิวภายนอกของโลหะ
<i>sec</i>	กระแสที่สอง
<i>sensible</i>	ความร้อนสัมผัส
<i>Std</i>	อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน
<i>Sup, SupAir</i>	อากาศที่ป้อน
<i>SupAirIn</i>	อากาศที่ป้อนขาเข้า
<i>SupAirOut</i>	อากาศที่ป้อนขาออก
<i>tube</i>	ท่อน้ำ
<i>Total</i>	ผลรวมทั้งหมด
<i>w</i>	น้ำ, ฝั้่งน้ำ, ฝั้่งเปียก

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

การปรับอากาศสำหรับอาคารในปัจจุบัน มีการใช้ระบบปรับอากาศที่มีเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระเพื่อเข้ามาจัดการการระบายอากาศให้เป็นไปตามมาตรฐาน นอกจากนี้ยังมีหน้าที่อื่นๆ อีกด้วย อาทิเช่น การอัดความดันในอาคารและการจัดการกับความร้อนแฝงที่เกิดขึ้นภายในอาคาร เป็นต้น ปัจจุบันมีการนำเอาเครื่องเติมอากาศภายนอกมาใช้ในอาคารประเภทต่างๆ ในกรุงเทพมหานครมากขึ้น เช่น อาคารสำนักงาน ห้างสรรพสินค้า โรงแรม โรงพยาบาล เป็นต้น อาคารเหล่านี้ต้องการปริมาณอากาศภายนอกเพื่อการระบายอากาศเป็นปริมาณสูง ส่งผลให้เครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระมีภาระการทำงานที่สูงซึ่งทำให้เปลืองค่าใช้จ่ายในการใช้งานมาก นอกจากนี้เครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระยังมีองค์ประกอบภายในที่หลากหลายอีกด้วย

เครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระโดยทั่วไปอาจมีองค์ประกอบที่อาจจะไม่จำเป็นสำหรับอากาศในประเทศไทย เช่น เครื่องละลายน้ำแข็ง คอยล์ร้อน เป็นต้น องค์ประกอบที่ไม่จำเป็นเหล่านี้จะทำให้ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นสูงเกินความจำเป็น การศึกษาเครื่องเติมอากาศอิสระสำหรับกรุงเทพมหานครจะทำการวิเคราะห์การใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศอิสระในรูปแบบต่างๆ สำหรับอาคารขนาดใหญ่ประเภทต่างๆ เพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายตลอดการใช้งานที่ต่ำที่สุด รวมถึงการพิจารณาปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเพื่อให้เกิดการออกแบบเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระที่เหมาะสมสำหรับกรุงเทพมหานคร

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาแนวทางการออกแบบเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระที่มีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานร่วมกับระบบปรับอากาศในอาคารขนาดใหญ่ที่ตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานคร

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระที่ออกแบบนี้จะเหมาะสมกับสภาพอากาศในกรุงเทพมหานครหรือในประเทศไทย ซึ่งสามารถมีทางเลือกสำหรับการใช้การนำพลังงานที่เหลือของอาคารมาใช้ให้เกิดประโยชน์ อันจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานปรับอากาศประเภทอื่นๆ ได้ นอกจากนี้สามารถนำการใช้ Energy Simulation Program ช่วยในการวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพขึ้น

1.4 ขั้นตอนในการทำงานวิจัย

1.4.1 วิเคราะห์สภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร

ทำการศึกษาสภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานครเพื่อวิเคราะห์กระบวนการจัดการอากาศที่สามารถเกิดขึ้นได้

1.4.2 ศึกษาระบบปรับอากาศที่มีการใช้เครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระ

ทำการศึกษาพื้นฐานระบบปรับอากาศที่มีเครื่องเติมอากาศอิสระ การใช้งานรูปแบบต่างๆ ข้อกำหนดและความต้องการสำหรับเครื่องเติมอากาศอิสระ รวมถึงเครื่องเติมอากาศอิสระที่มีการออกแบบไว้แล้ว

1.4.3 ศึกษาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อการประหยัดพลังงาน

ทำการศึกษาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดต่างๆ เพื่อช่วยในการประหยัดพลังงานของเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระ ศึกษารูปแบบการใช้งาน ข้อจำกัด ข้อดีข้อเสียของแต่ละชนิด เพื่อทำการเลือกใช้กับเครื่องเติมอากาศอิสระได้อย่างเหมาะสม

1.4.4 กำหนดเกณฑ์ในการออกแบบ

ทำการกำหนดเกณฑ์เพื่อพิจารณาว่าเครื่องเติมอากาศรูปแบบใดเหมาะสมสำหรับการใช้งานในกรุงเทพมหานครมากที่สุด

1.4.5 ออกแบบเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระในรูปแบบต่าง ๆ

ทำการออกแบบเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระที่มีองค์ประกอบในรูปแบบต่างๆ แล้วนำไปวิเคราะห์กับการใช้งานระบบปรับอากาศของอาคารขนาดใหญ่ 4 ประเภทที่จำลองขึ้นในกรุงเทพมหานครผ่าน Energy Simulation Program เพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานของเครื่อง แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณ ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน

1.4.6 วิเคราะห์ผลการจำลองระบบและเกณฑ์ในการออกแบบ

1.4.7 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.4.8 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระจากแหล่งข้อมูลทางวิชาการต่างๆ พบว่ามีงานวิจัยอยู่จำนวนมาก โดยในที่นี้ได้ทำการเลือกงานวิจัยที่มุ่งเน้นในการออกแบบขององค์ประกอบและการวิเคราะห์การใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระ ซึ่งเรียงลำดับตามความสำคัญได้ดังนี้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Stanley A. Mumma, Ph.D., P.E. (2001) ได้ทำการศึกษาการใช้ระบบปรับอากาศที่มีเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระ (DOAS) ร่วมกับอุปกรณ์ปรับอากาศในแต่ละพื้นที่ในรูปแบบขนาน โดยได้เปรียบเทียบระบบปรับอากาศทั่วไปและระบบปรับอากาศที่มีการใช้เครื่องเติมอากาศภายนอกแบบอิสระ โดยสามารถสรุปได้ว่า

- การแยกระบบจัดการอากาศภายนอกออกจากการทำความเย็นในแต่ละพื้นที่ จะมั่นใจได้ว่าระบบมีการระบายอากาศที่เหมาะสมได้
- การปรับอากาศภายนอกผ่านเครื่องเติมอากาศภายนอก จะจัดการภาระความร้อนแฝงในอาคารและความร้อนสัมผัสบางส่วนจะมีความคุ้มค่าทางด้านการเงิน โดยไม่มีการให้ความร้อนซ้ำมากเกินไป
- จัดการประสิทธิภาพทางราคาของระบบได้สูงสุดด้วยการใช้อุปกรณ์นำพลังงานกลับมาใช้ใหม่
- การจัดการความร้อนสัมผัสด้วยการแผ่ความร้อนจากเพดาน (Radiant ceiling) จะสามารถให้ความสบายเชิงความร้อนแก่ผู้ที่อยู่ในพื้นที่ได้

Stanley A. Mumma, Ph.D., P.E. และ Kurt M. Shank (2001) ได้ศึกษาการจัดการอากาศภายนอกที่เติมเข้าสู่อาคารด้วยอุปกรณ์ชนิดต่างๆ โดยทำการวิเคราะห์การใช้พลังงานของแต่ละอุปกรณ์ตลอดการทำงาน 1 ปี สภาวะที่นำมาวิเคราะห์คือปริมาณอากาศภายนอกที่เติมเข้าสู่ระบบ 10,000 cfm (4.7 m³/s) มีสภาวะของอากาศที่ออกจากเครื่องสุดท้ายที่ 55°F (12.78°C) DBT และ 45°F (7.22°C) DPT ซึ่งมีการนำข้อมูลอากาศภายนอก 1 ปีของเมือง Atlanta มาแบ่งเป็นพื้นที่ต่างๆ บนแผนภูมิไซโครเมตริกตามกระบวนการจัดการอากาศของแต่ละอุปกรณ์ องค์ประกอบของเครื่องจัดการอากาศภายนอกที่นำมาวิเคราะห์มีอยู่ 6 รูปแบบคือ

1. Conventional cooling, heating and humidification
2. Conventional cooling, heating, humidification arrangement with run around heat recovery
3. Total energy wheel heat recovery with conventional cooling and reheat
4. Total energy wheel heat recovery and run around coil with conventional cooling and reheat
5. DOAS: Total energy wheel heat recovery , conventional cooling and sensible wheel
6. Conventional all-air VAV system

ซึ่งจากการวิเคราะห์จะพบว่า การจัดการอากาศภายนอกด้วยเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระ (DOAS) จะมีการใช้พลังงานโดยรวมต่ำที่สุด

John Murphy (2006) ได้ทำการศึกษาอุณหภูมิของลมจ่ายที่ออกจากเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระ โดยมีสภาวะของลมจ่าย 2 กรณีคือ ให้มีลมจ่ายที่มีความชื้นและอุณหภูมิที่ต่ำกว่าสภาวะการออกแบบภายในของพื้นที่ และลมจ่ายมีอุณหภูมิเดียวกับพื้นที่แต่มีความชื้นต่ำกว่า ซึ่งพบว่าการจ่ายลมที่มีความชื้นและอุณหภูมิต่ำกว่าพื้นที่จะช่วยให้ขนาดเครื่องปรับอากาศในพื้นที่มีขนาดเล็กลง และมีปริมาณลมในระบบน้อยลง ซึ่งในกรณีที่สามารถนำอุปกรณ์นำพลังงานกลับมาใช้ จะสามารถลดค่าใช้จ่ายสำหรับการจัดการอากาศภายนอกได้

Timothy P. McDowell และ Steven J. Emmerich (2005) ได้ทำการศึกษาระบบปรับอากาศที่มีเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระ (DOAS) ที่มีองค์ประกอบภายในต่างกันร่วมกับระบบปรับอากาศที่ใช้ฮีทปั๊ม โดยวิเคราะห์การใช้พลังงานของระบบสำหรับอาคารสำนักงานขนาดสองชั้น ที่ตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศที่ต่างกัน 5 เขตในสหรัฐอเมริกา ซึ่งทำการวิเคราะห์โดยการจำลองระบบด้วยโปรแกรม ซึ่งผลการจำลองระบบพบว่า เครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระที่มีองค์ประกอบด้วย Preheat coil, Cooling Coil และ Enthalpy wheel จะช่วยประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศตลอดปีได้ 14% ถึง 37% และเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระที่มีองค์ประกอบด้วย Preheat coil, Cooling Coil, Enthalpy wheel และ Sensible Wheel จะช่วยประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศตลอดปีได้ 21% ถึง 38%

Weiwei Liua, Zhiwei Liana, Reinhard Radermacherb และ Ye Yao (2007) ได้ทำการศึกษาเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระที่มีและไม่มีการใช้ Rotary desiccant wheel

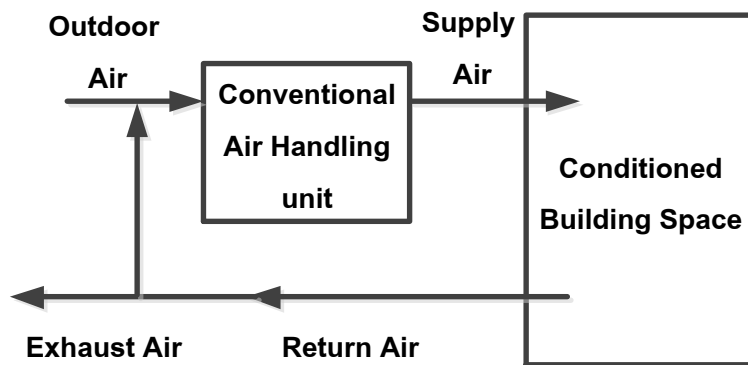
โดยทำการวิเคราะห์การใช้พลังงาน สมรรถนะของเครื่องเมื่อมีปัจจัยต่างๆเปลี่ยนไปผ่านการใช้โปรแกรมจำลอง ซึ่งผลการวิเคราะห์คือเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระที่มีการใช้ Rotary desiccant wheel จะมีความเหมาะสมกว่า โดยเมื่ออัตราการไหลของอากาศที่ถูกนำเข้ามา มีปริมาณสูง พลังงานที่ใช้จะมีค่าสูงขึ้นและค่า COP จะลดต่ำลง ผลของอุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายนอกมีผลกระทบโดยตรงต่อการใช้พลังงานและค่า COP ของเครื่องเติมอากาศภายนอก

Stanley A. Mumma, Ph.D., P.E. และ Kurt M. Shank (2001) ได้ทำการศึกษาหาอุณหภูมิลมจ่ายจากเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระที่ทำงานร่วมกับเครื่องปรับอากาศที่จัดการแต่ความร้อนสัมผัส โดยพบว่าในทางปฏิบัติจะทำการจ่ายลมที่อุณหภูมิใกล้เคียงหรือที่อุณหภูมิห้องและการพัฒนากระบวนการเลือกอุณหภูมิลมจ่ายโดยใช้การจัดการพลังงานและประสิทธิภาพทางราคา ในข้อสมมุติฐานจะวิเคราะห์ขั้นสูงเกี่ยวกับอุณหภูมิระเปาะแห้งของลมจ่าย อุณหภูมิจุดน้ำค้างและการให้ความร้อนกลับที่ปลายทาง ข้อสมมุติฐาน 3 ข้อถูกตั้งขึ้นและทดสอบ พบว่าโดยทั่วไปจะแนะนำว่าอุณหภูมิระเปาะแห้งของลมจ่ายจากเครื่องเติมอากาศภายนอกจะไม่เกิน 55°F (12.78°C) อุณหภูมิ ของจุดน้ำค้างสำหรับการรับภาระความร้อนแฝงในพื้นที่จะต้องรักษาความชื้นสัมพัทธ์ไม่ให้เกิน 40% หรืออุณหภูมิน้ำค้างประมาณ 44°F (6.67°C) และสุดท้ายพบว่าการให้ความร้อนกลับเพื่อป้องกันการทำความเย็นเกินไปนั้นไม่มีความจำเป็นจากอุณหภูมิลมจ่ายที่ $44\text{-}55^{\circ}\text{F}$ ($6.67\text{-}12.78^{\circ}\text{C}$) สำหรับพื้นที่ที่มีภาระความเย็นจากแสงสว่างและอุปกรณ์ที่ $3\text{-}5\text{ W/ft}^2$ ($32\text{-}54\text{W/m}^2$) ข้อสรุปนี้นำไปใช้ พื้นที่ที่มีผู้นอนอยู่ในพื้นที่มากจะมีปริมาณลมที่มาระบายอากาศมากกว่าการกำจัดภาระที่เกิดจากภายในที่ $3\text{-}5\text{ W/ft}^2$ การจ่ายลมที่อุณหภูมิห้องจะทำให้เกิดภาระความร้อนสัมผัสตกไปอยู่ในหน้าที่ของอุปกรณ์ปรับอากาศในแต่ละพื้นที่ ซึ่งทำให้ระบบทำความเย็นนั้นมีขนาดใหญ่ ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นและค่าใช้จ่ายระหว่างดำเนินงานสูง ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์ในการปฏิบัติงานทั่วไป

บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 ระบบปรับอากาศที่มีเครื่องเติมอากาศแยกอิสระ (Dedicated Outdoor Air System: DOAS)

ระบบปรับอากาศของอาคารขนาดใหญ่นั้นต้องการอากาศบริสุทธิ์เข้ามาระบายอากาศเพื่อรักษาคุณภาพของอากาศภายในไว้ในระดับที่ยอมรับได้ ซึ่งในระบบปรับอากาศของอาคารทั่วไปจะรวมอากาศบริสุทธิ์ที่เติมเข้าสู่อาคารไปผสมอากาศที่หมุนเวียนอยู่ภายในก่อนที่จะผ่านเข้าไปที่เครื่องเป่าลมเย็น เพื่อจ่ายอากาศไปตามพื้นที่ที่ต้องการดังแสดงในภาพที่ 3.1

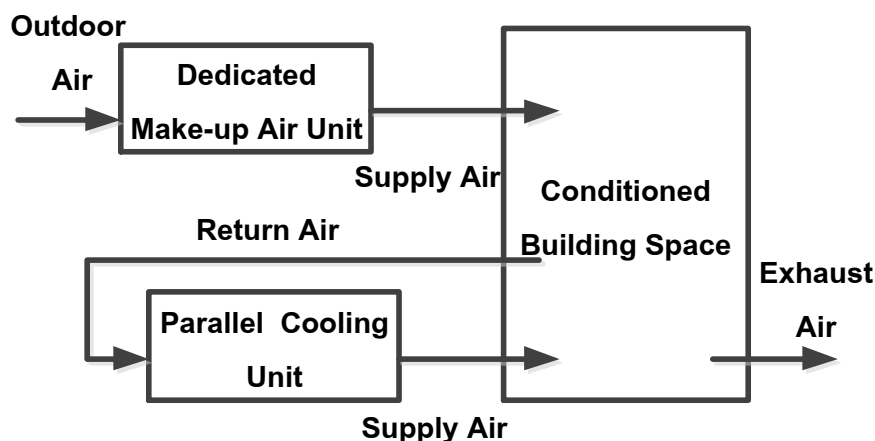


ภาพที่ 3.1 การนำอากาศบริสุทธิ์เข้าสู่อาคารในระบบปรับอากาศทั่วๆไป

ระบบปรับอากาศที่ใช้กันมากในปัจจุบันจะมีการจ่ายลมจากเครื่องเป่าลมเย็นอยู่ 2 วิธี คือ จ่ายลมที่สามารถปรับปริมาตรอากาศได้หรือ VAV (Variable Air Volume) และจ่ายลมด้วยอัตราคงที่หรือ CAV (Constant Air Volume) โดยทั้ง 2 วิธีนี้มีประสิทธิภาพการระบายอากาศที่ไม่ดี ในระบบ VAV นั้นภาระความร้อนและความต้องการการระบายอากาศไม่ได้แปรเปลี่ยนซึ่งกันและกัน ส่งผลให้ระบบนี้ต้องการอัตราการระบายอากาศที่สูงกว่าปกติเพื่อให้คุณภาพของอากาศในอาคารเป็นไปตามมาตรฐาน ส่วนในระบบ CAV นั้นจะพบความยากในการรักษาระดับความชื้นภายในอาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อภาระความร้อนสัมผัสลดลงแต่ภาระความร้อนแฝงยังคงสูงอยู่ ภายใต้เงื่อนไขดังกล่าวระบบจะมีปริมาตรลมจ่ายคงที่แต่จะปรับอุณหภูมิลมจ่ายที่สูงขึ้นกว่าปกติ ซึ่งจะทำให้ความสามารถการลดความชื้นของอากาศลดลงส่งผลให้อาคารมีความชื้นสูงกว่าที่ได้ออกแบบไว้

ระบบปรับอากาศที่มีเครื่องเติมอากาศอิสระ (DOAS) เป็นระบบที่ถูกออกแบบขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายอากาศ โดยระบบจะแยกอุปกรณ์สำหรับปรับอากาศออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือเครื่องเติมอากาศทำหน้าที่เติมอากาศภายนอกเข้าสู่แต่ละพื้นที่ในอาคารรวมถึง

จัดการกับภาระความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงของอากาศภายนอกและความร้อนแฝงที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ด้วย ส่วนที่สองจะทำหน้าที่จัดการกับความร้อนสัมผัสที่เกิดขึ้นภายในแต่ละพื้นที่ ดังที่แสดงในภาพที่ 3.2 ระบบนี้จะสามารถควบคุมความชื้นได้ง่ายขึ้น และมั่นใจได้ว่าปริมาณอากาศภายนอกจะถูกนำเข้าสู่ระบบเป็นไปตามมาตรฐาน



ภาพที่ 3.2 ระบบปรับอากาศที่มีเครื่องเติมอากาศภายนอกอิสระ (DOAS)

3.1.1 การเติมอากาศที่ผ่านการปรับอากาศแล้วเข้าสู่อาคาร

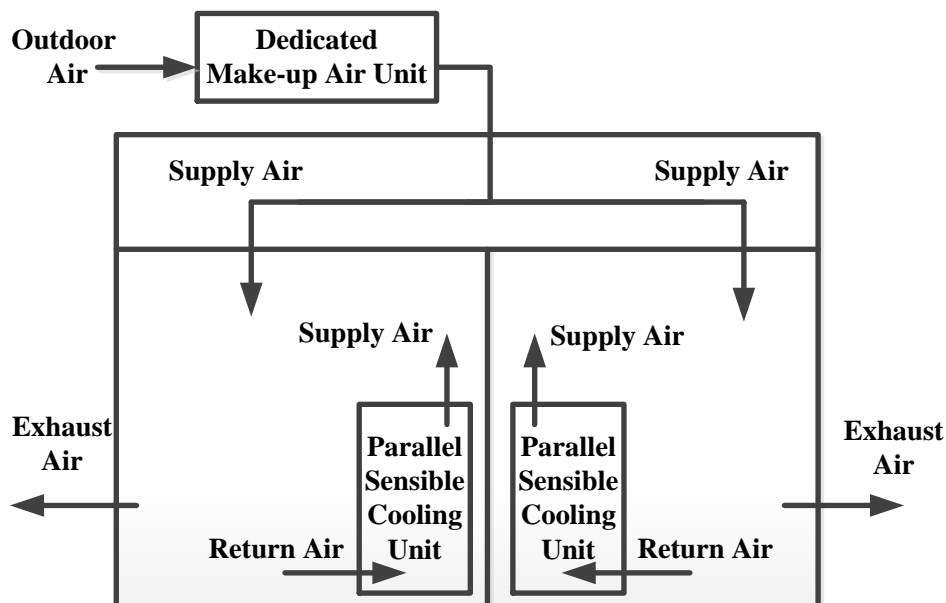
ในระบบปรับอากาศที่มีเครื่องเติมอากาศอิสระ (DOAS) สามารถถูกออกแบบให้เติมอากาศที่ผ่านเครื่องเติมอากาศภายนอกแล้วได้สองวิธีคือ การเติมอากาศเข้าสู่พื้นที่โดยตรงและการเติมอากาศไปที่เครื่องปรับอากาศในแต่ละพื้นที่ Morris (2003), Murphy (2006)

3.1.1.1 การเติมอากาศภายนอกเข้าสู่พื้นที่โดยตรง

ระบบ DOAS ในภาพที่ 3.3 จะมีเครื่องเติมอากาศอิสระทำหน้าที่ปรับอากาศภายนอกที่นำมาระบายอากาศส่งผ่านท่อลมและหัวจ่ายเข้าสู่พื้นที่โดยตรง ในขณะที่การปรับอากาศในพื้นที่จะมีอุปกรณ์ที่แยกเฉพาะออกมา เช่น ฮีตปั๊ม, Fan coil, Blower coil หรือเครื่องปรับอากาศชนิดติดตั้งผนัง เป็นต้น

ข้อดี

- มีการแยกระบบระบายอากาศออก ซึ่งทำให้สามารถวัดปริมาณอากาศภายนอกที่เข้าสู่อาคารและมั่นใจว่าจะถูกส่งถึงผู้คนในพื้นที่
- หัวจ่ายลมสำหรับระบายอากาศที่แยกออกมาทำให้ง่ายต่อการวัดปริมาณการไหลของอากาศและการสมดุลระหว่างการติดตั้งระบบ
- การแยกการปรับอากาศภายนอกป้องกันการนำเอาภาระความเย็นที่ได้จากการระบายอากาศไปยังเครื่องปรับอากาศเฉพาะที่



ภาพที่ 3.3 ระบบปรับอากาศแบบ DOAS ที่มีการเติมอากาศเข้าสู่พื้นที่โดยตรง

ข้อเสีย

- มีการเดินท่อลมที่ใช้ระบายอากาศและหัวจ่ายขนานไปกับท่อลมหมุนเวียน ซึ่งอาจเพิ่มค่าใช้จ่ายเริ่มต้น
- การแยกหัวจ่ายระหว่างอากาศภายนอกที่ผ่านการปรับอากาศมาแล้วและลมที่ใช้หมุนเวียนอาจทำให้เกิดการผสมกันได้อย่างเหมาะสม
- การแยกเป็นเส้นขนานระหว่างอากาศที่ใช้ในการระบายอากาศและลมหมุนเวียนจะเพิ่มปริมาณการไหลอากาศโดยรวมของระบบในพื้นที่ ซึ่งอาจจะเพิ่มพลังงานที่ใช้กับพัดลม

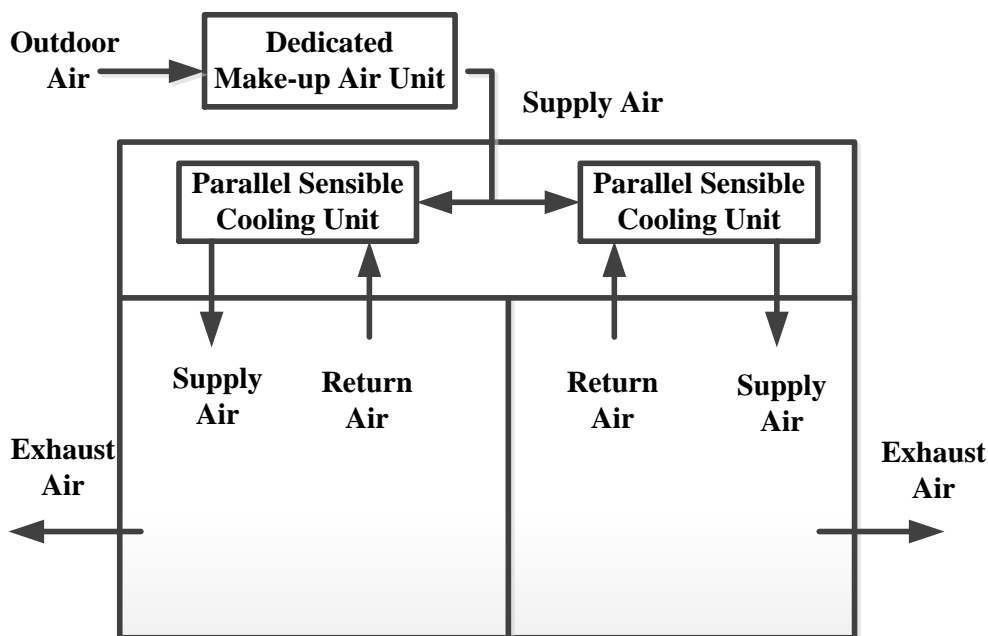
3.1.1.2 การเติมอากาศไปที่เครื่องปรับอากาศในแต่ละพื้นที่

ระบบ DOAS ในภาพที่ 3.4 จะมีเครื่องเติมอากาศอิสระทำหน้าที่ปรับอากาศภายนอกที่นำมาระบายอากาศแล้วส่งผ่านท่อลมผ่านเข้าไปผสมอากาศหมุนเวียนกลับและนำเข้าสู่เครื่องปรับอากาศในแต่ละพื้นที่ เช่น เครื่องเป่าลมเย็น เพื่อจ่ายอากาศที่ผสมแล้วสู่พื้นที่ต่อไป

ข้อดี

- สามารถใช้ท่อลมและหัวจ่ายร่วมกันระหว่างอากาศหมุนเวียนและอากาศที่นำมาระบายอากาศ ช่วยลดค่าใช้จ่ายเริ่มต้นสำหรับการแยกทางจ่ายอากาศทั้งสอง
- การรวมอากาศที่นำมาระบายอากาศและอากาศหมุนเวียนเข้าด้วยกันอาจทำให้ปริมาณลมโดยรวมของระบบลดลง ช่วยลดพลังงานที่ใช้กับพัดลมได้

- การรวมอากาศที่นำมาระบายอากาศและอากาศหมุนเวียนเข้าด้วยกันแล้ว ปล่อยให้หิวจ่ายเดียวกันจะช่วยให้ง่ายต่อการบรรลุความสม่ำเสมอของความสบายเชิงความร้อน (Thermal Comfort) ของผู้คนในพื้นที่



ภาพที่ 3.4 ระบบปรับอากาศแบบ DOAS ที่มีการเติมอากาศเข้าสู่เครื่องปรับอากาศในแต่ละพื้นที่

ข้อเสีย

- เครื่องปรับอากาศเฉพาะที่ต้องทำงานตลอดเมื่อมีความต้องการการระบายอากาศ การควบคุมระบบของเครื่องเติมอากาศอิสระและเครื่องปรับอากาศเฉพาะที่ต้องร่วมกัน เพื่อให้ได้การลดความชื้นที่เหมาะสมระหว่างช่วงเวลาที่ไม่มีคนในพื้นที่และก่อนที่จะมีคนในพื้นที่
- ถ้าอากาศภายนอกที่ผ่านการปรับอากาศมาแล้ว ถูกนำเข้าสู่เครื่องปรับอากาศเฉพาะที่ในแต่ละจุดที่อยู่ห่างกัน อาจจะต้องเพิ่มปริมาณอากาศภายนอก เพื่อให้มีการระบายอากาศที่เพียงพอในแต่ละพื้นที่
- การสมดุลการไหลของอากาศที่นำมาระบายอากาศอาจจะยากกว่าเพราะอุปกรณ์ทั้งหมดจะอยู่ใต้เพดานมากกว่าอยู่ในพื้นที่

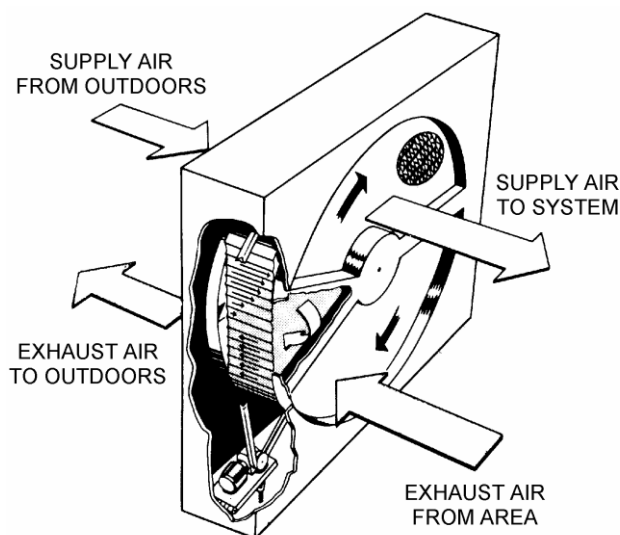
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในเครื่องเติมอากาศร่วมกับคอยล์เย็น

ในเครื่องเติมอากาศทั่วไปที่ใช้ในประเทศไทยจะมีองค์ประกอบหลักคือคอยล์เย็น เพื่อพัฒนาเครื่องเติมอากาศให้สามารถประหยัดพลังงานและมีประสิทธิภาพมากขึ้น จึงมีการนำอุปกรณ์ต่างๆมาประกอบเพิ่มในเครื่องเติมอากาศดังต่อไปนี้ (ASHRAE 2000)

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อประหยัดพลังงาน

3.2.1.1 เครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน (Rotary Air-to-Air Energy Exchanger)

เครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน (Rotary Air-to-Air Energy Exchanger) หรือ Rotary Enthalpy Wheel เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานที่มีท่อทรงกระบอกหมุนได้ ถูกบรรจุด้วยตัวกลางที่สามารถถ่ายเทอากาศได้ และมีพื้นที่ผิวภายในขนาดใหญ่ เครื่องแลกเปลี่ยนจะถูกแบ่งครึ่งเพื่อรับอากาศที่ใช้แลกเปลี่ยนพลังงานและอากาศที่ถูกปล่อยทิ้งออกมาโดยทิศทางไหลของกระแสอากาศเป็นแบบไหลสวนทางกันดังแสดงในภาพที่ 3.5 ตัวกลางของเครื่องแลกเปลี่ยนสามารถเลือกให้ถ่ายเทได้เพียงความร้อนสัมผัส หรืออาจเลือกให้ถ่ายเทความร้อนทั้งหมดได้ (ความร้อนสัมผัสรวมกับความร้อนแฝง)



ภาพที่ 3.5 เครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานอากาศแบบหมุน (Rotary Air-to-Air Energy Exchanger)

ความร้อนสัมผัสถ่ายเทไปเก็บไว้ในตัวกลางของเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงาน ซึ่งจะเก็บความร้อนจะกระแสน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจากนั้นจะปล่อยไปสู่กระแสน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ส่วนความร้อนแฝงที่มีการถ่ายเทผ่านตัวกลางมีสองรูปแบบคือ ความร้อนแฝงจากการควบแน่นน้ำที่อยู่ในกระแสน้ำโดยมีสัดส่วนความชื้นสูง (อาจเกิดเนื่องจากอุณหภูมิ

ของตัวกลางในเครื่องแลกเปลี่ยนมีค่าต่ำกว่าจุดน้ำค้าง) ซึ่งปลดปล่อยความร้อนออกมา ความร้อนแฝงอีกรูปแบบหนึ่งได้แก่ ความร้อนแฝงจากการกลายเป็นไอของไอน้ำเข้าสู่กระแสนอากาศ โดยมีสัดส่วนความชื้นต่ำ ดังนั้นอากาศผสมจะถูกทำให้แห้งขึ้นในขณะที่อากาศแห้งจะถูกทำให้มีความชื้นสูงขึ้น ในการถ่ายเทความร้อนทั้งหมด ทั้งความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงจะถ่ายเทอย่างทันทีทันใด เนื่องจากเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนจะให้กระแสนอากาศไหลสวนทางกัน และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อย ทำให้เครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบนี้ใช้พื้นที่ในการทำงานน้อยและมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทสูง

3.2.1.1.1 โครงสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน

ปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการเลือกวัสดุในการทำเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน (Rotary Air-to-Air Energy Exchanger) ทั้งส่วนของโครงสร้างภายนอกของเครื่องมือ โครงสร้างส่วนที่มีการหมุน และตัวกลางในการแลกเปลี่ยนพลังงาน ได้แก่ ความปนเปื้อนของอากาศ จุดน้ำค้าง อุณหภูมิของอากาศที่ถูกปล่อยทิ้งเข้าสู่เครื่องมือ และคุณสมบัติของอากาศที่ใช้แลกเปลี่ยนพลังงาน อะลูมิเนียม เหล็ก และโพลีเมอร์เป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมผลิตเป็นโครงสร้างหลัก โครงสร้างภายนอก และส่วนที่มีการหมุนในระบบที่มีการถ่ายเททั่วไป ส่วนตัวกลางที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนพลังงานนิยมใช้โลหะ แร่ธาตุ หรือวัสดุสังเคราะห์ที่สามารถใช้งานในการไหลแบบสุ่มและการไหลแบบมีทิศทางแน่นอนได้ดี

ตัวกลางที่ใช้ในการไหลแบบสุ่ม

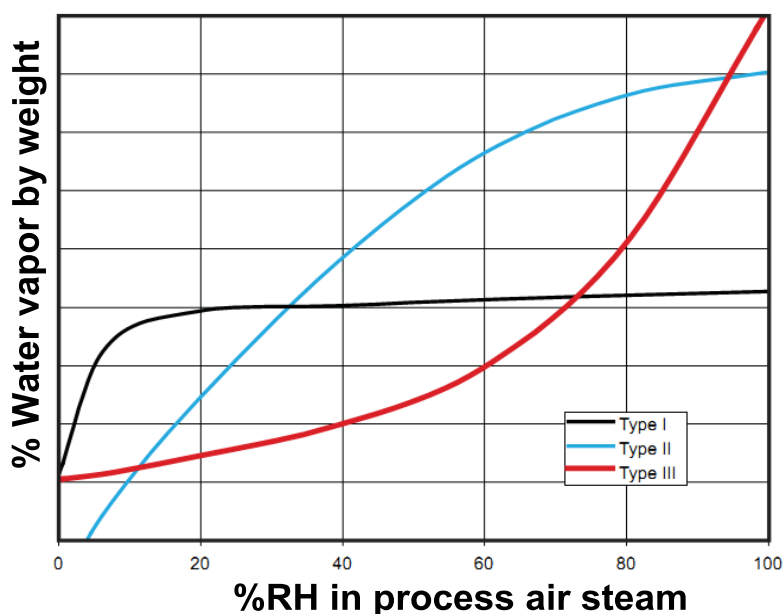
ตัวกลางในการไหลแบบสุ่มผลิตโดยใช้ลวดถักไปกับผ้าขนสัตว์หรือถักไปบนตะแกรงเพื่อให้ได้ชั้นของตัวกลางที่มีรูปแบบตามต้องการ ตะแกรงอะลูมิเนียมจะถูกถักออกมาเป็นรูปคล้ายพาย ซึ่งนิยมใช้ในระบบการระบายอากาศเพื่อความสะอาดสบาย ส่วนตะแกรงสแตนเลสตีลจะถูกใช้ในระบบที่มีอุณหภูมิสูงและมีการกัดกร่อนเกิดขึ้นขณะใช้งาน ตัวกลางที่กล่าวถึงข้างต้นเหมาะสมที่จะนำไปใช้กับอากาศมีสะอาดและผ่านการกรองมาก่อน ตัวกลางที่ใช้ในการไหลแบบสุ่มต้องมีพื้นที่ผิวมากกว่าตัวกลางที่ใช้ในการไหลแบบมีทิศทางแน่นอนเพื่อให้ได้ปริมาณอากาศและความดันลดที่ต้องการ

ตัวกลางที่ใช้ในการไหลแบบมีทิศทางแน่นอน

ตัวกลางในการไหลแบบนี้มีรูปแบบการจัดเรียงมากมายหลายรูปแบบ แต่แบบที่ใช้กันโดยทั่วไปจะประกอบด้วยช่องให้อากาศผ่านขนาดเล็ก (1.5 ถึง 2.0 มิลลิเมตร) โดยจะวางขนานกับทิศทางการไหลของอากาศ ประสิทธิภาพของช่องให้อากาศผ่านจะมีค่าใกล้เคียงกันไม่ว่ารูปแบบของช่องจะเป็นอย่างไร (เช่น รูปสามเหลี่ยม รูปแปดเหลี่ยม) แผ่น

พอลิอะลูมิเนียม กระจก พลาสติก และวัสดุสังเคราะห์มักถูกนำมาใช้เป็นตัวกลางในระบบที่อุณหภูมิไม่สูง ส่วนสแตนเลสสตีลและเซรามิกจะนำมาใช้ในระบบที่มีอุณหภูมิสูงและมีการกัดกร่อนระหว่างการใช้งาน

พื้นที่ผิวของตัวกลางที่สัมผัสกับกระแสอากาศจะมีค่าระหว่าง 300 ถึงมากกว่า $3300 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ขึ้นกับชนิดของตัวกลางและการจัดเรียงทางกายภาพ ตัวกลางสามารถแบ่งได้ตามความสามารถในการถ่ายเทความร้อนสัมผัสอย่างเดี่ยวหรือสามารถถ่ายเทพลังงานได้ทั้งหมด ตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนสัมผัสอย่างเดี่ยวมักทำด้วยอะลูมิเนียม ทองแดง และสแตนเลสสตีล ส่วนตัวกลางในการถ่ายเทพลังงานทั้งหมดจะทำด้วยวัสดุหลายชนิดร่วมกับสารที่ทำให้แห้งสนิท (desiccant) เช่น ซีโอไลต์ โพลีเมอร์สังเคราะห์ ซิลิกาเจล หรืออะลูมิเนียมออกไซด์ ซึ่งจะทำให้ตัวกลางชนิดนี้มีคุณสมบัติในการถ่ายเทน้ำในอากาศในปริมาณที่เจาะจงดังแสดงในภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน 3 แบบ คือ แบบที่ 1 (Type 1: Silica gel) แบบที่ 2 (Type 2: Molecular sieve), แบบที่ 3 (Type 3: Alumina)

3.2.1.1.2 การปนเปื้อนระหว่างกระแสอากาศ (Cross-contaminant)

การปนเปื้อนระหว่างกระแสอากาศ (Cross-contaminant) หรือการผสมกันระหว่างอากาศที่ใช้แลกเปลี่ยนพลังงานและอากาศที่ถูกปล่อยทิ้งออกมา เป็นปรากฏการณ์ที่

เกิดขึ้นในเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานที่มีการหมุนทุกรูปแบบ โดยเกิดขึ้นเนื่องจากกลไกสองส่วน คือ การปนเปื้อนผ่านตัวกลางที่ใช้แลกเปลี่ยน (Carryover) และการรั่วไหล

การปนเปื้อนผ่านตัวกลางที่ใช้แลกเปลี่ยน (Carryover) เกิดขึ้นเมื่ออากาศที่ติดอยู่ในตัวกลางที่มีการหมุนถูกพาไปผสมกับกระแสอากาศอีกฝั่งของตัวกลาง ส่วนการรั่วไหลเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของความดันระหว่างกระแสอากาศสองสาย ทำให้อากาศฝั่งที่มีความดันสูงรั่วไหลไปสู่กระแสอากาศที่มีความดันต่ำกว่า การปนเปื้อนระหว่างกระแสอากาศสามารถลดลงได้เมื่อติดตั้งเครื่องเป่าลมเพื่อเพิ่มความดันในกับอากาศที่ถูกปล่อยทิ้ง ส่วนการลดการปนเปื้อนผ่านตัวกลางที่ใช้แลกเปลี่ยนที่เกิดเมื่ออากาศที่ถูกปล่อยทิ้งไปปนเปื้อนในอากาศที่นำมาแลกเปลี่ยนจะทำได้โดยการติดตั้งส่วนปล่อยออกบรรยากาศ (Purge section) ซึ่งหากติดตั้งส่วนนี้เพิ่มเข้าไຈจะลดการปนเปื้อนระหว่างกระแสอากาศให้เหลือเพียง 0.1 เปอร์เซ็นต์ (ASHRAE 1974)

ปริมาณการปนเปื้อนผ่านตัวกลางโดยไม่มีการติดตั้งส่วนปล่อยออกบรรยากาศจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วในการหมุนของเครื่องมือและอัตราส่วนรูปทรงของตัวกลาง ส่วนเครื่องเป่าลมที่ติดตั้งเพื่อเพิ่มความดันให้กับอากาศที่ถูกปล่อยทิ้งจะถูกติดตั้งอยู่ที่ทางออกของเครื่องแลกเปลี่ยน การกำหนดขนาดของเครื่องเป่าลมต้องคำนึงถึงปริมาณการรั่วไหล การปล่อยออกสู่บรรยากาศ และการปนเปื้อนผ่านตัวกลางของกระแสอากาศ

3.2.1.1.3 การควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน

การควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานอากาศแบบหมุนสามารถทำได้สองวิธี วิธีการแรกคือการควบคุมอากาศที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนพลังงาน โดยปริมาณของอากาศที่ใช้แลกเปลี่ยนพลังงานที่เข้าสู่ส่วนหมุนจะถูกวัดอุณหภูมิขาออก โดยจะติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิเอาไว้ที่ส่วนหมุน ปริมาณอากาศนี้จะถูกปรับเปลี่ยนเพื่อให้ได้อุณหภูมิของอากาศที่ใช้แลกเปลี่ยนตามต้องการวิธีการที่สองที่ใช้ควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานอากาศแบบหมุนคือการปรับความเร็วในการหมุนของส่วนหมุน ซึ่งหากส่วนหมุนมีความเร็วในการหมุนมากก็จะสามารถถ่ายเทพลังงานได้มากขึ้น

3.2.1.1.4 การบำรุงรักษาเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุน

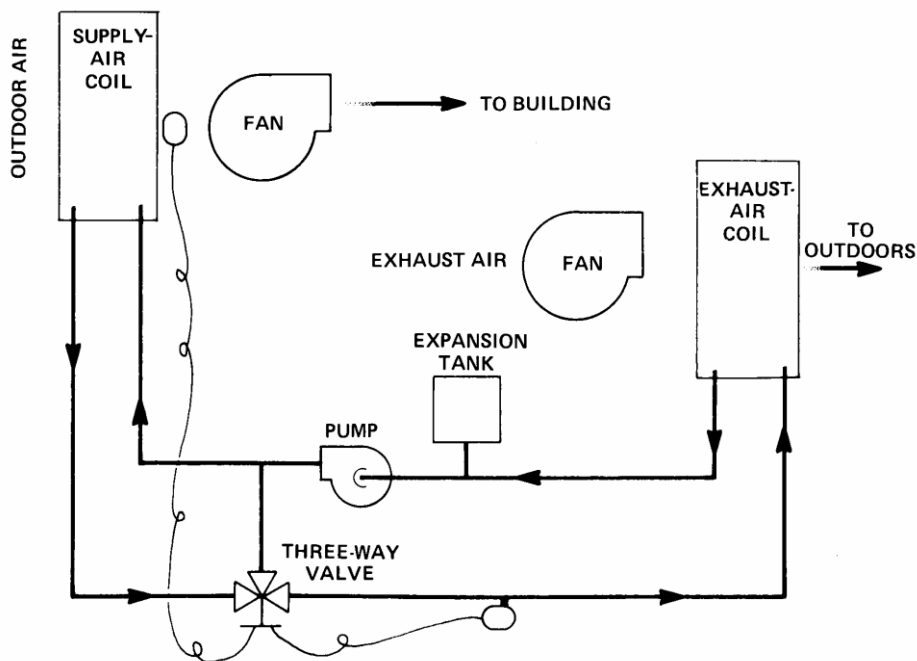
การบำรุงรักษาเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานแบบหมุนสามารถทำได้ ดังนี้

- ทำความสะอาดตัวกลางที่ใช้แลกเปลี่ยนพลังงานเมื่อเกิดคราบ ผุพัง หรือมีวัสดุแปลกปลอมไปติด โดยวิธีทำความสะอาดให้ทำตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต

- การบำรุงรักษามอเตอร์ต้องทำตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตอย่างเคร่งครัด มอเตอร์ที่ถูกควบคุมความเร็วจำเป็นต้องมีการตรวจสอบและบำรุงรักษาบ่อยครั้งกว่ามอเตอร์แบบอื่น แปรปรองและกลไกในการสับเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าจะต้องตรวจสอบโดยการเปิดปิดเป็นระยะและการทดสอบตัดกระแสไฟฟ้า
- ต้องตรวจสอบล้อการหมุนอย่างสม่ำเสมอเพื่อดูว่าสายพานและโซ่รับแรงยังสามารถใช้งานได้ดีอยู่
- ต้องมีการสำรวจและการเปลี่ยนชิ้นส่วนในเครื่องแลกเปลี่ยนพลังงานตามระยะเวลาที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ

3.2.1.2 รั้นอะรราวด์คอยล์ (Coil Energy Recovery (Runaround) Loops)

รั้นอะรราวด์คอยล์หรือ Coil Energy Recovery Loops แสดงดังภาพที่ 3.7 ประกอบด้วยคอยล์น้ำที่มีครีป โดยจะวางอยู่ระหว่างเส้นทางของลมจ่ายและลมที่ทิ้งออกจากอาคาร คอยล์เชื่อมต่ออยู่ในลูปปิดที่มีท่อสำหรับการไหลสวนทางบรรจด้วยของไหลที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน (โดยทั่วไปคือน้ำและสารละลายกันแข็งตัว) ซึ่งท่อนี้จะเชื่อมต่อเข้ากับปั๊ม



ภาพที่ 3.7 รั้นอะรราวด์คอยล์ (Coil Energy Recovery Loop)

3.2.1.2.1 การป้องกันการแข็งตัวของน้ำ

น้ำที่อยู่ในอากาศจะต้องมีแข็งตัวในช่องของอากาศที่ถูกทิ้งจากอาคาร จึงมีการติดตั้งวาล์วควบคุมอุณหภูมิแบบสามทางเอาไว้เพื่อป้องกันอากาศที่ถูกทิ้งจากอาคารไม่ให้เกิดการแข็งตัว วาล์วควบคุมอุณหภูมิจะทำหน้าที่ควบคุมและรักษาอุณหภูมิของสารละลาย

ขาเข้าคอยล์ที่รับอากาศที่ถูกทิ้งจากอาคารให้อยู่ที่ -1 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่านี้ สภาวะอุณหภูมินี้จะถูกรักษาให้คงที่โดยการผ่านสารละลายที่อุ่นกว่าบางส่วนมาหล่อรอบๆ คอยล์ที่รับอากาศที่ถูกทิ้งจากอาคาร นอกจากนี้แล้วยังทำให้แน่ใจได้ว่าอุณหภูมิของคอยล์ที่รับอากาศที่ถูกทิ้งจากอาคารจะมีค่าไม่สูงเกินไป

3.2.1.2.2 คุณลักษณะของระบบ

รั้นอะราวต์คอยล์มีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง และมีความเหมาะสมในการใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม ระบบสามารถถ่ายเทพลังงานได้ทันทีทันใด ถึงสำหรับการขยายตัว (Expansion tank) มีความจำเป็นในระบบนี้ เพื่อให้ของไหลสามารถขยายและหดตัวได้ หากเลือกใช้ถังสำหรับการขยายตัวแบบปิด (Closed expansion tank) ในระบบที่ใช้เอทิลีนไกลคอล จะทำให้การเกิดออกซิเดชันน้อยที่สุด

การใช้งานระบบรั้นอะราวต์คอยล์ในอาคารที่มีภาระหลายแบบเพื่อให้เกิดผลประโยชน์ในการใช้งานสูงสุดจะต้องใช้ระบบนี้ร่วมกับการสร้างแบบจำลองพลังงานในตัวอาคาร ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพที่ได้มาจากบริษัทผู้ผลิตเป็นข้อมูลที่สำคัญที่ใช้ในการเลือกคอยล์ ความเร็วอากาศในระบบ และค่าความดันลด แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลในการออกแบบที่บริษัทผู้ผลิตจัดหาให้จะมีความเหมาะสมกับอุณหภูมิและสภาวะดำเนินงานที่ระบุจากบริษัท

3.2.1.2.3 ประสิทธิภาพในการทำงานของรั้นอะราวต์คอยล์

รั้นอะราวต์คอยล์ไม่สามารถถ่ายเทน้ำที่อยู่ในอากาศไปสู่กระแสอากาศอื่นได้ แต่อย่างไรก็ตามการระเหยเป็นไอทางอ้อมสามารถลดอุณหภูมิของอากาศที่ถูกทิ้งจากอาคารได้ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยลดภาระในการทำความเย็น สำหรับการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพทางราคาสูงสุด ที่มีอัตราการไหลของอากาศทั้งสองสายเท่ากับ และไม่มีการควบแน่น ค่าประสิทธิภาพจะอยู่ในช่วง 45 ถึง 65 เปอร์เซ็นต์ แต่ระบบที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดไม่จำเป็นต้องประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากที่สุด โดยทั่วไปแล้ว ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนสัมผัสในรั้นอะราวต์คอยล์จะมีค่าไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศภายนอก แต่หากมีการควบคุมขนาดในการทำความเย็นจะทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนสัมผัสมีค่าลดลง

3.2.1.2.4 วัสดุสำหรับทำโครงสร้างของรั้นอะราวต์คอยล์

การเลือกวัสดุที่ใช้เป็นโครงสร้างของรั้นอะราวต์คอยล์จะต้องเลือกคอยล์ที่เหมาะสมกับสิ่งแวดล้อมและสภาวะการดำเนินงานของเครื่องมือ ปัจจัยที่สำคัญในการเลือกคอยล์ คือพิจารณาอุณหภูมิการดำเนินงาน ความดันลด การกัดกร่อน และคุณสมบัติของอากาศ

ที่มาแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างกัน หากต้องใช้งานรั้นอะราวต์คอยล์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส จะต้องเลือกคอยล์ที่เชื่อมต่อกับครีบบอย่างถาวร นอกจากนี้ผลกระทบจากการควบแน่นก๊าซและปัจจัยด้านลบอื่น ๆ ยังมีความสำคัญในการเลือกโครงสร้างและการเคลือบคอยล์ให้เหมาะสมกับการใช้งาน

3.2.1.2.5 การปนเปื้อนระหว่างกระแสนอากาศ (Cross-contaminant)

เนื่องจากการแบ่งแยกกระแสนอากาศทั้งสองส่วนออกจากกันอย่างสมบูรณ์จะกำจัดปัญหาการปนเปื้อนระหว่างกระแสนอากาศระหว่างอากาศที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนและอากาศที่ถูกปล่อยทิ้งจากตัวอาคารได้ทั้งหมด

3.2.1.2.6 การบำรุงรักษารั้นอะราวต์คอยล์

รั้นอะราวต์คอยล์ต้องการการบำรุงรักษาเพียงเล็กน้อยเท่านั้น รั้นอะราวต์คอยล์มีส่วนที่เคลื่อนที่คือปั๊มและวาล์วควบคุมแบบสามทางเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามในการดำเนินงานที่สภาวะที่เหมาะสม อากาศจะต้องผ่านการกรองมาก่อน พื้นผิวของคอยล์จะต้องสะอาดอยู่ตลอด ต้องมีการซ่อมบำรุงปั๊มและวาล์วอยู่เสมอ อีกทั้งของไหลที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนต้องมีการเติมหรือเปลี่ยนใหม่อย่างสม่ำเสมอตามช่วงเวลาของบริษัทผู้ผลิตแนะนำ

3.2.1.2.7 ของไหลที่ใช้ถ่ายเทอุณหภูมิ (Thermal Transfer Fluids)

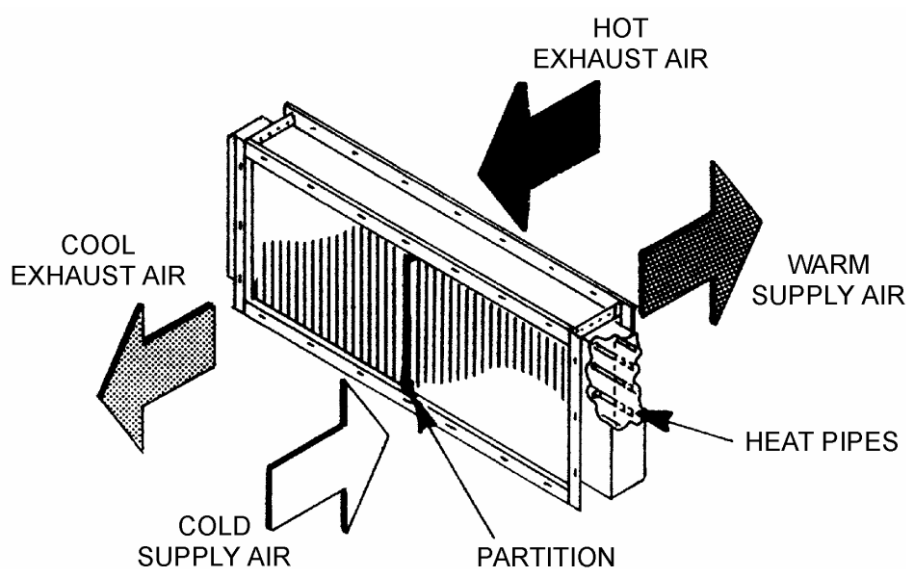
ของไหลที่ใช้ถ่ายเทอุณหภูมิที่ถูกเลือกสำหรับระบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบปิดจะขึ้นอยู่กับนำไปใช้งานและขึ้นอยู่กับอุณหภูมิระหว่างกระแสนอากาศทั้งสองสาย โดยทั่วไปแล้วเอทิลีนไกลคอลจะถูกนำมาใช้เป็นสารป้องกันการแข็งตัวของน้ำที่อยู่ในสารละลาย โดยบริษัทผู้ผลิตคอยล์มักจะแนะนำชนิดของสารละลายที่เหมาะสมกับการใช้งานมาด้วย

3.2.1.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์ (Heat Pipe Heat Exchangers)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์ หรือ Heat Pipe Heat Exchangers เป็นเครื่องมือที่ดึงความร้อนกลับมาใช้งานได้ปริมาณมาก ๆ โครงสร้างภายนอกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์มีลักษณะเหมือนกับแผ่นครีบน้ำหรือคอยล์ไอน้ำ แต่ต่างกันตรงที่ท่อที่อยู่ภายในไม่ได้มีการเชื่อมต่อกันและท่อที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนถูกแบ่งโดยใช้แผ่นกัน แยกเป็นส่วนของการระเหยกลายเป็นไอและส่วนของการควบแน่นดังภาพที่ 3.8

แสดงอากาศร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านส่วนระเหยกลายเป็นไอ ส่วนอากาศเย็นจะเคลื่อนที่ผ่านส่วนควบแน่น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนสัมผัสแต่การควบแน่นภายในครีบบจะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนแฝง ส่งผลให้พัฒนาประสิทธิภาพในการดึงความร้อนกลับได้ดียิ่งขึ้น

ฮีตไปป์ซึ่งแสดงดังภาพที่ 3.9 ประกอบด้วยแผ่นตะแกรงซ้อนเป็นท่ออยู่ภายใน เรียกว่า วิก (wick) ภายในท่อจะทำให้เป็นสุญญากาศแล้วบรรจุด้วยของไหลที่เหมาะสม จากนั้นจึงปิดผนึกแบบถาวร ของไหลที่บรรจุภายในฮีตไปป์มักจะเป็นสารทำความเย็น แต่สารจำพวกฟลูออโรคาร์บอน (fluorocarbons) น้ำ และสารประกอบอื่น ๆ สามารถนำไปบรรจุในฮีตไปป์ได้ในกรณีที่ระบบต้องการทำอุณหภูมิที่ต่างจากสารทำความเย็นทำได้



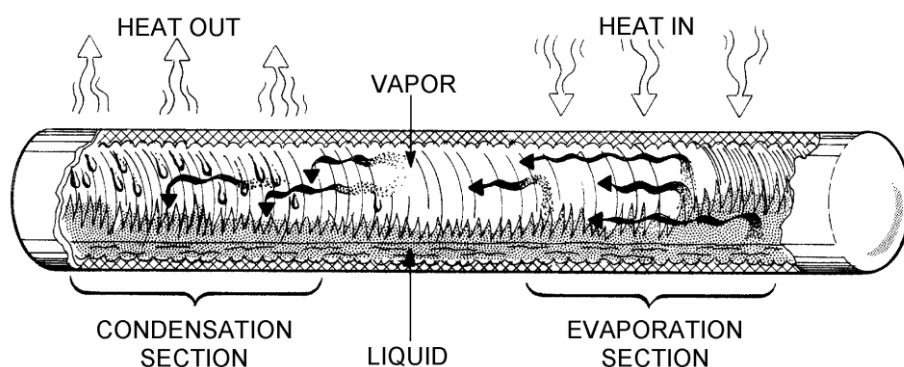
ภาพที่ 3.8 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์ (Heat Pipe Heat Exchangers)

3.2.1.3.1 หลักการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์

อากาศร้อนเคลื่อนที่เข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ส่วนของการระเหยกลายเป็นไอ แล้วทำให้ของไหลในฮีตไปป์ระเหย จากนั้นความแตกต่างของความดันจะผลักดันให้ไอของไหลเคลื่อนที่ไปสู่ส่วนควบแน่นของฮีตไปป์ ซึ่งทำให้ไอของไหลควบแน่นและปลดปล่อยพลังงานความร้อนแฝงจากการกลายเป็นไอ จากนั้นไอของไหลที่ถูกควบแน่นแล้วจะเคลื่อนที่ผ่านวิกไปที่ผิวของฮีตไปป์ แล้วเคลื่อนที่กลับไปสู่ส่วนการระเหยกลายเป็นไอในฮีตไปป์ที่ซึ่งของไหลจะระเหยกลายเป็นไออีกครั้ง นับเป็นหนึ่งรอบการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์ ดังนั้นของไหลภายในฮีตไปป์จะทำงานในระบบปิดของการกลายเป็นไอ

และการควบแน่น โดยจะทำงานต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ ด้วยแรงผลักดันของความแตกต่างอุณหภูมิภายในกระบวนการ

พลังงานที่มีการถ่ายเทภายในฮีตไปป์มักจะเป็นแบบอุณหภูมิคงที่ (Isothermal) แต่ในความจริงแล้วที่บริเวณผิวท่อ ที่วิก และที่ตัวกลางของของไหล อุณหภูมิจะมีค่าลดลงเล็กน้อย ฮีตไปป์มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ในปริมาณมาก ๆ โดยขึ้นอยู่กับ การออกแบบวิก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ ชนิดของของไหลที่บรรจุอยู่ในฮีตไปป์ และลักษณะการวางฮีตไปป์ (เทียบกับการวางแหวนอน)



ภาพที่ 3.9 ฮีตไปป์ (Heat pipe tube)

3.2.1.3.2 วัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์

ในระบบปรับอากาศทั่วไปจะใช้ทองแดงหรืออะลูมิเนียมในการทำฮีตไปป์ แล้วใช้อะลูมิเนียมทำเป็นครีบริ่ง เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์ที่ใช้งานกับอากาศทั้งจากอาคารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 220 องศาเซลเซียส มักจะเลือกวัสดุทำโครงสร้างเป็นอะลูมิเนียมในการทำท่อและครีบริ่ง อาจมีการเคลือบสารป้องกันการกัดกร่อนที่มีราคาไม่แพงที่ผิวอะลูมิเนียมแทนการใช้โลหะที่มีราคาแพง โดยสารเคลือบจะต้องมีผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อนของฮีตไปป์เพียงเล็กน้อย

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์ที่ใช้งานกับอากาศทั้งจากอาคารที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 220 องศาเซลเซียส มักเลือกวัสดุทำโครงสร้างเป็นเหล็กในการทำท่อและครีบริ่งแต่จะมีการเคลือบอะลูมิเนียมเพื่อป้องกันการเกิดสนิม สำหรับระบบปรับอากาศอื่น ๆ ที่มีลักษณะเฉพาะ การนำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์ไปใช้งานจะต้องได้รับการออกแบบพิเศษ โดยมีความแตกต่างกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตามปกติที่วัสดุโครงสร้างและชนิดของของไหลที่บรรจุในฮีตไปป์

3.2.1.3.3 ช่วงอุณหภูมิในการดำเนินงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์

สิ่งสำคัญในการใช้งานระยะยาวของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์คือการเลือกชนิดของของไหลที่บรรจุในฮีตไปป์ให้มีความเหมาะสม ของไหลที่บรรจุในฮีตไปป์ควรมีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอน้ำสูง มีค่าแรงตึงผิวสูง และมีค่าความหนืดน้อยในสภาวะการดำเนินงาน อีกทั้งยังต้องมีเสถียรภาพทางความร้อนที่อุณหภูมิดำเนินงาน นอกจากนี้ของไหลที่เลือกจะต้องไม่สลายตัวในช่วงอุณหภูมิดำเนินงานเพราะอาจทำให้เกิดก๊าซที่ไม่สามารถควบแน่นได้ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแยลง

3.2.1.3.4 การปนเปื้อนระหว่างกระแสอากาศ (Cross-contaminant)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์มักจะไม่เกิดการปนเปื้อนระหว่างกระแสอากาศหากเครื่องมือดำเนินงานที่ความแตกต่างของความดันไม่เกิน 12 กิโลปาสคาล การติดตั้งช่องปล่อยอากาศออกไว้ระหว่างกระแสอากาศทั้งสองสายจะช่วยป้องกันการเกิดการปนเปื้อนระหว่างกระแสอากาศได้ดียิ่งขึ้น ในกรณีที่ช่องอากาศทั้งจากอาคารได้รับการติดตั้งติดกับช่องปล่อยอากาศออก เมื่อมีการรั่วไหลเกิดขึ้น อากาศที่รั่วไหลจะถูกปล่อยออกไปสู่ช่องว่างระหว่างช่องกระแสอากาศทั้งสองนี้แล้วถูกปล่อยสู่ภายนอก

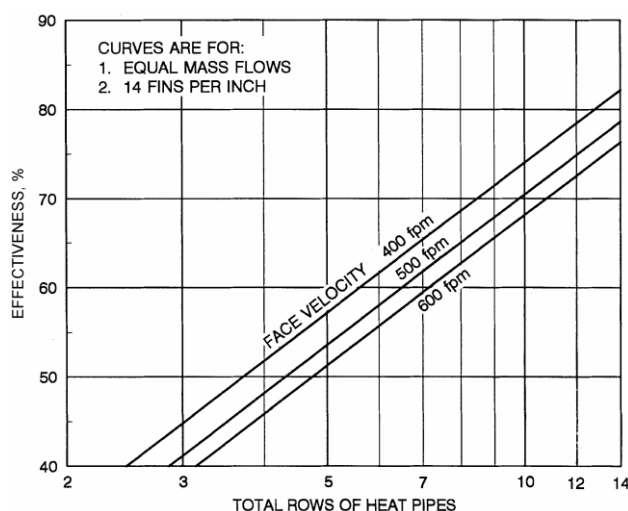
3.2.1.3.5 ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์

ความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนของฮีตไปป์ขึ้นอยู่กับการออกแบบและการจัดวางฮีตไปป์ดังภาพที่ 3.10 แสดงค่าประสิทธิผลของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วผ่านคอยล์กับจำนวนแถวของฮีตไปป์ พบว่าเมื่อจำนวนแถวฮีตไปป์มีค่ามากขึ้นค่าประสิทธิผลจะมีค่ามากขึ้นเช่นกัน แต่หากเพิ่มความเร็วของอากาศที่เข้าสู่คอยล์จะทำให้ประสิทธิผลมีค่าลดลง ค่าประสิทธิผลของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์ที่ให้อากาศไหลสวนทางกันจะมีค่าขึ้นอยู่กับจำนวนแถวของฮีตไปป์ทั้งหมดเท่านั้น เช่น ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีฮีตไปป์สองท่อมาต่ออนุกรมกัน จะมีค่าเท่ากับค่าประสิทธิผลของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีฮีตไปป์เพียงท่อเดียว หากทั้งสองกรณีมีจำนวนแถวฮีตไปป์เท่ากัน แต่การใช้ท่อมาต่ออนุกรมกันก็ยังเป็นที่นิยมในกรณีที่ต้องการความสะดวกในการใช้งาน การทำความสะอาด และการบำรุงรักษา

ความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนของฮีตไปป์มีประมาณค่าเป็นสัดส่วนยกกำลังสองกับความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในของท่อ เช่น ฮีตไปป์ที่มีความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 25 มิลลิเมตรจะสามารถถ่ายเทความร้อนได้เป็น 2.5 เท่าของฮีตไปป์ที่มีความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 16 มิลลิเมตร เนื่องจากฮีตไปป์ที่มีความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางภายในมาก จะมีกระแสน้ำไหลผ่านได้มากกว่า ทำให้ถ่ายเทความร้อนได้มากกว่า

ขีดจำกัดในการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องมือแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ ไม่ขึ้นกับความยาวของท่อ ยกเว้นหากฮีตไปป์สั้นมาก ๆ เช่น ฮีตไปป์ที่มีความยาว 1 เมตรจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับท่อที่มีความยาว 2 เมตร หากมีความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน เนื่องจากท่อยาว 2 เมตรจะมีพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนเป็น 2 เท่าของท่อยาว 1 เมตรทำให้ท่อยาว 2 เมตรมีการแลกเปลี่ยนความร้อนไปถึงจุดขีดความสามารถของท่อได้เร็วกว่า ดังนั้นการเพิ่มความยาวของท่อไม่ช่วยให้ค่าประสิทธิผลเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นหากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของฮีตไปป์สามารถทำได้โดยการปรับการจัดวางท่อหรือการเพิ่มจำนวนแถวของท่อ แต่ให้ท่อสั้นลง เพื่อให้ได้พื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนเท่าเดิมแต่เพิ่มประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบ

การออกแบบครีปและช่องว่างภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะต้องอยู่บนพื้นฐานว่ากระแสน้ำที่แลกเปลี่ยนภายในเครื่องมือมีความสกปรกมากน้อยแค่ไหน เพราะจะส่งผลถึงการทำความสะอาดและการบำรุงรักษาครีปและช่องว่างเป็นอย่างมาก ดังนั้นการออกแบบนอกจากจะต้องคำนึงถึงค่าความดันลดยอมรับได้แล้ว จะต้องคำนึงถึงกรณีที่มีความสกปรกเกิดขึ้นที่ฝั่งรับอากาศซึ่งจากตัวอาคารให้มีความสะดวกต่อการทำความสะอาดและบำรุงรักษาด้วย



ภาพที่ 3.10 ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ

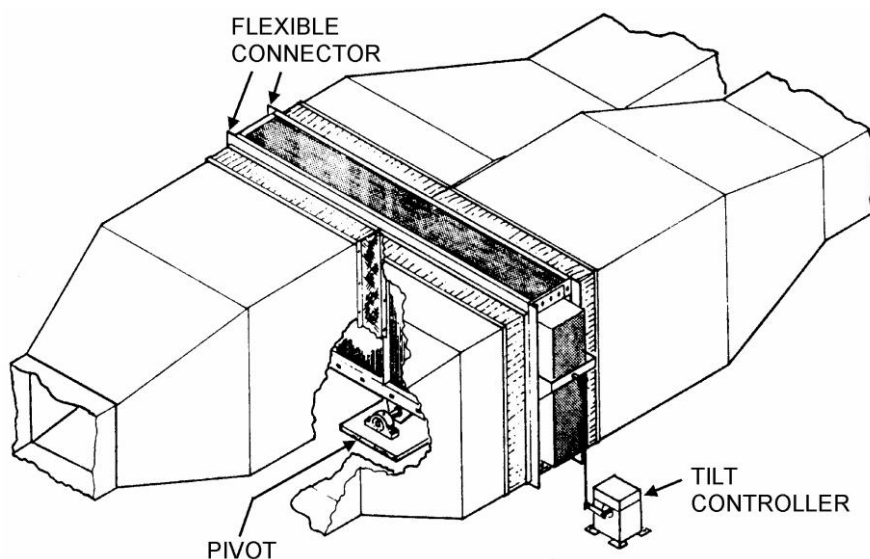
3.2.1.3.6 การควบคุมฮีตไปป์

การเปลี่ยนแปลงความเอียงของฮีตไปป์จะเป็นตัวควบคุมปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ การดำเนินงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยให้ฮีตไปป์ฝั่งที่ร้อนกว่าอยู่ต่ำกว่า (หรือสูงกว่า) เส้นแนวนอนจะช่วยเพิ่ม (หรือลด) ปริมาณไอของไหลควบแน่นที่เคลื่อนที่กลับไปสู่ปลายท่อฝั่งที่มีการระเหยกลายเป็นไอ ความสามารถที่กล่าวมาข้างต้นนี้สามารถนำไปใช้เพื่อปรับค่าประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์

ในการนำไปการควบคุมที่กล่าวข้างต้นไปใช้งานจริงนั้น ตัวควบคุมความเอียงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะทำงานโดยมีการติดตั้งจุดหมุนไปที่กึ่งกลางของตัวเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แล้วเชื่อมต่อเข้ากับตัวควบคุมอุณหภูมิที่ด้านใดด้านหนึ่งของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนดังภาพที่ 3.11 มีแผ่นเชื่อมต่อที่มีความยืดหยุ่น (Flexible connector) ที่ติดอยู่กับช่องรับอากาศซึ่งจะยอมให้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถเอียงได้เล็กน้อยอย่างอิสระ (เอียงได้เองมากที่สุด 6 องศา)

ความจำเป็นในการติดตั้งตัวควบคุมความเอียงมีเหตุผล 3 ข้อ ได้แก่

- เพื่อเปลี่ยนลักษณะการดำเนินงานจากการใช้งานกับอากาศทั้งจากอาคารที่มีอุณหภูมิสูง มาเป็นใช้งานกับอากาศทั้งจากอาคารที่มีอุณหภูมิต่ำ (คือ การกลับทิศในการแลกเปลี่ยนความร้อน) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ
- เพื่อรักษาประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้มีความเหมาะสม จะได้รับการควบคุมของอากาศที่ต้องการได้ หลีกเลี่ยงการทำความร้อนมากเกินไป
- เพื่อลดประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ป้องกันการเกิดน้ำแข็งในกรณีที่อุณหภูมิภายนอกมีค่าต่ำ การลดประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะทำให้อากาศที่ออกจากเครื่องมีอุณหภูมิอุ่นกว่า โดยอุณหภูมินี้จะมีค่ามากกว่าอุณหภูมิการเกิดน้ำแข็ง

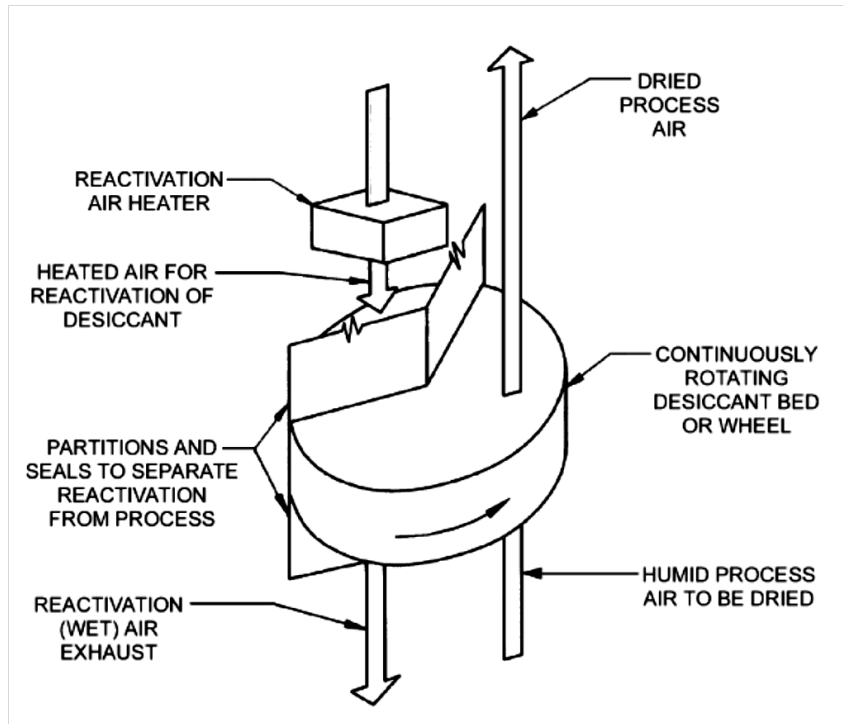


ภาพที่ 3.11 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อที่มีการติดตั้งตัวควบคุมความเอียง (Tilt Control)

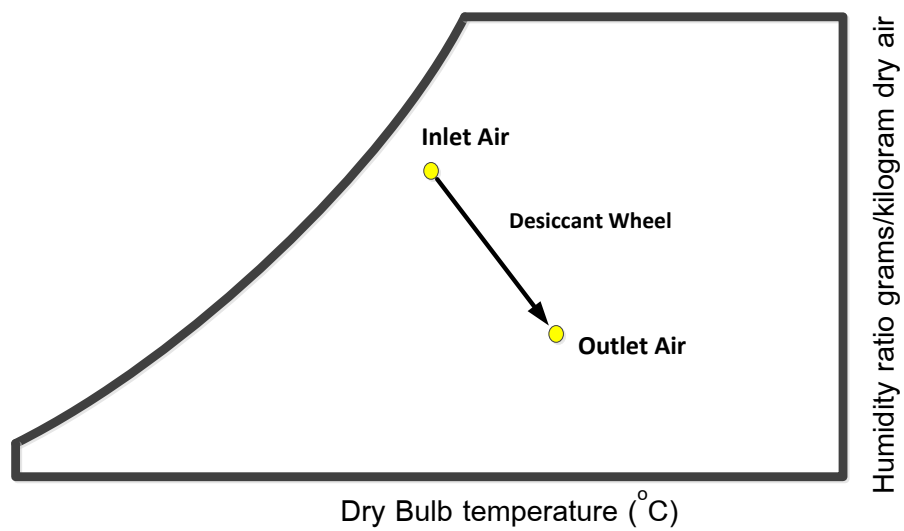
3.2.2 การลดความชื้นโดยสารดูดความชื้น (Desiccant dehumidification)

กระบวนการลดความชื้นโดยสารดูดความชื้นที่มีการใช้งานโดยทั่วไป แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ เบดดูดความชื้น (bed desiccant) และกงล้อดูดความชื้น (rotary desiccant) โดยเบดดูดความชื้นส่วนใหญ่จะใช้สารดูดความชื้นแบบของแข็ง เช่น ซิลิกาเจล และอีโคตราย ส่วนกงล้อดูดความชื้นจะใช้สารดูดความชื้นทั้งแบบของแข็งและของเหลว เช่น ซิลิกาเจล โมเลกุลาร์ซีฟ และลิเทียมคลอไรด์ ซึ่งกระบวนการลดความชื้นแบบเบดดูดความชื้นจะมีข้อเสีย คือ เมื่อมีการใช้สารดูดความชื้นในการลดความชื้นจนสารดูดความชื้นอิ่มตัว จะทำให้อัตราการดูดความชื้นลดลงจนกระทั่งไม่สามารถใช้ได้อีก ดังนั้นต้องนำสารดูดความชื้นไปคายความชื้นออกก่อนที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ โดยปกติแล้วอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการคายความชื้นของสารดูดความชื้นอยู่ที่ประมาณ 50 – 150 องศาเซลเซียส

สำหรับกงล้อดูดความชื้นซึ่งมีส่วนประกอบดังภาพที่ 3.12 อัตราการดูดความชื้นจะคงที่มากกว่ากรณีที่ใช้เบดดูดความชื้น เนื่องจากระหว่างที่กระบวนการลดความชื้นในอากาศทำงาน กระบวนการคายความชื้นของสารดูดความชื้นดำเนินไปด้วยในเวลาเดียวกัน ทำให้ความดันไอผิวสัมผัสของสารดูดความชื้นคงที่ ความชื้นที่ลดลงในกระบวนการลดความชื้นของสารดูดความชื้นมีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างอัตราส่วนความชื้นที่ทางเข้าและทางออกของตัวลดความชื้น ปริมาณความร้อนแฝงที่ลดลงในกระบวนการลดความชื้นสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 3.1 กระบวนการลดความชื้นของสารดูดความชื้นบนแผนภูมิไซโครเมทรีแสดงดังภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.12 ส่วนประกอบของกงล้อดูดความชื้น (Desiccant wheel)



ภาพที่ 3.13 กระบวนการลดความชื้นของสารดูดความชื้นบนแผนภูมิไซโครเมตริก

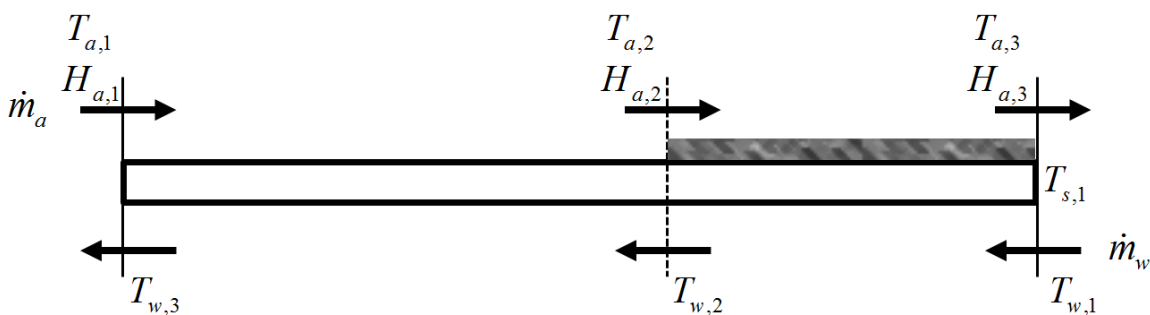
$$\dot{Q}_{latent} = \dot{m}_a (w_i - w_o) (h_{fg@0^\circ C} + 1.86T_i) \quad (3.1)$$

โดย	\dot{Q}_{latent}	คือ ความร้อนแฝงที่ลดลง (kW)
	\dot{m}_a	คือ อัตราการไหลของอากาศ (kg/s)
	w_i	คือ อัตราส่วนความชื้นที่ขาเข้าสารดูดความชื้น (kg _w /kg _{da})
	w_o	คือ อัตราส่วนความชื้นที่ขาออกสารดูดความชื้น (kg _w /kg _{da})
	$h_{fg@0^\circ C}$	คือ เอนทาลปีของน้ำที่ 0°C (มีค่าเท่ากับ 2500.4 kJ/kg)
	T_i	คือ อุณหภูมิของอากาศที่ขาเข้าสารดูดความชื้น (°C)

3.3 แบบจำลองของอุปกรณ์ในโปรแกรม EnergyPlus

3.3.1 แบบจำลองของคอยล์เย็น

คอยล์ทำความเย็นอาจจะอยู่ในสถานะแห้งทั้งหมด หรือเปียกทั้งหมด (โดยมีการควบแน่นด้วย) หรือทั้งแห้งและเปียกอยู่แยกส่วนกัน ภาพที่ 3.14 แสดงแผนภาพแบบง่ายของคอยล์ทำความเย็น/ลดความชื้น เงื่อนไขในการกำหนดพื้นที่ผิวของคอยล์ทำความเย็นนั้นขึ้นอยู่กับความชื้นและอุณหภูมิของอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านคอยล์ และค่าอุณหภูมิของตัวคอยล์เอง คอยล์ทำความเย็นที่เปียกและแห้งเพียงบางส่วนถือเป็นสถานะที่พื้นผิวของคอยล์ทำความเย็นที่เกิดขึ้นโดยทั่วไป สมการที่ใช้เป็นตัวแทนของสถานะบนพื้นผิวคอยล์ทำความเย็นนั้นถูกสร้างขึ้นเพื่ออธิบายลักษณะทั้งส่วนที่พื้นผิวส่วนเปียกและส่วนแห้ง การถ่ายเทความร้อนในแต่ละส่วนนั้น ความร้อนที่ถูกถ่ายเทจากอากาศไปสู่น้ำสามารถระบุได้ผ่านอัตราการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีภายในอากาศและภายในน้ำ สมการที่ 3.2 – 3.4 เป็นสมการที่ใช้อธิบายสมดุลพลังงานระหว่างน้ำและอากาศโดยอ้างอิงจากประสิทธิภาพที่แท้จริงของคอยล์ทำความเย็น DOE (2010)



ภาพที่ 3.14 แผนภาพแบบง่ายของคอยล์ทำความเย็น/ลดความชื้น

สมการที่ 3.2 – 3.7 แสดงสมการสองชุด ชุดละ 3 สมการ ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรไม่ทราบค่าทั้งหมด 7 ตัว แต่โดยทั่วไปแล้วจะมีตัวแปรอย่างน้อย 4 ตัว ที่เป็นตัวที่ทราบค่า เช่น อุณหภูมิน้ำขาเข้า อุณหภูมิอากาศขาออก อัตราการไหลของน้ำ อัตราการไหลของอากาศ ดังสมการที่กล่าวมาจะสามารถหาคำตอบได้

$$\dot{Q}_d = m_a C p_a (T_{a,1} - T_{a,2}) \quad (3.2)$$

$$\dot{Q}_d = m_w C p_w (T_{w,3} - T_{w,2}) \quad (3.3)$$

$$\dot{Q}_d = (U A_{dry}) (LMTD) \quad (3.4)$$

$$\dot{Q}_w = m_a (H_{a,2} - H_{a,3}) \quad (3.5)$$

$$\dot{Q}_w = m_w C p_w (T_{w,2} - T_{w,1}) \quad (3.6)$$

$$\dot{Q}_w = (U_c A_w) (LMHD) \quad (3.7)$$

วิธีการในการจัดการกับสมการข้างต้น ต้องอาศัยความแตกต่างลอการิทึมของอุณหภูมิและเอนทาลปี ซึ่งแสดงดังสมการที่ 3.8 และ 3.9 โดยค่า H_w ในสมการที่ 3.9 คือ ค่าเอนทาลปีของอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิของน้ำ นอกจากนี้การประมาณเชิงเส้นตรงของเอนทาลปีของค่าอากาศอิ่มตัวในช่วงอุณหภูมิพื้นผิวแสดงดังสมการที่ 3.10

$$LMTD = \frac{(T_{a,1} - T_{w,3}) - (T_{a,2} - T_{w,2})}{\ln \frac{T_{a,1} - T_{w,3}}{T_{a,2} - T_{w,2}}} \quad (3.8)$$

$$LMHD = \frac{(H_{a,2} - H_{w,2}) - (H_{a,3} - H_{w,1})}{\ln \frac{H_{a,2} - H_{w,2}}{H_{a,3} - H_{w,1}}} \quad (3.9)$$

$$H_w = aa + bbT_w \quad (3.10)$$

สมการที่ 3.11 เป็นสมการที่ได้จากการพิสูจน์สมการข้างบน เพื่อใช้แก้หาค่าสภาวะการดำเนินงานของคอลย์ทำความเย็นเมื่อทราบค่าสภาวะขาเข้า โดยไม่มีการควบคุมสภาวะอุณหภูมิขาออกของอากาศ

$$T_{w,2} = \frac{(1-z)(H_{a,1} - aa - K_1 C p_a T_{a,1}) + Z T_{w,1} \left(bb - \frac{m_w C p_w}{m_a} \right)}{bb - Z \frac{m_w C p_w}{m_a} - (1-z) K_1 C p_a} \quad (3.11)$$

แต่หากต้องการระบุค่าอุณหภูมิขาออกของอากาศจากคอยล์ควรเลือกใช้สมการที่ 3.12 และ 3.13 ส่วนสมการที่ 3.14 – 3.16 นั้นเป็นการปรับปรุงสมการที่ 3.11 – 3.13 ให้มีความง่ายในการนำไปใช้มากขึ้น

$$T_{w,2} = \frac{(1-z)(H_{a,3} - aa) + T_{w,1} \left(\frac{m_w C_{p_w} - bbZ}{m_a} \right)}{\frac{m_w C_{p_w} - bb}{m_a}} \quad (3.12)$$

$$T_{w,2} = \frac{(Z_d - 1)T_{a1}C_{p_a} + T_{w,3} \left(C_{p_a} - \frac{m_w C_{p_w}}{m_a} \right)}{Z_d \left(C_{p_a} - \frac{m_w C_{p_w}}{m_a} \right)} \quad (3.13)$$

$$Z = \exp \left(U_c A_w \left(\frac{1}{m_a} - \frac{bb}{m_w C_{p_w}} \right) \right) \quad (3.14)$$

$$K_1 = \frac{Z_d - 1}{Z_d - \frac{m_a C_{p_a}}{m_w C_{p_w}}} \quad (3.15)$$

$$Z_d = \exp \left(U_d A_{dry} \left(\frac{1}{m_a C_{p_a}} - \frac{1}{m_w C_{p_w}} \right) \right) \quad (3.16)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะแตกต่างกันไปตามลักษณะการออกแบบของคอยล์ แต่สามารถหาค่าได้จากความสัมพันธ์ที่พัฒนาจากกลศาสตร์ของไหลและหลักการถ่ายเทความร้อน สมการที่ 3.17 เป็นสมการที่ให้หาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของฟิล์มที่อยู่ฝั่งน้ำ โดยมีค่า Re ไม่เกิน 3100 ค่าความต้านทานความร้อนภายในท่อสามารถคำนวณโดยใช้สมการที่ 3.18

$$f_i = 1.429(1 + 0.0146T_w) V_w^{0.8} D_i^{-0.2} \quad (3.17)$$

$$R_i = \frac{1}{f_i A_i} \quad (3.18)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของฟิล์มที่อยู่ฝั่งอากาศสามารถหาได้จากสมการที่ 3.19 ซึ่งสามารถเขียนได้อีกรูปแบบตามสมการที่ 3.20 ค่าสัมประสิทธิ์จากสมการที่ 3.19 และ 3.20 หาได้จากสมการที่ 3.21 และ 3.22 ซึ่งเป็นฟังก์ชันทางเรขาคณิตของคอยล์ สมการที่ 3.23 – 3.26 อธิบายนิยามและค่าของพารามิเตอร์ทั่วไปและคุณสมบัติของอากาศ

$$f_o = C_1 Re_a^{C_2} \frac{m_a}{A_{a_min_flow}} C_{p_a} Pr_a^{2/3} \quad (3.19)$$

$$C_1 Re_a^{C_2} = St_a Pr_a^{2/3} \quad (3.20)$$

$$C_1 = 0.159 \left(\frac{\delta_{fin}}{D_{hdr}} \right)^{-0.065} \left(\frac{\delta_{fin}}{L_{fin}} \right)^{0.141} \quad (3.21)$$

$$C_2 = -0.323 \left(\frac{\Delta_{fins}}{L_{fin}} \right)^{0.049} \left(\frac{D_{fin}}{\Delta_{tube_rows}} \right)^{0.549} \left(\frac{\delta_{fin}}{\Delta_{fins}} \right)^{-0.028} \quad (3.22)$$

$$D_{hdr} = \frac{4A_{a_min_flow} \delta_{coil}}{A_{s_total}} \quad (3.23)$$

$$Re_a = \frac{4\delta_{coil}(1+w_a)m_a}{A_{s_total}\mu_a} \quad (3.24)$$

$$Pr_a = 0.733 \quad (3.25)$$

$$\mu_a = 1.846 \times 10^{-5} \quad (3.26)$$

ค่าประสิทธิภาพของครีบอกใช้พิจารณาในการคำนวณค่าความต้านทานทางความร้อนภายนอกทั้งหมด โดยหาได้จากสมการที่ 3.27 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆใน สมการที่ 3.27 หาได้จากสมการที่ 3.28 - 3.31 สุดท้ายจะนำไปสู่การหาค่าประสิทธิภาพทั้งหมดของผิว ในสมการที่ 3.32

$$\eta_{fin} = \frac{-2\rho}{fai(1+\rho)} \left[\frac{I_1(u_b)K_1(u_e) - K_1(u_b)I_1(u_e)}{I_0(u_b)K_1(u_e) + K_0(u_b)I_1(u_e)} \right] \quad (3.27)$$

$$fai = \frac{(D_{fin} - D_{tube})}{2} \sqrt{\frac{2f_0}{k_{fin}\delta_{fin}}} \quad (3.28)$$

$$\rho = \frac{D_{tube}}{D_{fin}} \quad (3.29)$$

$$u_e = \frac{fai}{1-\rho} \quad (3.30)$$

$$u_b = u_e \rho \quad (3.31)$$

$$\eta_o = 1 - (1 - \eta_{fin}) \frac{A_{fins}}{A_{s_total}} \quad (3.32)$$

นิยามของค่าความต้านทานทางความร้อนภายนอกทั้งหมดถูกกำหนดอยู่ในสมการที่ 3.33 โดยเป็นฟังก์ชันของประสิทธิภาพของครีบอกและสัมประสิทธิ์ของครีบอก ค่าความต้านทานที่พื้นผิวคอยล์เป็ยก็มีนิยามที่ต่างออกไป เพราะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นอยู่กับเอนทาลปีมากกว่าค่าความแตกต่างอุณหภูมิ ดังแสดงในสมการที่ 3.34

$$R_o = \frac{1}{f_o \eta_o A_{s,total}} \quad (3.33)$$

$$R_{o,w} = \frac{Cp_a/bb}{f_{o,w} \eta_{o,w} A_{s,total}} \quad (3.34)$$

สมการที่ 3.35 เป็นสมการที่ใช้อธิบายสององค์ประกอบสุดท้ายที่มีผลต่อความต้านทานทางความร้อน นั่นคือ การเกิดฟอล์วลิ้งที่ผนังภายในโลหะและที่ผิวผนัง ค่าฟอล์วลิ้งแพคเตอร์มีค่าขึ้นกับปริมาณความสกปรกและการกัดกร่อนที่พื้นผิวภายในท่อ โดยสมมติให้มีค่าเท่ากับ $5 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ เมื่อนำสมการเกี่ยวกับความต้านทานทางความร้อนทั้งหมดมารวมกันแล้ว จะสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมได้ดังแสดงในสมการที่ 3.36 และ 3.37

$$R_{mf} = \frac{\delta_{tube}}{k_{tube} A_i} + \frac{Fl}{A_i} \quad (3.35)$$

$$UA_{dry} = \frac{A_{dry}}{A_{s,total}} \left[\frac{1}{R_i + R_{mf} + R_o} \right] \quad (3.36)$$

$$U_c A_w = \frac{A_w}{A_{s,total}} \left[\frac{1/bb}{R_i + R_{mf} + R_{o,w}} \right] \quad (3.37)$$

3.3.2 แบบจำลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมด

วัตถุประสงค์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือการถ่ายเทพลังงานระหว่างกระแสอากาศที่ใส่เข้าสู่ระบบกับกระแสอากาศที่ระบายออกเนื่องจากค่าประสิทธิผลที่ถูกระบุไว้โดยผู้ใช้ซึ่งกำหนดอยู่ในข้อมูลขาเข้า ค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่ไหลเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขณะที่กำลังดำเนินงานควรมีค่าระหว่าง 50 - 130% ของค่าปกติของอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่กำหนดให้เหมาะสมกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนั้น ๆ หากดำเนินงานโดยให้อัตราการไหลของอากาศนอกช่วงที่กำหนดจะทำให้เกิดการเตือนของโปรแกรมและแนะนำให้แก้ไขโดยการปรับอัตราการไหลให้อยู่ในช่วงที่กำหนด

ผู้ใช้งานจะต้องใส่ค่าประสิทธิผลของความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงเข้าไปในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่จะเพื่อทำความเย็นหรือทำความร้อน พร้อมกับระบุปริมาณอัตราการไหลของอากาศ (อากาศที่ป้อนเท่ากับอากาศที่ระบายออก) เป็น 2 ค่า คืออัตราการไหลที่ 75% และ 100% ของค่าปกติของอากาศที่ป้อนเข้าสู่อุปกรณ์ บริษัทผู้ผลิตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมักจะบอกข้อมูลเกี่ยวกับประสิทธิภาพของอุปกรณ์มาให้ซึ่งจะสามารถนำไปใช้เพื่อกำหนดค่าประสิทธิผลของความร้อนสัมผัสหรือความร้อนแฝง หรือทั้งสองอย่าง แต่อย่างไรก็ตามค่าเริ่มต้น

ของค่าประสิทธิผลทั้งสองแบบจะถูกตั้งไว้ที่ 0.0 ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ใช้จะต้องระบุค่าประสิทธิผลของความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง

เพื่อหาค่าประสิทธิผลในการดำเนินงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่อัตราการไหลอากาศต่าง ๆ ในขั้นแรก ทุกขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง จะมีการคำนวณอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศเฉลี่ยที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (ค่าเฉลี่ยของอากาศที่ป้อนและอากาศที่ระบายออก) อัตราการไหลของอากาศทั้งสองฝั่งอาจไม่เท่ากัน (อากาศที่ป้อนอาจมีค่ามากกว่าอากาศที่ระบายออก หรือในทางกลับกัน) แต่อัตราส่วนของอัตราการไหลควรมีค่าไม่เกิน 2:1 (หากมีค่ามากกว่านี้จะมีการเตือนจากโปรแกรม) หลังจากนั้นแบบจำลองกำหนดค่าประสิทธิผลในการดำเนินงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้การประมาณเชิงเส้นตรงที่อัตราการไหล 100% และ 75%

หากอุณหภูมิอากาศที่ป้อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิอากาศเข้าของอากาศที่ระบายออก ค่าประสิทธิผลของความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงคำนวณโดยใช้อัตราการไหลของอากาศที่ 75% และ 100% ของสภาวะปกติดังแสดงในสมการที่ 3.38 และ 3.39

$$\mathcal{E}_{operating, sensible} = \mathcal{E}_{sensible, 75\% flow} + \left(\mathcal{E}_{sensible, 100\% flow} - \mathcal{E}_{sensible, 75\% flow} \right) \left(\frac{HX_{flowratio} - 0.75}{1 - 0.75} \right) \quad (3.38)$$

$$\mathcal{E}_{operating, latent} = \mathcal{E}_{latent, 75\% flow} + \left(\mathcal{E}_{latent, 100\% flow} - \mathcal{E}_{latent, 75\% flow} \right) \left(\frac{HX_{flowratio} - 0.75}{1 - 0.75} \right) \quad (3.39)$$

โดย $\mathcal{E}_{operating, sensible}$ คือ ประสิทธิภาพในการดำเนินงานของค่าความร้อนสัมผัส

$\mathcal{E}_{operating, latent}$ คือ ประสิทธิภาพในการดำเนินงานของค่าความร้อนแฝง

$\mathcal{E}_{sensible, 75\% flow}$ คือ ประสิทธิภาพของค่าความร้อนสัมผัสที่การไหลอากาศ 75%

$\mathcal{E}_{sensible, 100\% flow}$ คือ ประสิทธิภาพของค่าความร้อนสัมผัสที่การไหลอากาศ 100%

$\mathcal{E}_{latent, 75\% flow}$ คือ ประสิทธิภาพของค่าความร้อนแฝงที่การไหลอากาศ 75%

$\mathcal{E}_{latent, 100\% flow}$ คือ ประสิทธิภาพของค่าความร้อนแฝงที่การไหลอากาศ 100%

$HX_{flowratio}$ คือ อัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ (ผลรวมของอากาศที่ป้อนกับอากาศที่ระบายออกหารด้วย 2.0) ต่อด้วยค่าปกติของอัตราการไหลของอากาศขาเข้า

สภาวะขาออกของอากาศที่ป้อนเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนถูกกำหนดโดยการใช้ค่าประสิทธิผลในการดำเนินงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่คำนวณจากสมการด้านบน

อัตราส่วนระหว่างกระแสอากาศที่มีค่าความจุความร้อนจำเพาะต่ำสุดต่อด้วยกระแสอากาศเข้าที่มีค่าความจุความร้อนจำเพาะค่าหนึ่งๆ และความแตกต่างอุณหภูมิหรือความแตกต่างของอัตราส่วนความชื้นระหว่างอากาศที่ถูกป้อนกับอากาศที่ถูกระบายออก แสดงดังสมการที่ 3.40 - 3.42

$$\dot{m}Cp_{min} = \text{MIN}(\dot{m})Cp_{sup}, \dot{m}Cp_{exh} \quad (3.40)$$

$$T_{SupAirOut} = T_{SupAirIn} + \varepsilon_{operating, sensible} \left(\frac{\dot{m}Cp_{min}}{\dot{m}Cp_{sup}} \right) (T_{ExhAirIn} - T_{SupAirIn}) \quad (3.41)$$

$$\omega_{SupAirOut} = \omega_{SupAirIn} + \varepsilon_{operating, sensible} \left(\frac{\dot{m}Cp_{min}}{\dot{m}Cp_{sup}} \right) (\omega_{ExhAirIn} - \omega_{SupAirIn}) \quad (3.42)$$

โดย

$\dot{m}Cp_{min}$	คือ	อัตราค่าความจุความร้อนต่ำสุด (W/K)
$\dot{m}Cp_{sup}$	คือ	อัตราค่าความจุความร้อนของอากาศที่ป้อน (W/K)
$\dot{m}Cp_{exh}$	คือ	อัตราค่าความจุความร้อนของอากาศที่ระบายออก (W/K)
$T_{SupAirOut}$	คือ	อุณหภูมิอากาศที่ป้อนขาออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (°C)
$T_{SupAirIn}$	คือ	อุณหภูมิอากาศที่ป้อนขาเข้า (°C)
$T_{ExhAirIn}$	คือ	อุณหภูมิอากาศที่ระบายออกขาเข้า (°C)
$\omega_{SupAirOut}$	คือ	อัตราส่วนความชื้นอากาศที่ป้อนขาออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (kg/kg)
$\omega_{SupAirIn}$	คือ	อัตราส่วนความชื้นอากาศที่ป้อนขาเข้า (kg/kg)
$\omega_{ExhAirIn}$	คือ	อัตราส่วนความชื้นอากาศที่ระบายออกขาเข้า (kg/kg)

เอนทาลปีของอากาศที่ป้อนขาออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถคำนวณได้ โดยเป็นค่าที่ขึ้นกับอุณหภูมิอากาศขาออกและค่าอัตราส่วนความชื้น ดังสมการที่ 3.43

$$H_{SupAirOut} = \text{PsyHFnTdbW} (T_{SupAirOut}, \omega_{SupAirOut}) \quad (3.43)$$

โดย

$H_{SupAirOut}$	คือ	เอนทาลปีของอากาศที่ป้อนขาออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (J/kg)
PsyHFnTdbW	คือ	โปรแกรมไซโครเมทรีที่คำนวณเอนทาลปีของอากาศเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิและอัตราส่วนความชื้น

หากสภาวะของอากาศที่ป้อนขาออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่คำนวณได้มีค่าเกินเส้นโค้งอิ่มตัว (ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 100%) ค่าอุณหภูมิและอัตราส่วนความชื้นจะถูกตั้งค่าไปที่สภาวะอิ่มตัว (ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100%) จากนั้นจะสามารถคำนวณความร้อนสัมผัสและอัตราความร้อนที่ดึงกลับคืนจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ดังสมการที่ 3.44 และ 3.45

$$\dot{Q}_{Sensible} = (\dot{m}C_{p\sup}) (T_{SupAirIn} - T_{SupAirOut}) \quad (3.44)$$

$$\dot{Q}_{Total} = \dot{m}_{SupAir} (h_{SupAirIn} - h_{SupAirOut}) \quad (3.45)$$

โดย

$\dot{Q}_{Sensible}$ คือ อัตราความร้อนสัมผัสที่ดึงกลับคืนมาได้ (W)

\dot{Q}_{Total} คือ อัตราความร้อนรวมที่ดึงกลับคืนมาได้ (W)

$h_{SupAirIn}$ คือ เอนทาลปีของอากาศที่ป้อนขาเข้า (J/kg)

\dot{m}_{SupAir} คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ป้อน (kg/s)

สภาวะของอากาศที่ระบายออกขาออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน สามารถคำนวณตามสมการที่ 3.46 - 3.48

$$T_{ExhAirOut} = T_{ExhAirIn} + \frac{\dot{Q}_{Sensible}}{\dot{m}C_{p\exh}} \quad (3.46)$$

$$H_{ExhAirOut} = H_{ExhAirIn} + \frac{\dot{Q}_{Total}}{\dot{m}_{ExhAir}} \quad (3.47)$$

$$\omega_{ExhAirOut} = PsyWFnTdbH(T_{ExhAirOut}, h_{ExhAirOut}) \quad (3.48)$$

โดย

$T_{ExhAirOut}$ คือ อุณหภูมิอากาศที่ระบายออกขาออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ($^{\circ}\text{C}$)

$h_{ExhAirOut}$ คือ เอนทาลปีของอากาศระบายออกขาออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (J/kg)

\dot{m}_{ExhAir} คือ อัตราการไหลของอากาศที่ระบายออก (kg/s)

$\omega_{ExhAirOut}$ คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศที่ระบายออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (kg/kg)

$PsyWFnTdbH$ คือ โปรแกรมไซโครเมทรีที่คำนวณเอนทาลปีของอากาศเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิและเอนทาลปี

เมื่อสามารถคำนวณสภาวะของอากาศที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละฝั่งได้ แล้ว อากาศจะเข้าผสมกับอากาศที่ทางผ่านที่อยู่รอบ ๆ แกนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แล้วจึงออกมาเป็นสภาวะของอากาศขาออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน สภาวะของอากาศขาออกที่ใช้ในสมการ 467 และ 468 เพื่อกำหนดค่าความร้อนสัมผัสที่ดึงกลับมาได้ และค่าความร้อนรวมที่ดึงกลับมาได้ ส่วนค่าความร้อนแฝงที่ดึงกลับมาได้สามารถคำนวณโดยใช้ความแตกต่างระหว่างความร้อนสัมผัสและความร้อนรวมที่ดึงกลับมาได้ ดังสมการที่ 3.49

$$\dot{Q}_{Latent} = \dot{Q}_{Total} - \dot{Q}_{Sensible} \quad (3.49)$$

3.3.3 แบบจำลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัส

สภาวะขาเข้าและขาออกในการออกแบบใช้เพื่อออกแบบค่าประสิทธิภาพ (eff_{des}) ค่า NTU และ UA จากการออกแบบขึ้นอยู่กับอัตราส่วนการไหล การจัดรูปแบบการไหล และค่าประสิทธิภาพ สามารถคำนวณค่า UA และ NTU ได้จากสมการที่ 3.50 และ 3.51

$$UA = \frac{UA_{des} (r_{hA} + 1)}{\left(\left(\frac{\dot{m}_{pri,des} T_{pri,des}}{\dot{m}_{pri} T_{pri}} \right)^{0.78} + r_{hA} \left(\frac{\dot{m}_{sec,des} T_{sec,des}}{\dot{m}_{sec} T_{sec}} \right)^{0.78} \right)} \quad (3.50)$$

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}} \quad (3.51)$$

โดย

\dot{m}	คือ	อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ
T	คือ	อุณหภูมิอากาศ
des	คือ	ค่าจากการออกแบบ
pri	คือ	กระแสแรก
sec	คือ	กระแสที่สอง
C_{min}	คือ	อัตราส่วนการไหลน้อยที่สุด

ค่า NTU ที่สามารถคำนวณได้จะใช้เพื่อคำนวณค่าประสิทธิภาพ เมื่อได้ค่าประสิทธิภาพและสภาวะการดำเนินงานที่ขาเข้าแล้ว จะสามารถคำนวณสภาวะที่ขาออกได้

3.3.4 แบบจำลองของวงล้อดูดความชื้น

แบบจำลองของเครื่องลดความชื้นนี้จะถูกควบคุมให้ทำงานตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้ เพื่อให้อากาศที่ออกมามีค่าอัตราส่วนความชื้นตามที่กำหนด หากอัตราส่วนความชื้นของอากาศ

ที่เข้ามาสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ เครื่องลดความชื้นจะพยายามลดความชื้นให้ได้ใกล้เคียงกับค่าที่ตั้งไว้ให้ได้มากที่สุด ขณะเครื่องลดความชื้นดำเนินงานอุปกรณ์ส่วนรีเจนเนอเรทจะได้รับการสร้างแบบจำลองด้วย ผู้ใช้ต้องกำหนดอุณหภูมิของอากาศที่รีเจนเนอเรทก่อนเข้าสู่เครื่องและกำหนดข้อมูลของพัดลมระบายอากาศ พลังงานที่ใช้สำหรับพัดลมระบายอากาศสามารถคำนวณโดยใช้สมการที่ 3.52 และ 3.53

$$PLR_{exhaust} = \frac{\dot{m}_{exhaust}}{\rho_{Std} * \dot{V}_{exhaust,max}} \quad (3.52)$$

$$P_{exhaust} = P_{exhaust,max} * ExhFanModFac \quad (3.53)$$

โดย

$PLR_{exhaust}$	คือ อัตราส่วนการทำงานของพัดลมระบายอากาศ
$\dot{V}_{exhaust,max}$	คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตรมากที่สุดของพัดลมระบายอากาศ (m^3/s)
ρ_{Std}	คือ ความหนาแน่นของอากาศที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (อากาศแห้งที่อุณหภูมิ $20^\circ C$) (m^3/kg)
$P_{exhaust}$	คือ ตัวแปรขาออกของพลังงานของพัดลมระบายอากาศ (W)
$P_{exhaust,max}$	คือ พลังงานมากที่สุดของพัดลมระบายอากาศ (W)
$ExhFanModFac$	คือ เส้นโค้งที่อธิบายพลังงานของพัดลมระบายอากาศที่จุด $PLR_{exhaust}$ หากเส้นโค้งไม่ได้ถูกกำหนดโดยผู้ใช้ ค่าแฟกเตอร์จะถูกกำหนดให้เท่ากับ 1.0

3.4 การเปรียบเทียบค่าเทียบเท่าปัจจุบันสุทธิของโครงการที่มีอายุเท่ากัน

การตัดสินใจในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมศาสตร์มีความสำคัญมาก วิศวกรหรือผู้บริหารมักต้องมีการตัดสินใจทางเลือกต่าง ๆ และการตัดสินใจเลือกทางใดทางหนึ่งอาจจะมีผลกระทบต่อเนื่องไปถึงในอนาคต โดยทั่วไปทางเลือกที่พบมักจะมีมากกว่าหนึ่งทางเลือกขึ้นไป การตัดสินใจเลือกโครงการใดจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดขั้นตอนหนึ่ง วิธีการช่วยในการตัดสินใจเลือกที่นำมาใช้ได้แก่การเปรียบเทียบค่าเทียบเท่าปัจจุบันสุทธิ (Net – Present Value Comparison, NPV Comparison)

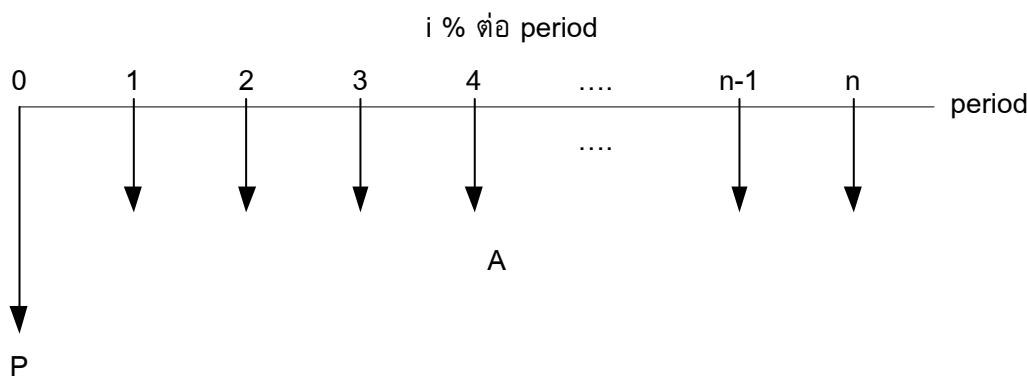
การเปรียบเทียบค่าเทียบเท่าปัจจุบันสุทธิจะต้องมีการเขียนแผนผังกระแสเงินสด (Cash – flow diagram) ซึ่งเป็นแผนผังแสดงรายละเอียดของรายรับและจ่ายเงินของโครงการ เป็นวิธีที่

ง่ายที่สุดในการมองภาพรวมของกระแสเงินสดทั้งหมด เมื่อเขียนแผนผังกระแสเงินสดของแต่ละโครงการหรือแต่ละทางเลือกที่กำลังพิจารณาแล้ว หาราคาเทียบเท่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของการลงทุนในแต่ละทางเลือก โดยใช้ค่าแฟกเตอร์เปรียบเทียบระหว่างค่าเทียบเท่าปัจจุบัน กับค่าเทียบเท่ารายปีที่เท่ากัน กล่าวคือ

ค่าเทียบเท่าปัจจุบัน (Present Worth หรือ Present Sum) ใช้สัญลักษณ์ P คือเงินต้นของการลงทุนหรือกู้ยืม หรือเป็นมูลค่าเงินรวมของการลงทุน ณ เวลาปัจจุบัน

ค่าเทียบเท่ารายปีที่เท่ากัน (Annual Worth หรือ Annual Payment) ใช้สัญลักษณ์ A เป็นจำนวนเงินที่จ่ายหรือรับทุก ๆ ช่วงเวลา ในปริมาณที่เท่ากันตลอดระยะเวลาที่กำหนด (n คาบเวลา) ได้แก่ ค่าดำเนินงาน (operating cost) ค่าบำรุงรักษา (maintenance cost)

หากโครงการหรือทางเลือกเป็นระบบที่มีการรับหรือจ่ายเงินในแต่ละช่วงเวลามีค่าเท่ากันตลอดระยะเวลาที่กำหนด โดยค่า A มีค่าเท่ากันตลอด จะมีรูปแบบแสดงดังแผนผังกระแสเงินสดในภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.15 แผนผังกระแสเงินสดของระบบการจ่ายเป็นอนุกรมที่มีค่าเท่ากัน

กรณีที่ทราบค่าเทียบเท่ารายปีที่เท่า ๆ กัน (A) สามารถหาค่าเงินต้นหรือค่าเทียบเท่าปัจจุบัน (P) ได้สมการที่ ด้านล่าง เนื่องจากค่า A เป็นรายรับหรือรายจ่ายที่เกิดขึ้นทุกคาบเวลา ในปริมาณที่เท่า ๆ กัน จึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Equivalent Uniform Annual Worth หรือ EUAW

$$P = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \tag{3.54}$$

โดย

P คือ มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน

A คือ ค่าที่เกิดขึ้นเท่า ๆ กันทุกช่วงเวลา (Period)

i คือ อัตราดอกเบี้ยต่อหน่วยเวลา

n คือ ช่วงระยะเวลา (Period)

ค่าแฟกเตอร์ $\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$ เรียกว่า Uniform Series Present Worth Factor สามารถใช้

สัญลักษณ์ $(P/A, i\%, n)$ ซึ่งหาค่าได้จากการเปิดตารางดอกเบี้ย หลักการในการเปรียบเทียบค่าเทียบเท่าปัจจุบันสุทธิของแต่ละทางเลือก โดยทางเลือกที่เกิดค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดเป็นทางเลือกที่เหมาะสม

บทที่ 4

การออกแบบเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระ ที่เหมาะสมกับกรุงเทพมหานคร

4.1 เงื่อนไขการออกแบบเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระ

การกำหนดเงื่อนไขการออกแบบนั้นเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่สำคัญเพราะจะทำให้สามารถกำหนดเป้าหมายในการออกแบบให้เหมาะสมกับเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระได้ อีกทั้งยังเป็นตัวกำหนดการเลือกองค์ประกอบของเครื่องด้วย ฉะนั้นเงื่อนไขการออกแบบมีดังนี้

4.1.1 ความต้องการด้านประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศ (Performance requirements)

เครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระที่จะออกแบบนั้นจะต้องเป็นเครื่องที่สามารถทำ ความเย็นและความชื้นในปริมาณตามที่ต้องการในแต่ละการใช้งานได้ โดยมีแนวคิดในการ ออกแบบเครื่องคือ

- ออกแบบสภาวะการออกแบบภายในให้มีอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม โดยดูจากมาตรฐาน
- อุปกรณ์ที่ใช้ต้องผ่านมาตรฐาน ARI และ ASHRAE Standard 90.1
- การออกแบบต้องมีการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ที่ทำงานตามการ ควบคุมความชื้น และตามความต้องการอากาศภายนอกเพื่อระบายอากาศในแต่ละพื้นที่ ได้

4.1.2 ความต้องการขนาดทำความเย็นของเครื่องเติมอากาศ (Capacity requirements)

ความต้องการด้านขนาดทำความเย็นเป็นเงื่อนไขการออกแบบที่จะต้องให้เครื่องมี ความสามารถที่จะทำความเย็นให้กับอากาศภายนอกได้ตลอดชั่วโมงการทำงานของอาคารได้ ตลอดทั้งปี การออกแบบจะต้องคำนวณขนาดทำความเย็นไม่ให้มีขนาดมากเกินไปหรือทำให้ขนาด เครื่องใหญ่กว่าปกติ โดยระบบจะต้องสามารถควบคุมการทำงานของเครื่องให้ทำความเย็นและ ลดความชื้นในขณะที่ขนาดทำความเย็นของอาคารเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลาได้

4.1.3 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของเครื่องเติมอากาศ (Life cycle cost)

ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานจะเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดปัจจัยหนึ่งสำหรับผู้ใช้งาน การออกแบบนั้นจะต้องทำการออกแบบให้เครื่องมีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานที่ต่ำที่สุด ซึ่งค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานจะพิจารณาจากปัจจัยต่อไปนี้

4.1.3.1 ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น (First cost)

ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นเป็นค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการลงทุนการสร้างเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระ ดังนั้นการเลือกองค์ประกอบของระบบจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับเงื่อนไขในราคาที่น้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ดังนั้นแนวคิดในการออกแบบคือ

- องค์ประกอบที่ใช้ภายในต้องหาซื้อได้ไม่ยากในประเทศไทย เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการนำเข้า และมีการแข่งขันทางตลาดในประเทศ
- มีใช้วิธีการออกแบบที่เหมาะสมที่สุด (Optimum design) ของแต่ละองค์ประกอบมาเข้าร่วมในการออกแบบเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระ

4.1.3.2 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Operating cost)

ค่าใช้จ่ายที่ต้องเสียไปในระหว่างการใช้งาน ได้แก่ค่าไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่อง ซึ่งจะเป็นค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่ที่แท้จริงของการใช้เครื่อง ดังนั้นในการออกแบบจะต้องออกแบบเพื่อให้มีการใช้งานพลังงานที่ต่ำที่สุด จึงได้กำหนด แนวคิดของการออกแบบได้ดังนี้

- มีการใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อลดพลังงานให้กับคอยล์เย็นชนิดที่ไม่ต้องใช้พลังงานภายนอกเพิ่มหรือใช้น้อยที่สุด
- มีการเลือกอุณหภูมิลมจ่ายที่ออกจากเครื่องให้เหมาะสม
- ถ้าสามารถนำอากาศที่ระบายทิ้งจากอาคารมาที่เครื่องเติมอากาศได้ เครื่องเติมอากาศควรมีตัวเลือกในการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อดึงเอาความเย็นของอากาศในอาคารมาลดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายนอก

4.1.3.3 ค่าบำรุงรักษา (Maintenance cost)

การออกแบบต้องเลือกใช้อุปกรณ์ที่สามารถบำรุงรักษาได้ง่าย มีความคงทนไม่เสียหายหรือมีอะไหล่เปลี่ยนได้ในราคาที่ไม่สูง

4.1.4 ความน่าเชื่อถือของเครื่องเติมอากาศ (Reliability)

ในการออกแบบเครื่องเติมอากาศจะต้องมั่นใจว่าเครื่องจะสามารถทำงานได้ตามชั่วโมงการทำงานได้อย่างปกติ โดยไม่ขัดข้องจนถึงขั้นต้องหยุดการทำงาน เพราะเครื่องเติมอากาศมีเหตุขัดข้องจนถึงขั้นต้องหยุดการทำงาน จะทำให้ไม่มีอากาศภายนอกถูกนำเข้ามาระบายอากาศในอาคาร ทำให้ผู้ที่อยู่ในอาคารไม่สามารถอยู่ในอาคารต่อได้ เพราะจะขาดอากาศบริสุทธิ์สำหรับหายใจ ถ้าอาคารนั้นไม่มีระบบระบายอากาศอื่นทดแทน

4.1.5 ความยืดหยุ่นของเครื่องเติมอากาศ (Flexibility)

โดยทั่วไปแล้วอาคารหลายประเภทเช่น ห้างสรรพสินค้า จะมีการปรับปรุงอาคารให้ดูทันสมัยหรือเพื่อปฏิบัติตามกฎหมายที่ออกมาใหม่ ดังนั้นความยืดหยุ่นได้ของอุปกรณ์จะสามารถลดต้นทุนในการปรับปรุงได้ การออกแบบเครื่องเติมอากาศที่มีความยืดหยุ่นในอนาคตจึงเป็นสิ่งที่ควรพิจารณา เช่น สามารถรองรับกับภาระทำความเย็นที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ แต่ในการออกแบบนั้นไม่ควรเพิ่มอุปกรณ์สำหรับการยืดหยุ่นในอนาคตโดยเฉพาะ

4.1.6 ความยั่งยืน (Sustainability)

ในการออกแบบระบบปรับอากาศในอาคารในปัจจุบัน ความยั่งยืนของโครงการเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งสิ่งที่พิจารณาเป็นประเด็นหลักคือการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า รวมถึงการใช้สารเคมีที่ไม่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ดังนั้นในการออกแบบเครื่องเติมอากาศนี้ถ้าสามารถลดการใช้พลังงาน รวมถึงใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง ก็จะสามารถช่วยสร้างระบบที่ยั่งยืนได้

จากเกณฑ์ในการออกแบบเครื่องเติมอากาศภายนอกที่ได้กล่าวถึงข้างต้นนี้ สามารถสร้างตารางค่าถ่วงน้ำหนักของเกณฑ์การออกแบบคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เพื่อหาว่าเครื่องเติมอากาศรูปแบบใดมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานในกรุงเทพมหานครมากที่สุด โดยมีคะแนนตามตารางที่ 4.1

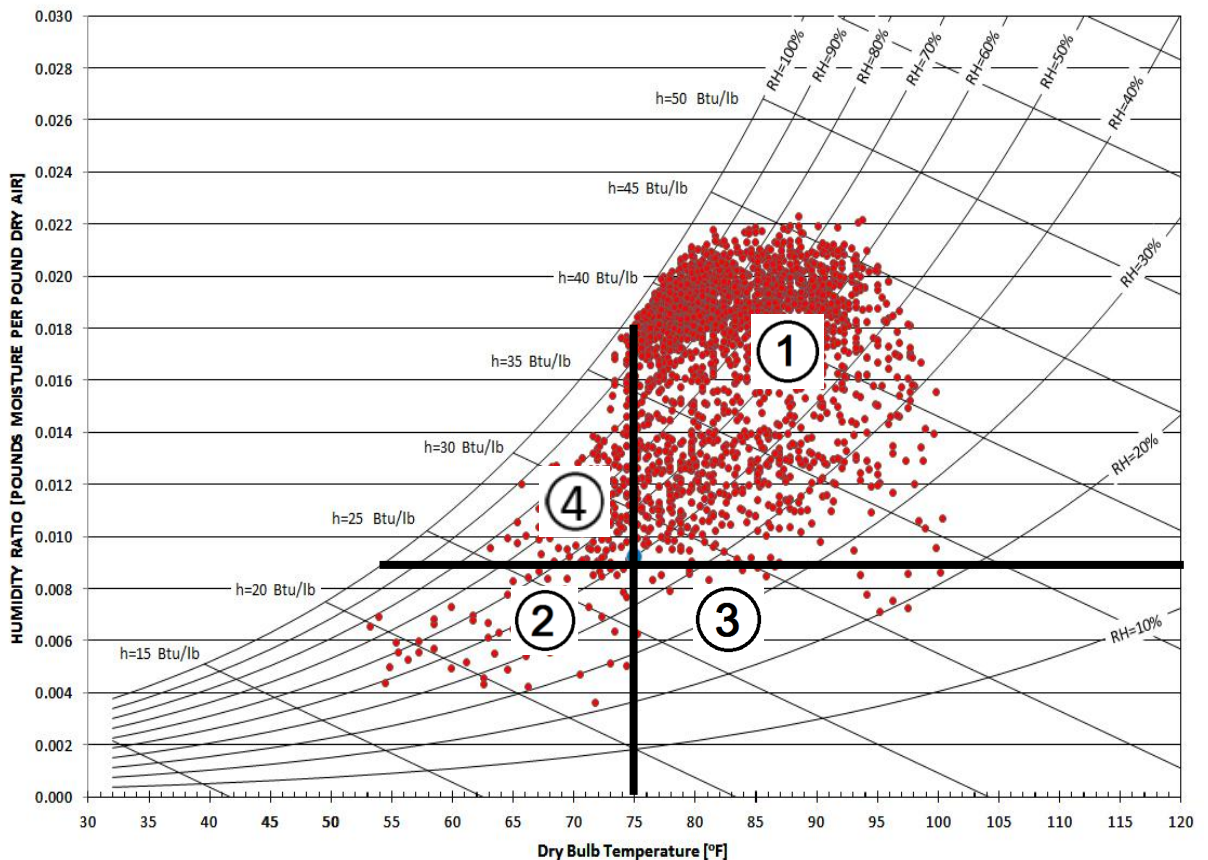
ตารางที่ 4.1 ตารางค่าถ่วงน้ำหนักของการออกแบบเครื่องเติมอากาศภายนอก

เกณฑ์การออกแบบ	ค่าถ่วงน้ำหนัก
ความต้องการด้านประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศ	20
ความต้องการขนาดทำความเย็นของเครื่องเติมอากาศ	20
ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของเครื่องเติมอากาศ	30
ความน่าเชื่อถือของเครื่องเติมอากาศ	10
ความยืดหยุ่นของเครื่องเติมอากาศ	10
ความยั่งยืนของเครื่องเติมอากาศ	10

4.2 การวิเคราะห์สภาพอากาศของกรุงเทพมหานคร

กรุงเทพมหานครตั้งอยู่บนละติจูด $13^{\circ} 45'$ เหนือ ลองจิจูด $100^{\circ} 31'$ ตะวันออก ซึ่งเป็นภูมิอากาศแบบร้อนชื้น โดยเมื่อเอาอุณหภูมิของอากาศในกรุงเทพมหานครที่บันทึกค่าทุกๆ 3 ชั่วโมงตลอด 365 วัน [ปี1999] มาใส่ในแผนภูมิไซโครเมตรจะได้ดังภาพที่ 4.1

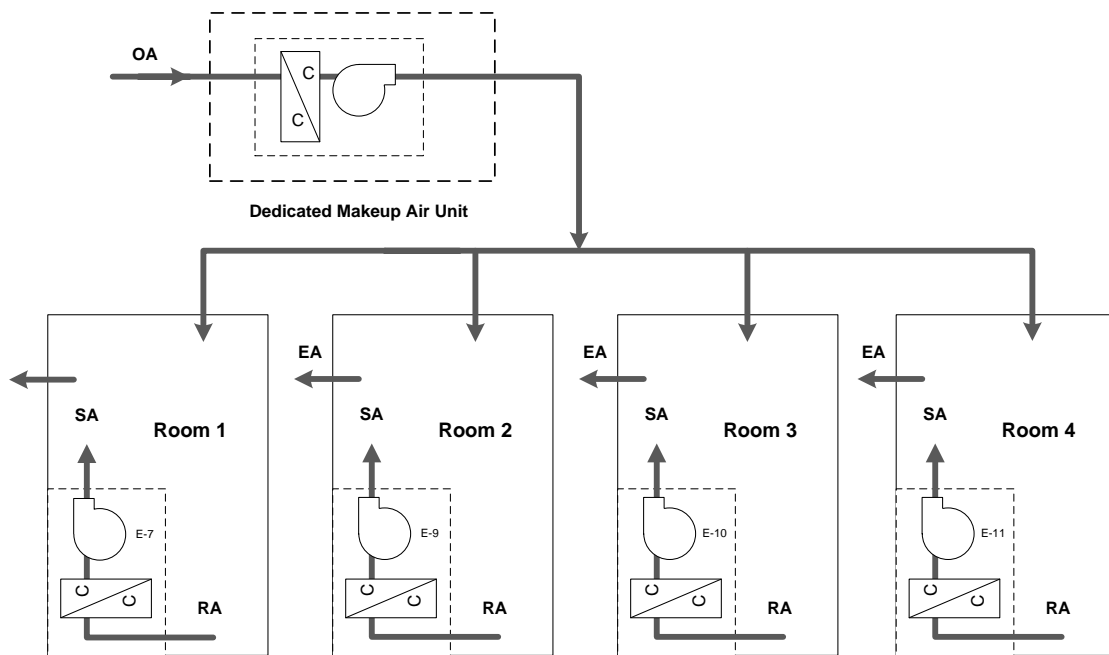
เมื่อพิจารณาจากระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องเติมอากาศชนิดอิสระ สำหรับพื้นที่ที่มีสภาวะออกแบบภายในโดยทั่วไปที่ $25^{\circ}\text{C DB } 50\% \text{RH}$ และถ้ามีการใช้เครื่องเติมอากาศอิสระเติมอากาศเข้าสู่พื้นที่โดยตรงที่อุณหภูมิลมจ่ายที่สภาวะออกแบบภายใน พบว่าสภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร จะสามารถแบ่งพื้นที่บนแผนภูมิไซโครเมตรได้ 4 พื้นที่โดยแบ่งตามกระบวนการปรับอากาศพื้นฐาน คือพื้นที่แรกการลดความชื้นและการทำความเย็น พื้นที่ที่สองการเพิ่มความร้อนและเพิ่มความชื้น พื้นที่ที่สามคือการทำทำความเย็นและเพิ่มความชื้น และสุดท้ายคือการทำทำความร้อนและลดความชื้น จะเห็นได้ชัดว่า กระบวนการส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นคือการทำทำความเย็นและลดความชื้น ดังนั้นอุปกรณ์หลักของเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระของกรุงเทพมหานคร คือ คอยล์เย็น



ภาพที่ 4.1 สภาพอากาศของกรุงเทพมหานครที่แบ่งตามกระบวนการปรับอากาศ

4.3 การออกแบบเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระสำหรับกรุงเทพมหานคร

เครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระสำหรับกรุงเทพมหานครในงานวิจัยนี้ ถูกออกแบบสำหรับอาคารตัวอย่าง 4 ประเภท ได้แก่ อาคารสำนักงาน ห้างสรรพสินค้า โรงแรม และโรงพยาบาล ระบบปรับอากาศของอาคารแต่ละประเภทจะมีการใช้เครื่องเติมอากาศในการจัดการกับความร้อนแฝงของอาคาร และมีเครื่องเป่าลมเย็นสำหรับจัดการกับความร้อนสัมผัสของอาคาร โดยอากาศภายนอกที่ออกจากเครื่องเติมอากาศนั้นจะผสมกับอากาศที่ออกจากเครื่องเป่าลมเย็นก่อนที่จะเข้าสู่พื้นที่ต่อไป รูปแบบของระบบแสดงดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ระบบปรับอากาศที่มีเครื่องเติมอากาศอิสระแยกกับเครื่องเป่าลมเย็น

4.3.1 การคำนวณขนาดเครื่องเติมอากาศภายนอก

ขนาดของเครื่องเติมอากาศภายนอกถูกกำหนดด้วยตัวแปรที่สำคัญ 3 ประการคือ สภาวะออกแบบภายนอก อัตราการระบายอากาศและอัตราส่วนความชื้นของอากาศที่ออกจากเครื่องเติมอากาศ ทั้ง 3 ตัวแปรสามารถหาได้จากขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.3.1.1 การเลือกสภาวะออกแบบภายนอก

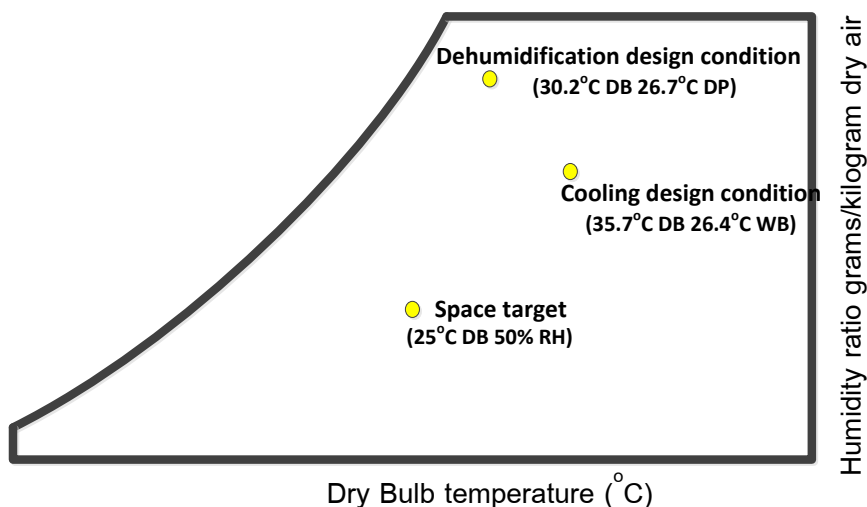
ในสภาวะอากาศแบบร้อนชื้นส่วนมาก ภาระความร้อนแฝงของการระบายอากาศจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งต่ำ และจุดน้ำค้างสูงกว่าสภาวะอากาศภายนอกที่มีความร้อนสัมผัสสูง ในการออกแบบเบื้องต้นจะใช้ค่าของสภาวะอากาศสูงสุดตาม ASHRAE (2005) ซึ่งในการออกแบบการปรับอากาศที่มีกระบวนการทำความเย็นและลดความชื้นจะพิจารณาค่าสภาวะออกแบบภายนอก 2 ค่าคือ

- อุณหภูมิกระเปาะแห้งออกแบบและค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิกระเปาะเปียก (เงื่อนไขการออกแบบการทำความเย็น)
- จุดน้ำค้างออกแบบและค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (เงื่อนไขการออกแบบการลดความชื้น)

ตารางที่ 4.2 สภาวะออกแบบภายนอกที่ 0.4% ของ ASHRAE สำหรับการทำความเย็นและลดความชื้นของกรุงเทพมหานคร

	สภาวะการออกแบบ	เอนทัลปี
สภาวะออกแบบสำหรับการทำความเย็น	35.7°C DB, 26.4°C WB	82.12 kJ/kg
สภาวะออกแบบสำหรับลดความชื้น	26.7°C DP, 30.2°C DB	87.58 kJ/kg

สภาวะออกแบบภายนอกสำหรับการทำความเย็นและลดความชื้นของกรุงเทพมหานครมีค่าดังตารางที่ 4.2 โดยเมื่อนำค่าไปใส่ในแผนภูมิไซโครเมตริกในภาพที่ 4.3 จะพบว่าค่าเอนทัลปีของอากาศภายนอกสูงสุดเกิดขึ้นที่ 30.2°C DB 26.7°C DP ดังนั้นจึงเลือกจุดนี้เป็นสภาวะออกแบบภายนอกเพราะว่า เครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระมีหน้าที่ในการลดความชื้นโดยตรง การเลือกใช้สภาวะออกแบบสำหรับการทำความเย็นในการออกแบบปกติทั่วไป จะทำให้เครื่องเติมอากาศภายนอกมีขนาดเล็กลงและไม่สามารถลดความชื้นในสภาวะอากาศอื่นได้อย่างเหมาะสม



ภาพที่ 4.3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิออกแบบภายนอก 0.4% ตามเงื่อนไขการออกแบบทำความเย็นในกรุงเทพฯ

4.3.1.2 การเลือกสภาวะออกแบบภายใน

ในการเลือกสภาวะออกแบบภายใน จะทำการออกแบบให้พื้นที่ที่มีสภาวะความสบายเชิงความร้อน และตาม ASHRAE (2007) จะแนะนำให้รักษาสภาพความชื้นภายในอาคารที่ต่ำกว่า 65%Rh เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในอาคาร ดังนั้นในที่นี้เลือกสภาวะออกแบบภายในที่ 25°C DB 50%RH ซึ่งจะมีค่าอัตราส่วนความชื้นที่ 9.9 g/kg

4.3.1.3 กำหนดค่าภาระความร้อนแฝงในพื้นที่

ภาระความร้อนแฝงในพื้นที่จะเกิดจากอัตราการหายใจของผู้คนที่อยู่ในพื้นที่ จากกระบวนการภายในพื้นที่และจากอากาศภายนอกอาคารที่รั่วเข้ามาในพื้นที่ ซึ่งในที่นี้จะคำนวณค่าสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ในแต่ละอาคาร ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เงื่อนไขการออกแบบเบื้องต้นของระบบ DOAS สำหรับอาคาร 4 ประเภท

คุณลักษณะของพื้นที่	สำนักงาน	ห้างสรรพสินค้า	โรงแรม	โรงพยาบาล
ภาระความร้อนแฝง (W)	106,314	420,788	79,050	172,177
อัตราการระบายอากาศ (m ³ /s)	15.31	30.55	10.92	20.93
อัตราส่วนความชื้นของอากาศที่ออกจากเครื่องเติมอากาศ (g/kg)	7.593	5.324	7.495	7.167

4.3.1.4 กำหนดปริมาณอากาศทั้งหมดที่เครื่องเติมอากาศภายนอกต้องเติมเข้าสู่อาคาร

ปริมาณอากาศภายนอกที่เติมเข้าสู่อาคารเพื่อการระบายอากาศคำนวณด้วยวิธีตาม ASHRAE (2007) อัตราการระบายอากาศของพื้นที่ที่มีการหายใจแสดงดังสมการที่ 4.1

$$V_{bz} = R_p \cdot P_z + R_a \cdot A_z \quad (4.1)$$

โดย

V_{bz} คือ อัตราการระบายอากาศ (m³/s)

A_z คือ พื้นที่ที่ทำการระบายอากาศ (m²)

P_z คือ จำนวนคนมากที่สุดในพื้นที่ (person)

R_p คือ อัตราการไหลของอากาศต่อจำนวนคน (m³/s.person)

R_a คือ อัตราการไหลของอากาศต่อพื้นที่ (m³/s.m²)

ตัวอย่างการคำนวณ

อัตราการระบายอากาศของอาคารสำนักงานตัวอย่างคือ

$$V_{bz} = R_p \cdot P_z + R_a \cdot A_z$$

$$V_{bz} = (0.00236 \times 2,774) + (0.0003 \times 29,200)$$

$$V_{bz} = 15.31$$

นั่นคืออัตราการระบายอากาศของอาคารสำนักงานตัวอย่างคือ 15.31 m³/s

สำหรับอัตราการระบายอากาศของอาคารต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.3

4.3.1.5 ค่ามวลอัตราส่วนความชื้นของอากาศที่ออกจากเครื่องเติมอากาศ

เนื่องจากเครื่องเติมอากาศภายนอกจะต้องนำอากาศภายนอกเข้าสู่พื้นที่ โดยไม่เพิ่มภาระความร้อนแฝงให้กับเครื่องปรับอากาศประจำแต่ละพื้นที่ ดังนั้นเครื่องเติมอากาศภายนอกต้องทำให้อากาศภายนอกแห้งที่สุดเพื่อมั่นใจว่าจะไม่เกินข้อจำกัดความชื้นในพื้นที่ ซึ่งสามารถคำนวณอัตราส่วนความชื้นได้จากสมการ 4.2 ตาม ASHRAE (2005)

$$w_{sa} = w_{sp} - \frac{\dot{Q}_{latent}}{3,010 \times V_{bz}} \quad (4.2)$$

โดย

\dot{Q}_{latent} คือ ความร้อนแฝงในพื้นที่ (W)

V_{bz} คือ อัตราการระบายอากาศ (m³/s)

w_{sa} คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศที่ออกจากเครื่องเติมอากาศ (g/kg)

w_{sp} คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศในพื้นที่ (g/kg)

ตัวอย่างการคำนวณ

การคำนวณอัตราส่วนความชื้นของอากาศที่ออกจากเครื่องเติมอากาศเพื่อมั่นใจว่าอาคารสำนักงานตัวอย่างจะมีความชื้นไม่เกินกำหนดที่ 9.9 g/kg สามารถคำนวณอัตราส่วนความชื้นของอากาศจากเครื่องเติมอากาศ คือ

$$w_{sa} = w_{sp} - \frac{\dot{Q}_{latent}}{3,010 \times V_{bz}}$$

$$w_{sa} = 9.9 - \frac{106,314}{3010 \times 15.31}$$

$$\therefore w_{sa} = 7.593$$

อัตราส่วนความชื้นของอากาศจากเครื่องเติมอากาศสำหรับอาคารสำนักงาน ตัวอย่าง คือ 7.953 g/kg

สำหรับอัตราส่วนความชื้นของอากาศจากเครื่องเติมอากาศสำหรับอาคาร ตัวอย่างอื่นๆ แสดงในตารางที่ 4.3

4.3.2 รูปแบบของเครื่องเติมอากาศภายนอก

รูปแบบต่างๆ ของเครื่องเติมอากาศที่ได้ออกแบบนั้น เกิดจากการจัดเรียงอุปกรณ์หลักในการลดความชื้นและทำความเย็นได้แต่คอยล์เย็นมาใช้ร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อการประหยัดพลังงาน ตามกระบวนการปรับอากาศเพื่อให้ได้ของสภาวะลมจ่ายตามที่ต้องการสามารถออกแบบได้ 9 รูปแบบดังนี้

ตารางที่ 4.4 สัญลักษณ์แทนอุปกรณ์ในการออกแบบ

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
CC	Cooling coil
HxCoil	Cooling coil with heat exchanger
EW	Enthalpy wheel
SW	Sensible heat exchanger
PDHC	Passive dehumidification component
ADesW	Active desiccant wheel

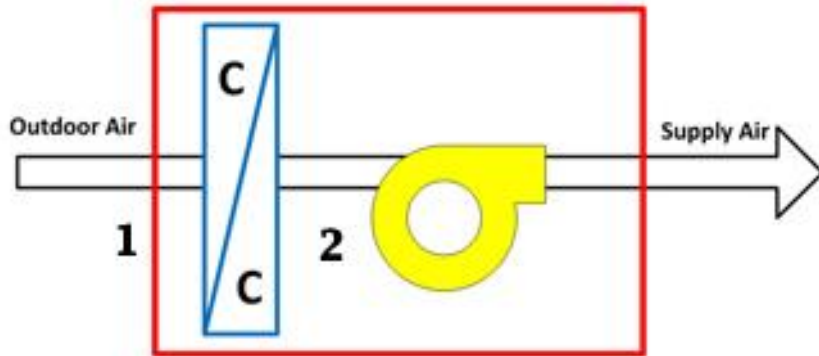
ตารางที่ 4.5 สัญลักษณ์แทนสถานะของอากาศในแผนภาพไซโครเมตรี

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
OA	Outdoor air
SA	Supply air from make-up air unit
AHU	Supply air for AHU
MA	Mixed air
RA	Return air
EA	Exhaust air

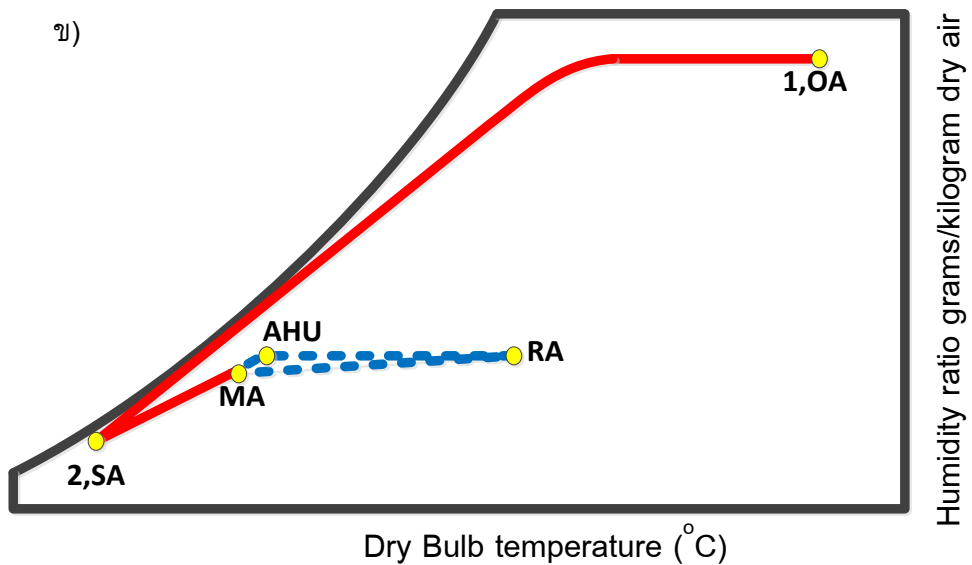
รูปแบบที่ 1 (CC)

เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้ใช้คอยล์เย็นเป็นองค์ประกอบเพียงอย่างเดียว เป็นรูปแบบเครื่องเติมอากาศที่ใช้กันอยู่ทั่วไป อากาศภายนอกที่ผ่านเข้าสู่เครื่องเติมอากาศนี้จะถูกทำให้เย็นและแห้งจนได้สภาวะตามที่ต้องการ เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้จะมีการจัดเรียงและกระบวนการในแผนภาพไซโครเมตริกดังแสดงในภาพที่ 4.4

ก)



ข)



— Make-up Air unit process - - - Zone AHU process

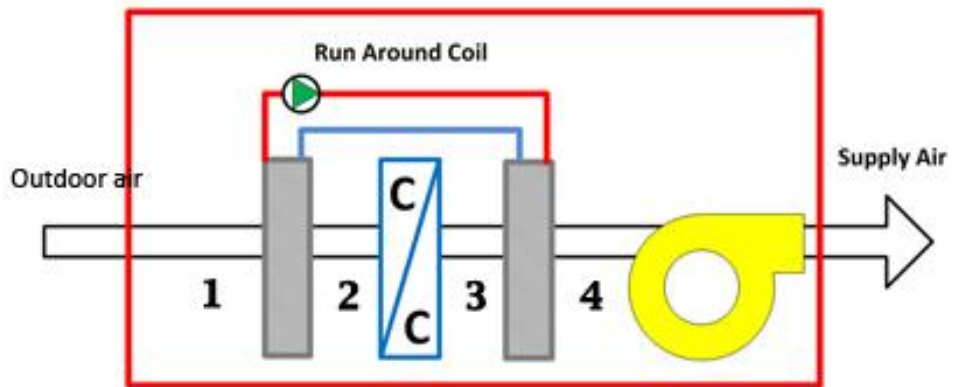
	1,OA	2,SA	MA	AHU	RA
DBT, °C	35.7	10	15.4	16	25
W, g/kg	18.5	7.6	9.6	9.9	9.9

ภาพที่ 4.4 เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 (CC) ก) การจัดเรียง ข) กระบวนการในแผนภาพไซโครเมตริก

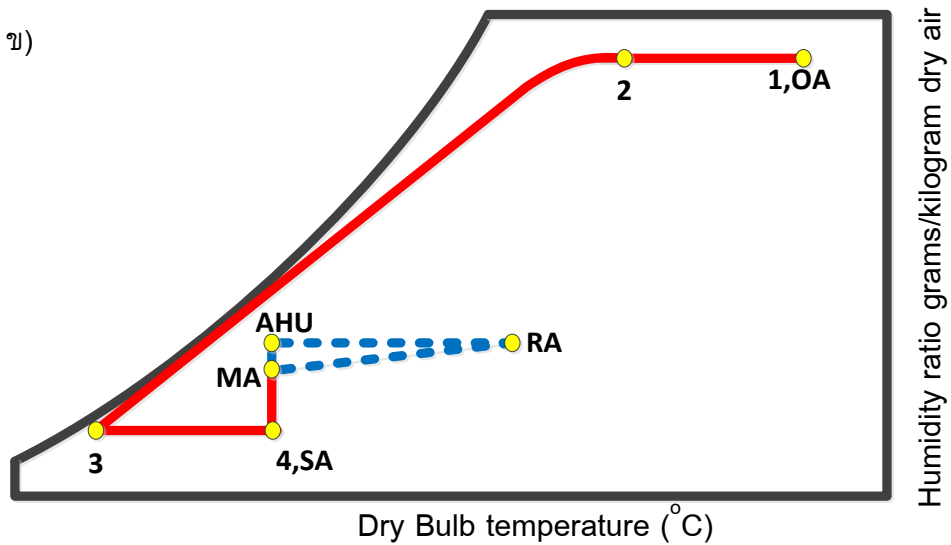
รูปแบบที่ 2 (HxCoil)

เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้มีการใช้ระนาวด์คอยล์หรือฮีตไปป์รวมเข้าไปกับคอยล์เย็น อากาศภายนอกจะถูกทำให้เย็นลงด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัสก่อนที่จะเข้าคอยล์เย็น จากนั้นจะให้ความร้อนซ้ำกับอากาศหลังจากออกจากคอยล์เย็น เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้จะมีขนาดของคอยล์เย็นเล็กกว่ารูปแบบที่ 1 แต่จะมีอุณหภูมิของลมจ่ายที่ออกมาสูงกว่า เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้มีการจัดเรียงและกระบวนการในแผนภาพไซโครเมตริกดังแสดงในภาพที่ 4.5

ก)



ข)



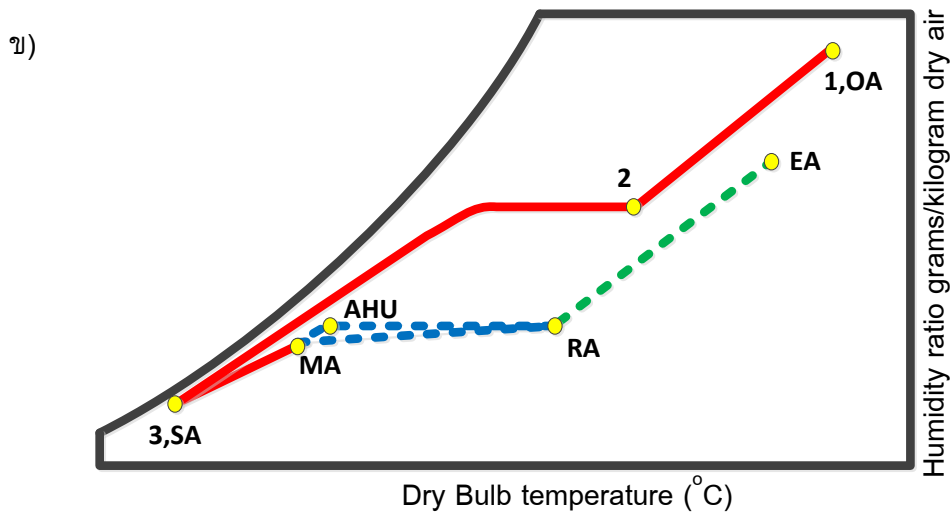
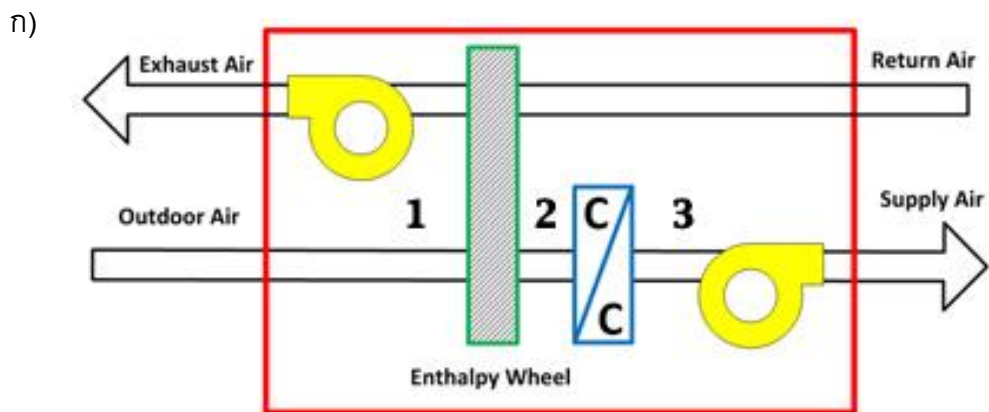
— Make-up Air unit process - - - Zone AHU process

	1,OA	2	3	4,SA	MA	AHU	RA
DBT,°C	35.7	29.7	10	16	16.4	16.5	25
W, g/kg	18.5	18.5	7.6	7.6	9.6	9.9	9.9

ภาพที่ 4.5 เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 (HxCoil) ก) การจัดเรียง ข) กระบวนการในแผนภาพไซโครเมตริก

รูปแบบที่ 3 (EW+CC)

เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้นำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบหมุนชนิดที่ 2 ที่มีประสิทธิภาพตามภาพที่ 3.6 หรือเรียกอีกอย่างว่า วงล้อเอนทัลปี (EW) มาใช้ร่วมกับคอยล์เย็น โดยวงล้อเอนทัลปีจะนำอากาศที่ระบายทิ้งออกจากอาคารซึ่งยังคงมีอุณหภูมิและความชื้นที่ต่ำมาแลกเปลี่ยนพลังงานกับกระแสอากาศภายนอกก่อนที่จะเข้าคอยล์เย็นส่งผลให้คอยล์เย็นมีขนาดที่เล็กลง เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้มีการจัดเรียงและกระบวนการในแผนภาพไซโครเมตริกดังแสดงในภาพที่ 4.6



— Make-up Air unit process - - - Zone AHU process

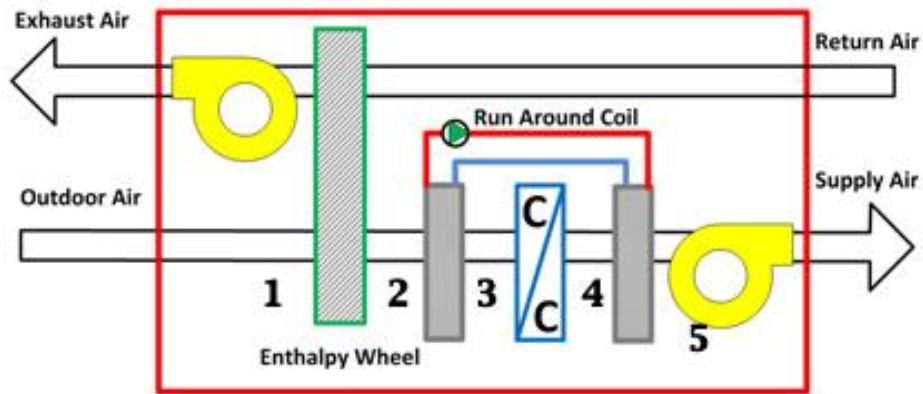
	1,OA	2	3,SA	MA	AHU	RA	EA
DBT, °C	35.7	27.8	10	15.4	16.5	25	33
W, g/kg	18.5	13.1	7.6	9.8	9.9	9.9	15.7

ภาพที่ 4.6 เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 3 (EW+CC) ก) การจัดเรียง ข) กระบวนการในแผนภาพไซโครเมตริก

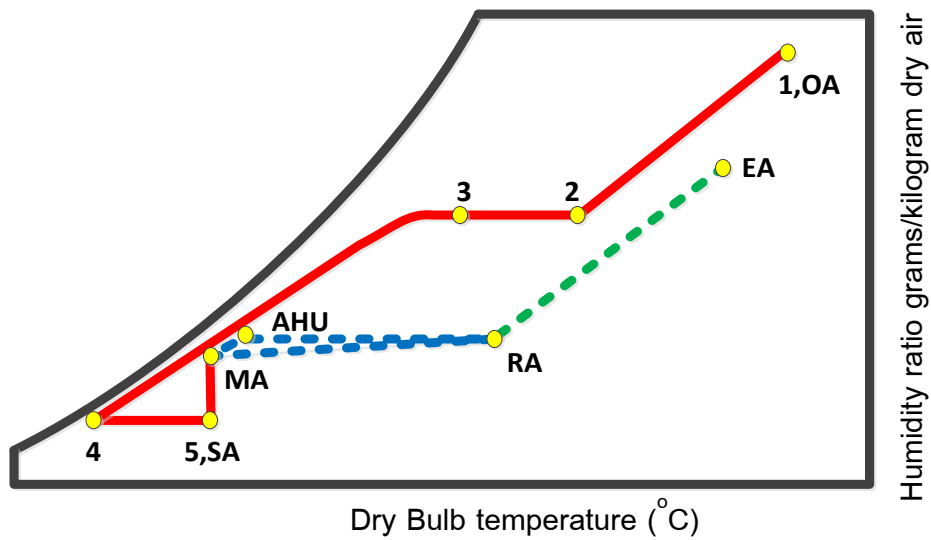
รูปแบบที่ 4 (EW+HxCoil)

เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้เป็นการรวมการองค์ประกอบของเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 และรูปแบบที่ 3 เข้าด้วยกัน กล่าวคือ มีการใช้วงล้อเอนทัลปีมาลดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายนอก จากนั้นจะถูกทำให้เย็นลงด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัสก่อนที่จะเข้าสู่คอยล์เย็นต่อไป เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้มีการจัดเรียงและกระบวนการในแผนภาพไซโครเมตริกดังแสดงในภาพที่ 4.7

ก)



ข)



— Make-up Air unit process - - - Zone AHU process

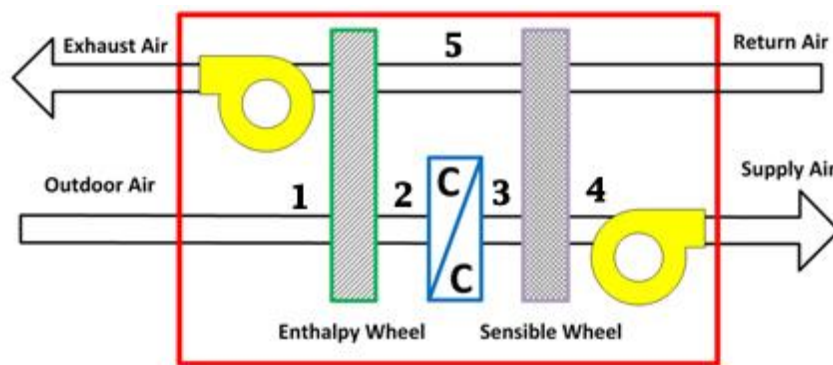
	1,OA	2	3	4	5,SA	MA	AHU	RA	EA
DBT, °C	35.7	27.8	23.6	10	14.2	15.4	15.6	25	33
W, g/kg	18.5	13.1	13.1	7.6	7.6	9.8	10	10	15.7

ภาพที่ 4.7 เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 4 (EW+HxCoil) ก) การจัดเรียง ข) กระบวนการในแผนภาพไซโครเมตริก

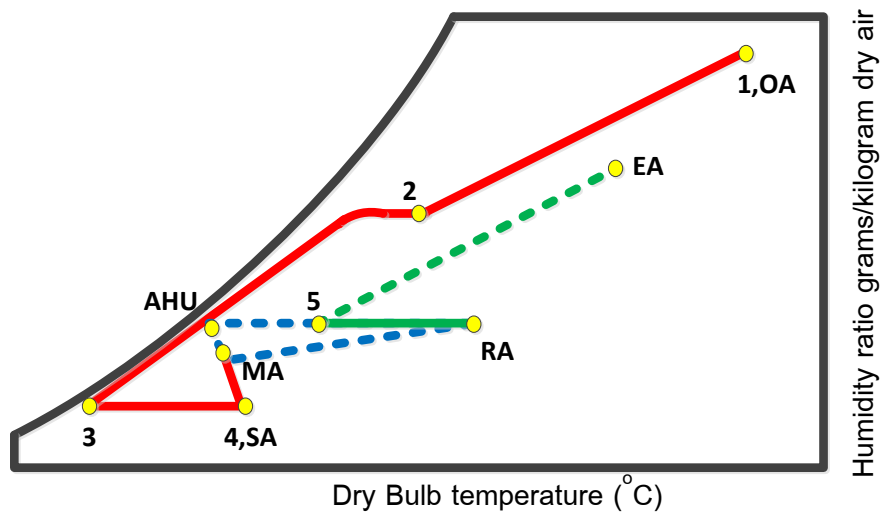
รูปแบบที่ 5 (EW+CC+SW)

เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้เป็นการนำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัส มาใช้ร่วมกับเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 3 โดยจะนำความอากาศที่ระบายออกจากอาคารมาช่วยเพิ่มอุณหภูมิของลมจ่ายจากเครื่องเติมอากาศ ในกรณีที่ภาวะความร้อนสัมผัสของพื้นที่มีค่าลดลงเพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของห้องต่ำเกินไป นอกจากนี้จะทำให้อุณหภูมิของอากาศก่อนที่จะเข้าวงล้อเอนทัลปีต่ำลงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนพลังงานสูงขึ้น เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้มีการจัดเรียงและกระบวนการในแผนภาพไซโครเมตริกดังแสดงในภาพที่ 4.8

ก)



ข)



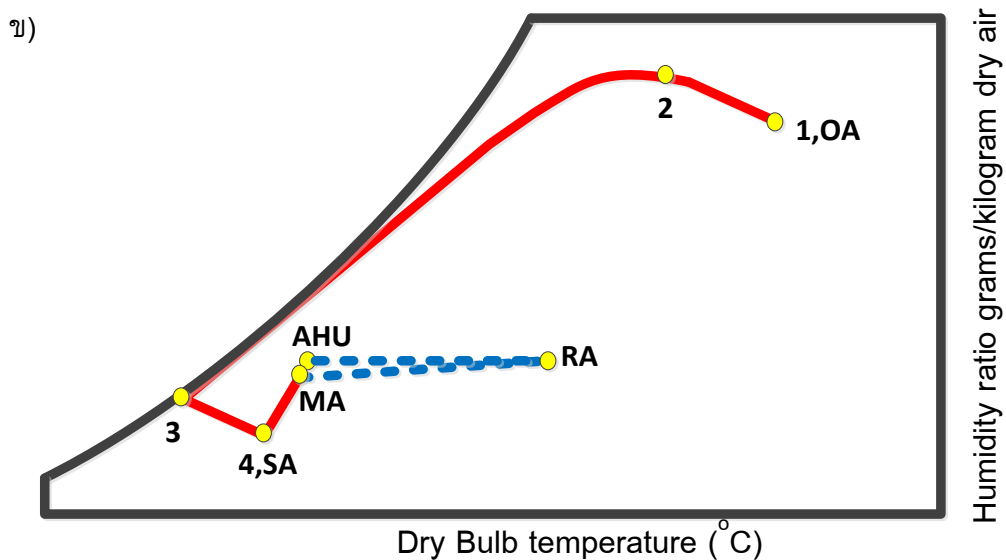
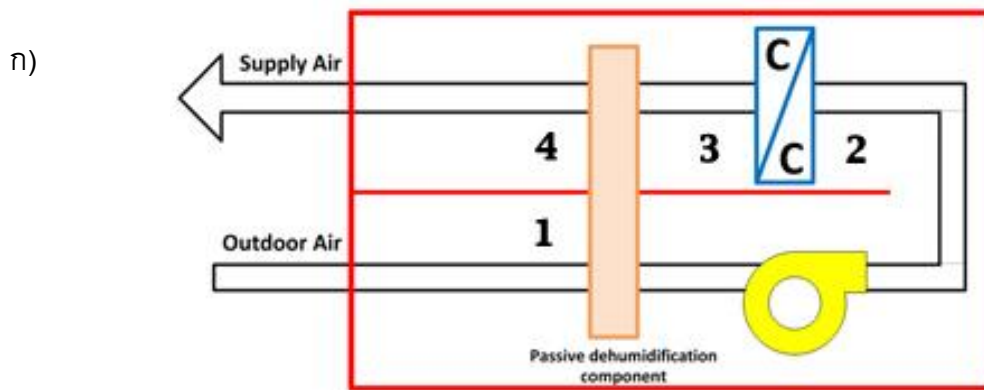
— Make-up Air unit process - - - Zone AHU process

	1,OA	2	3	4,SA	MA	AHU	RA	EA
DBT, °C	35.7	23.6	10	15.7	15.2	15	25	31.6
W, g/kg	18.5	13.3	7.6	7.6	9.8	10	10	15.9

ภาพที่ 4.8 เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 5 (EW+CC+SW) ก) การจัดเรียง ข) กระบวนการในแผนภาพไซโครเมตริก

รูปแบบที่ 6 (CC+PDHC)

เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้เป็นการวางเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบหมุนชนิดที่ 3 (PDHC) ที่มีประสิทธิภาพตามภาพที่ 3.6 มาใช้ร่วมกับคอยล์เย็น วงล้อดูดความชื้นชนิดนี้ จะมีความสามารถในการดูดซึมความชื้นสูง เมื่ออากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ใกล้ 100% คอยล์เย็นในเครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้จะมีลมจ่ายออกจากคอยล์เย็นในอุณหภูมิ น้ำค้างที่สูงขึ้น เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้มีการจัดเรียงและกระบวนการในแผนภาพไซโครเมตริกดังแสดงในภาพที่ 4.9



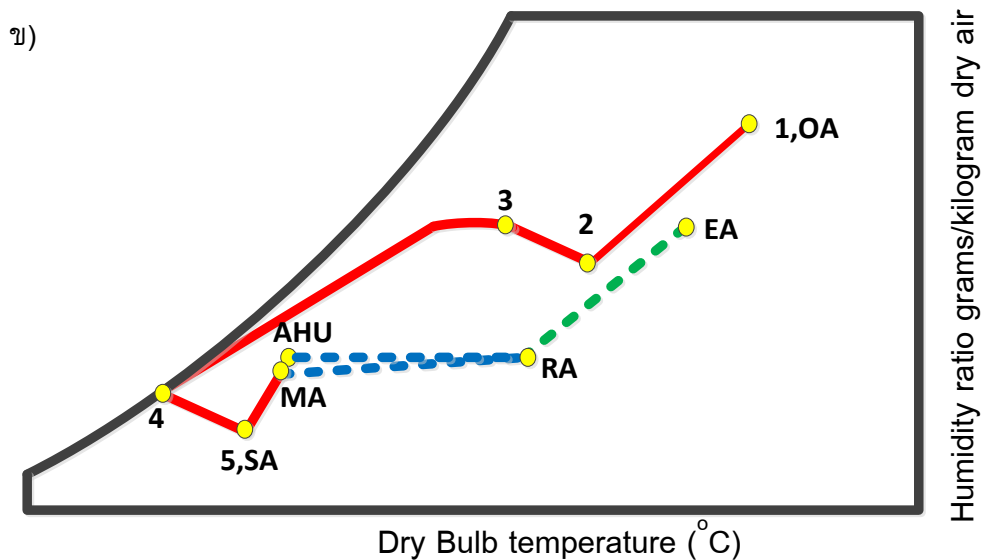
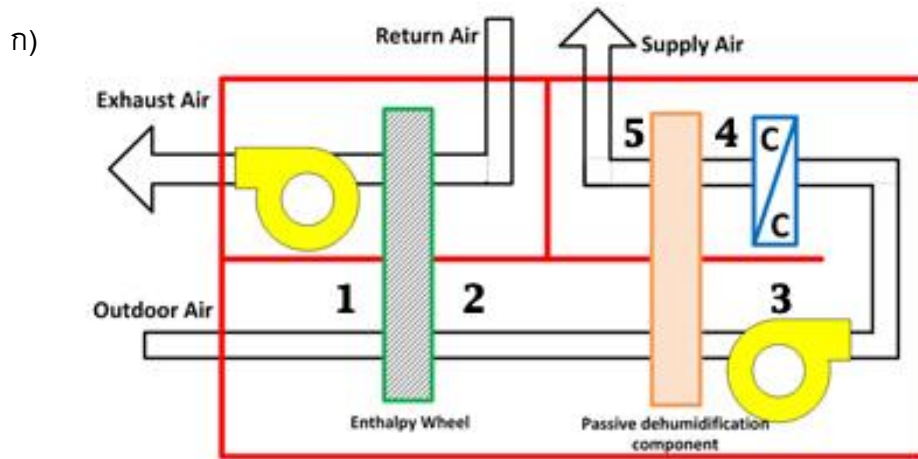
— Make-up Air unit process - - - Zone AHU process

	1,OA	2	3	4,SA	MA	AHU	RA
DBT, °C	35.7	31.9	11.5	15.5	16.2	16.4	25
W, g/kg	18.5	19.6	8.4	7.6	9.5	9.9	9.9

ภาพที่ 4.9 เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 6 (CC+PDHC) ก) การจัดเรียง ข) กระบวนการในแผนภาพไซโครเมตริก

รูปแบบที่ 7 (EW+PDHC+CC)

เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้เป็นการรวมเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 3 และรูปแบบที่ 6 เข้าด้วยกัน โดยวงล้อเอนทัลปีจะช่วยลดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายนอกก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการในเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 6 ต่อไป เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้มีการจัดเรียงและกระบวนการในแผนภาพไซโครเมตรี ดังแสดงในภาพที่ 4.10 Mumma (2007)



— Make-up Air unit process - - - Zone AHU process

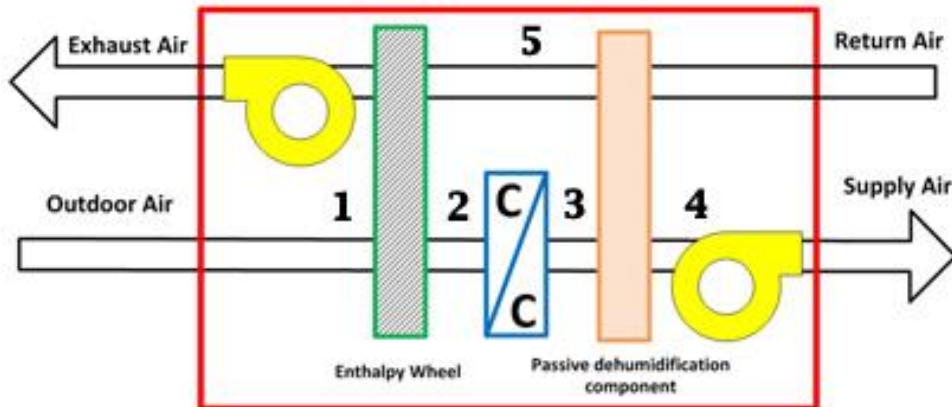
	1,OA	2	3	4	5,SA	MA	AHU	RA	EA
DBT, °C	35.7	27.8	23.8	11.5	15.5	16.2	16.4	25	33
W, g/kg	18.5	13.1	13.9	8.4	7.6	9.5	9.9	9.9	15.7

ภาพที่ 4.10 เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 7 (EW+PDHC+CC) ก) การจัดเรียง ข) กระบวนการในแผนภาพไซโครเมตรี

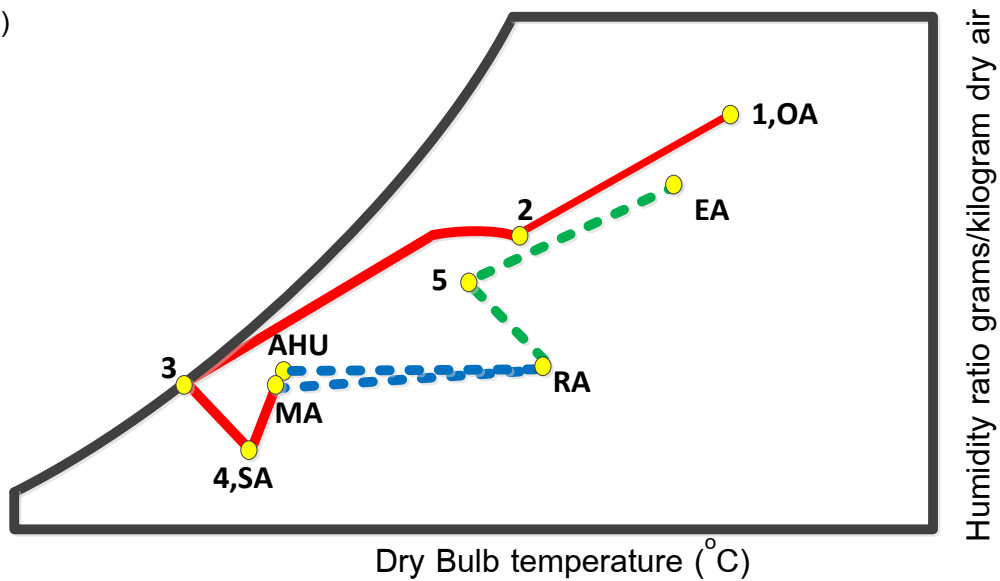
รูปแบบที่ 8 (EW+CC+PDHC)

เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้เป็นการนำเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 7 มาเรียงอุปกรณ์ใหม่ โดยจะมีผลให้ลมจ่ายมีอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่สูงขึ้น ทำให้เครื่องเป่าลมเย็นในพื้นที่ที่มีภาระทำความเย็นที่เพิ่มขึ้น เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้มีการจัดเรียงและกระบวนการในแผนภาพไซโครเมตริกดังแสดงในภาพที่ 4.11

ก)



ข)



— Make-up Air unit process - - - Zone AHU process

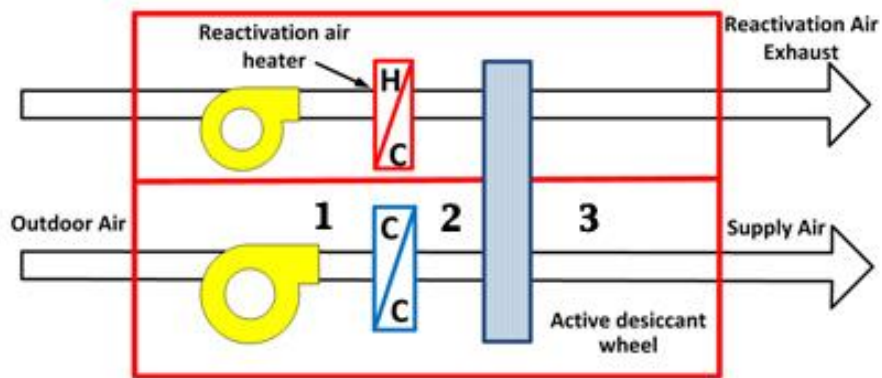
	1,OA	2	3	4,SA	MA	AHU	RA	5	EA
DBT,°C	35.7	25.3	12	15.5	15.6	15.8	25	21.6	32.2
W, g/kg	18.5	13.6	8.7	7.6	9.8	10	10	12	16.3

ภาพที่ 4.11 เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 8 (EW+CC+PDHC) ก) การจัดเรียง ข) กระบวนการในแผนภาพไซโครเมตริก

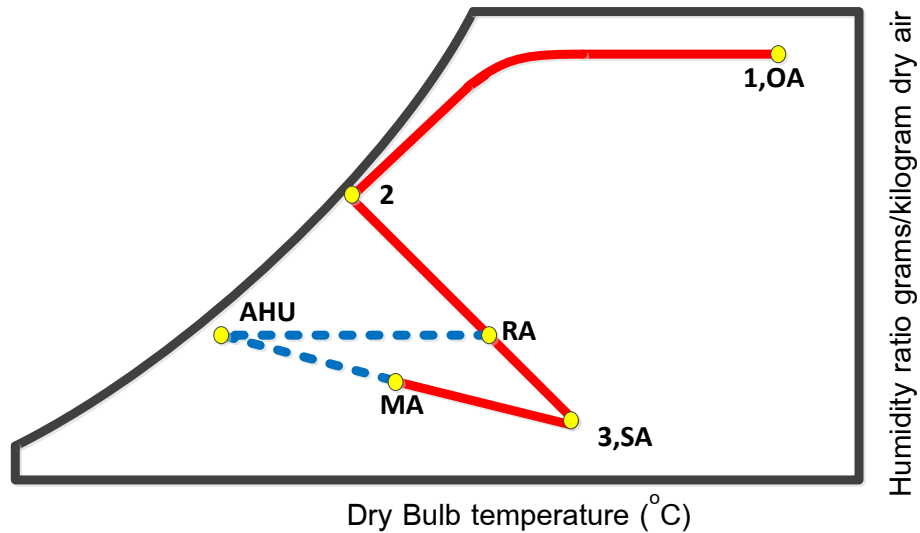
รูปแบบที่ 9 (CC+ADesW)

เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้เป็นการนำวงล้อดูดความชื้นแบบแอคทีฟมาใช้ร่วมกับคอยล์เย็น อากาศจากภายนอกจะถูกทำให้เย็นและมีความชื้นต่ำลงด้วยคอยล์เย็นก่อนที่เข้าสู่วงล้อดูดความชื้นแบบแอคทีฟ ที่ใช้อากาศที่มีอุณหภูมิสูงและความชื้นต่ำมาแลกเปลี่ยนกับอากาศที่ออกมาจากคอยล์เย็น จนได้สถานะของลมจ่ายจากเครื่องเติมอากาศตามที่ออกแบบไว้ จะพบว่ามีอุณหภูมิกระเปาะแห้งสูงกว่าอุณหภูมิห้อง ทำให้เครื่องเป่าลมเย็นในพื้นที่ที่มีภาระทำความเย็นที่เพิ่มขึ้น เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้มีการจัดเรียงและกระบวนการในแผนภาพไซโครเมตริกดังแสดงในภาพที่ 4.12

ก)



ข)



— Make-up Air unit process - - - Zone AHU process

	1,OA	2	3,SA	MA	AHU	RA
DBT, °C	35.7	17.5	32.6	24.3	14.5	25
W, g/kg	18.5	12.4	7.6	8.6	9.9	9.9

ภาพที่ 4.12 เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 9 (CC+ADesW) ก) การจัดเรียง ข) กระบวนการในแผนภาพไซโครเมตริก

4.4 การจำลองการระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องเติมอากาศที่ออกแบบไว้กับอาคาร ตัวอย่าง

เครื่องเติมอากาศที่ถูกออกแบบไว้ในหัวข้อ จะถูกนำมาจำลองระบบการทำงานร่วมกับอาคารตัวอย่างประเภทต่างๆ 4 ประเภท ได้แก่ อาคารสำนักงาน ห้างสรรพสินค้า โรงแรม และโรงพยาบาล ด้วยโปรแกรมจำลองการใช้พลังงาน EnergyPlus ที่ใช้ข้อมูลสภาพอากาศของกรุงเทพมหานครตลอด 1 ปี เพื่อหาค่าการใช้พลังงานรวมถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยข้อมูลในการออกแบบจะปฏิบัติตามมาตรฐาน ASHRAE (2010) รวมถึงคำแนะนำใน ASHRAE (2003) โดยแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก

4.4.1 รูปแบบจำลองของอาคารสำนักงาน

แบบจำลองอาคารสำนักงานที่ใช้ได้รูปแบบมาจากอาคารสำนักงานทั่วไปที่มีตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานครชั้นล่างของอาคารเป็นส่วนติดต่อกับอาคาร ในอาคารหลายๆแห่งจะมีร้านค้าหรือร้านอาหารตั้งอยู่ ชั้นอื่นๆ จะเป็นชั้นที่เหลือจะเป็นที่ตั้งของสำนักงานต่างๆ แบบจำลองที่ใช้จึงเป็นอาคารสูง 20 ชั้น มีความกว้าง 30 เมตร ยาว 50 เมตร สูงชั้นละ 3 เมตร ยกเว้นชั้นล่างสุดจะมีความสูง 9 เมตร ตัวอาคารมีโครงสร้างและติดตั้งกระจกดังภาพที่ 4.13 แบบจำลองโครงสร้างอาคารสำนักงานโดยวัสดุที่ใช้ทำกรอบอาคารจะแสดงในตารางที่ 4.6

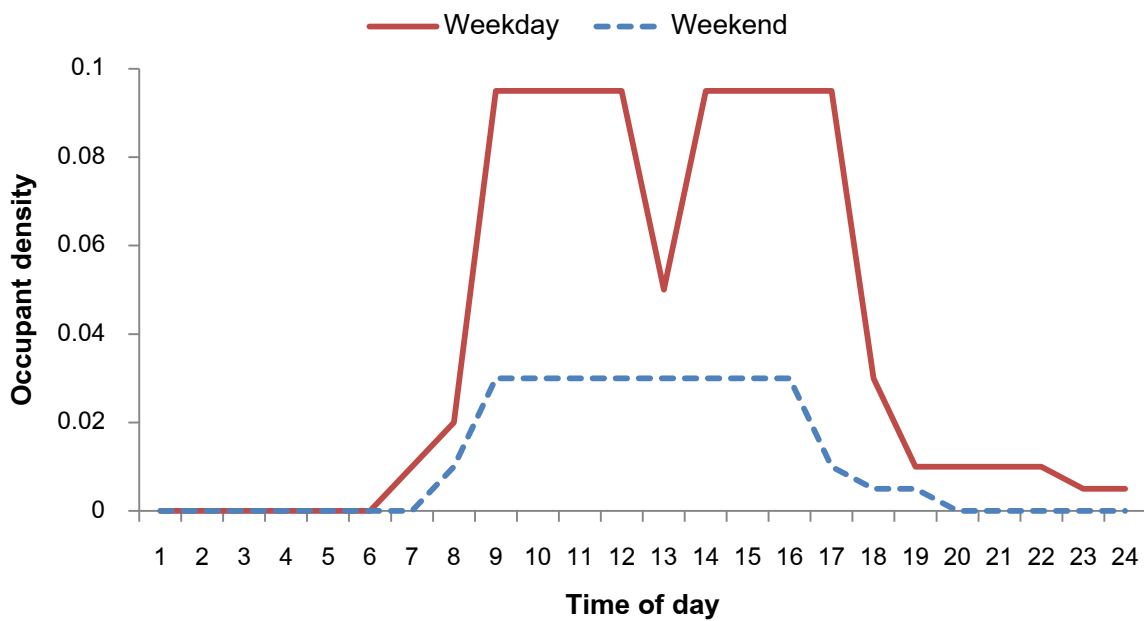


ภาพที่ 4.13 แบบจำลองโครงสร้างอาคารสำนักงาน

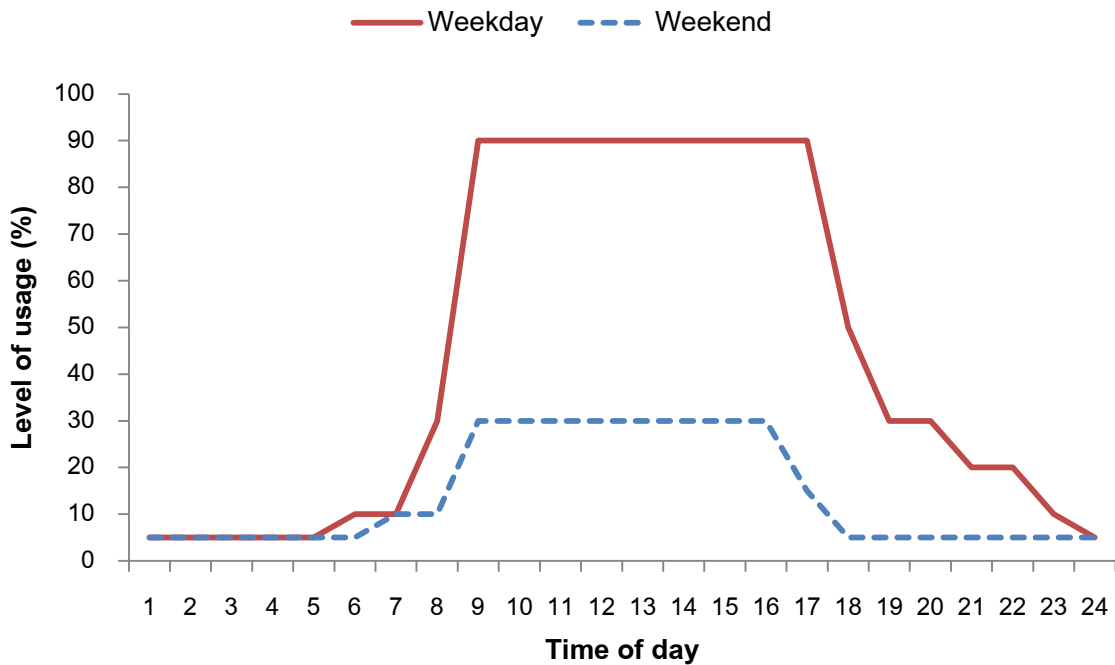
การใช้งานของอาคารจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือวันจันทร์-ศุกร์หรือวันทำงาน และวันเสาร์ อาทิตย์และวันหยุด โดยระดับความหนาแน่นของผู้ใช้งาน ระดับการใช้แสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าของอาคารจะเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาในแต่ละวันดังแสดงในภาพที่ 4.14 - ภาพที่ 4.16 โดยการใช้งานของอาคารประเภทสำนักงานจะมีระดับค่อนข้างคงที่และเป็นเวลาที่แน่นอน ภาระความร้อนที่มาจากทั้งสามปัจจัยจะมีค่าตามการออกแบบที่แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองของอาคารประเภทต่างๆ

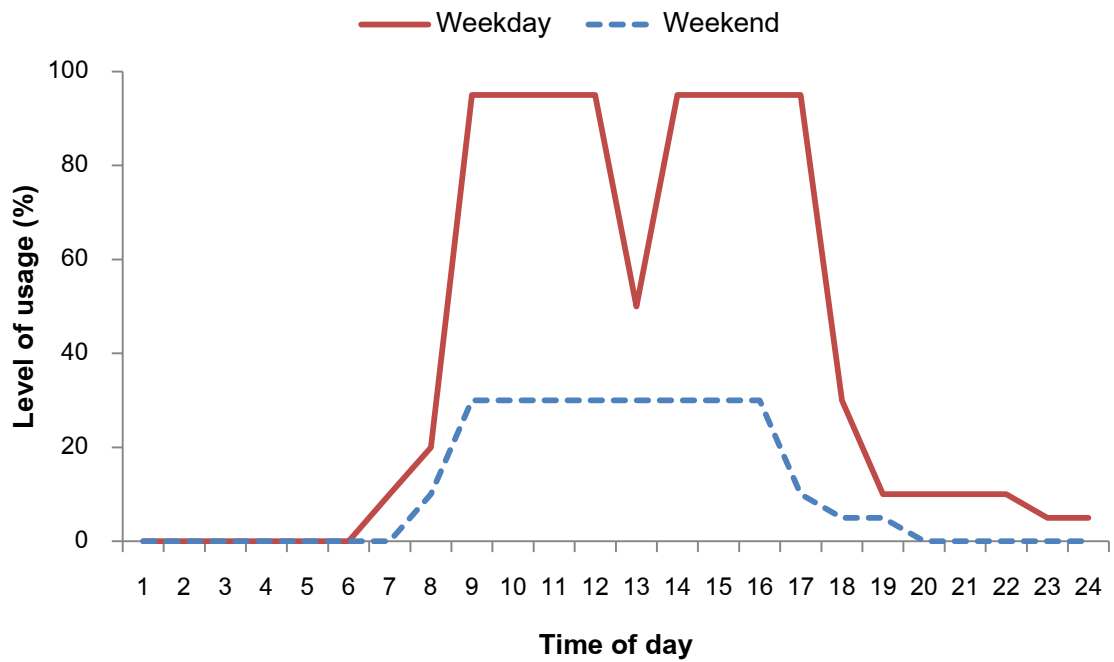
พารามิเตอร์ในการจำลองอาคาร	สำนักงาน	ห้างสรรพ- สินค้า	โรงแรม	โรงพยาบาล
กรอบอาคาร*				
หลังคา	R-15 c.i.	R-15 c.i.	R-20 c.i.	R-25 c.i.
ผนัง	R-5.7 c.i.	R-5.7 c.i.	R-5.7 c.i.	R-5.7 c.i.
พื้น	R-4.2 c.i.	R-4.2 c.i.	R-4.2 c.i.	R-4.2 c.i.
กระจก				
-อัตราส่วนกระจกต่อผนัง(WWR)	40%	20%	25%	40%
-ค่าส่งผ่านความร้อน	U-0.56	U-0.69	U-0.56	U-0.43
-ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนที่ได้จากแสงอาทิตย์ (SHGC)	0.35	0.44	0.25	0.35
การระบายอากาศ				
อัตราการไหลของอากาศต่อจำนวนคน (m ³ /s.person)	0.00236	0.00354	0.00236	0.00236
อัตราการไหลของอากาศต่อพื้นที่ (m ³ /s.m ²)	0.0003	0.0003	0.0003	0.0009
ภาวะภายในอาคาร				
คนในพื้นที่				
ความหนาแน่นของคนในพื้นที่ (person/100 m ²)	10	40	10	25
ภาวะความร้อนทั้งหมดต่อคน (W)	140	160	130	130
ภาวะความร้อนสัมผัสต่อคน (W)	75	75	70	70
แสงไฟ				
กำลังไฟฟ้าของแสงไฟต่อพื้นที่ (W/m ²)	9.7	8.6	14	11
เครื่องใช้ไฟฟ้า				
กำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ (W/m ²)	11	14	7.5	11



ภาพที่ 4.14 ระดับความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารสำนักงานเทียบตามเวลา



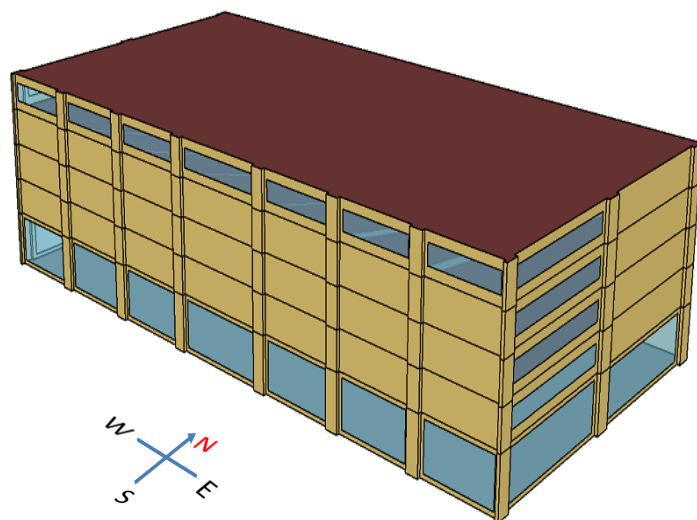
ภาพที่ 4.15 ระดับการใช้ไฟส่องสว่างของอาคารสำนักงานเทียบตามเวลา



ภาพที่ 4.16 ระดับการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าของอาคารสำนักงานเทียบตามเวลา

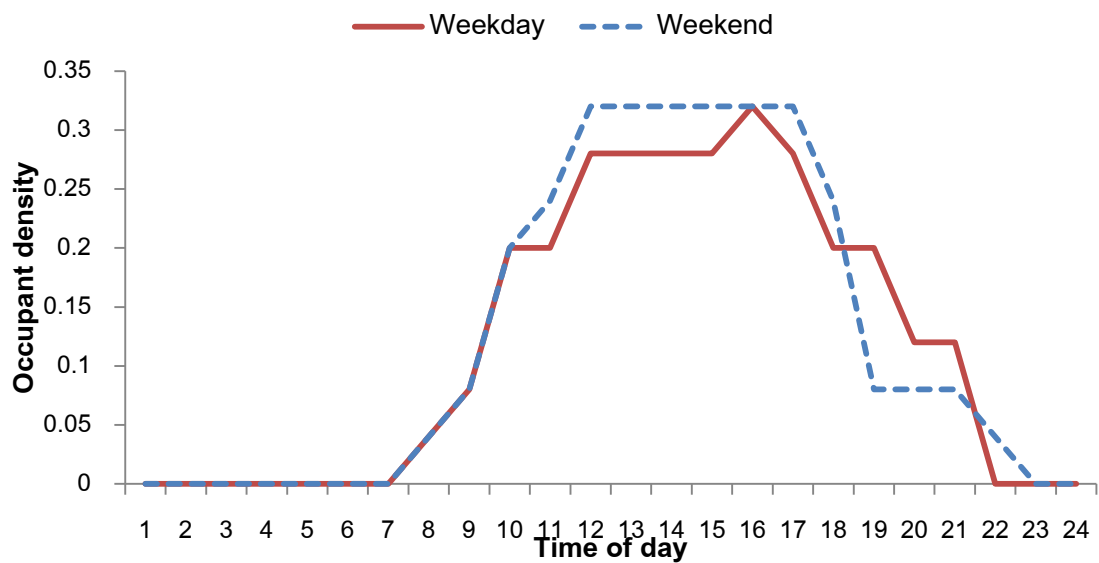
4.4.2 รูปแบบจำลองของห้างสรรพสินค้า

แบบจำลองห้างสรรพสินค้าที่ใช้ได้เป็นอาคารสูง 5 ชั้น มีความกว้าง 100 เมตร ยาว 50 เมตร สูงชั้นละ 4 เมตร ยกเว้นชั้น 1 สูง 6 เมตรโดยเป็นชั้นที่มีกระจกเป็นส่วนมากเพราะเป็นชั้นแสดงสินค้าให้คนภายนอกเห็น ส่วนชั้นบนสุดจะติดตั้งกระจกเพื่อให้คนในอาคารได้เห็นวิวด้านนอก ตัวอาคารมีโครงสร้างและติดตั้งกระจกดังภาพที่ 4.17 โดยวัสดุที่ใช้ทำกรอบอาคารแสดงในตารางที่ 4.6

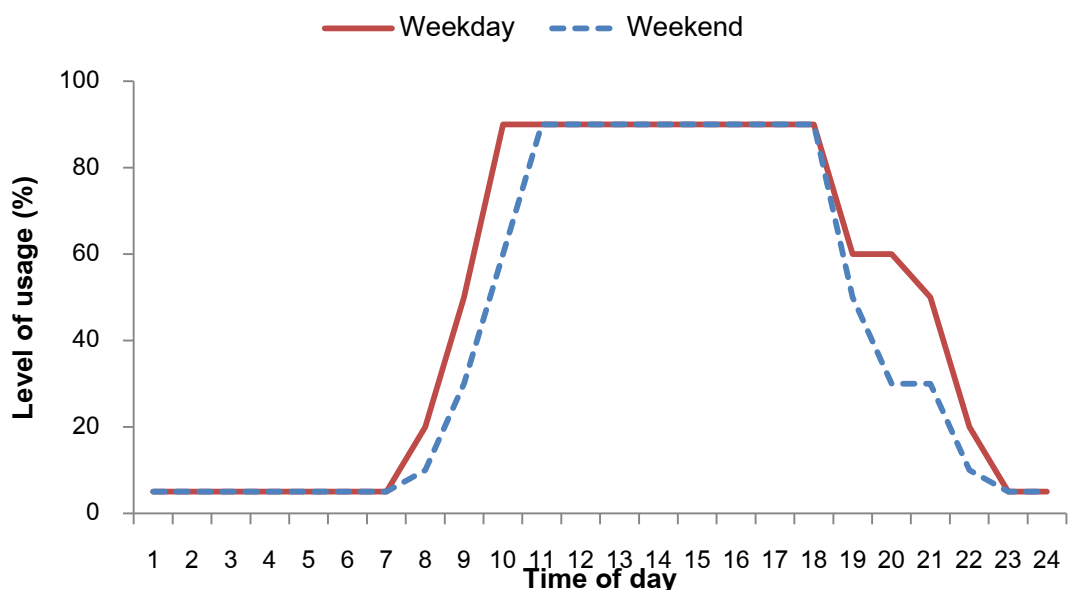


ภาพที่ 4.17 แบบจำลองโครงสร้างห้างสรรพสินค้า

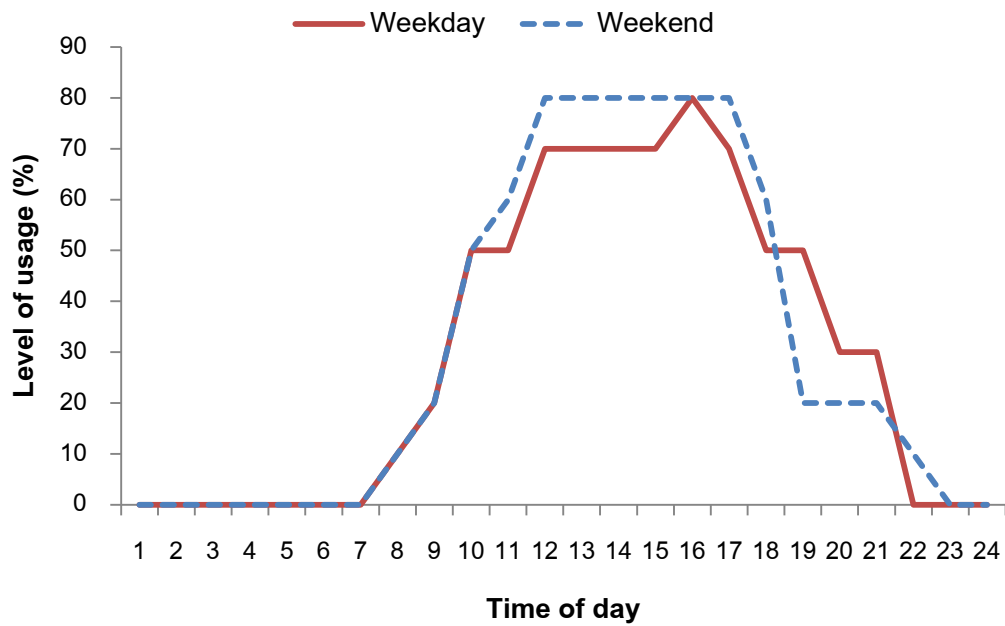
การใช้งานของอาคารจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือวันจันทร์-ศุกร์หรือวันทำงาน และวันเสาร์ อาทิตย์และวันหยุด โดยระดับความหนาแน่นของผู้ใช้งาน ระดับการใช้แสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าของอาคารจะเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาในแต่ละวันภาพที่ 4.18 - ภาพที่ 4.20 โดยการใช้งานของอาคารประเภทห้างสรรพสินค้าจะมีระดับค่อนข้างหนาแน่นในช่วงเย็นในวันทำงาน และหนาแน่นตลอดวันในวันหยุด ภาวะความร้อนที่มาจากทั้งสามปัจจัยจะมีค่าตามการออกแบบที่แสดงในตารางที่ 4.6



ภาพที่ 4.18 ระดับความหนาแน่นของผู้ใช้ห้างสรรพสินค้าเทียบตามเวลา



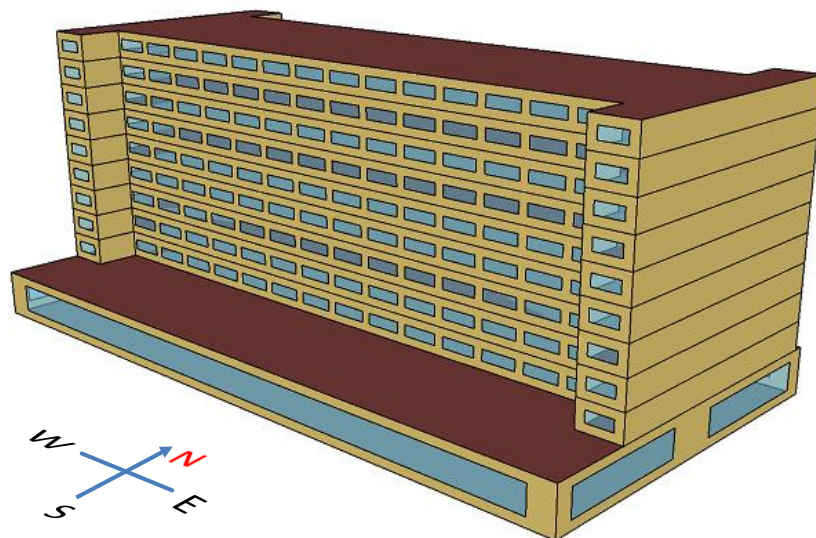
ภาพที่ 4.19 ระดับการใช้ไฟส่องสว่างของห้างสรรพสินค้าเทียบตามเวลา



ภาพที่ 4.20 ระดับการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าของห้างสรรพสินค้าเทียบตามเวลา

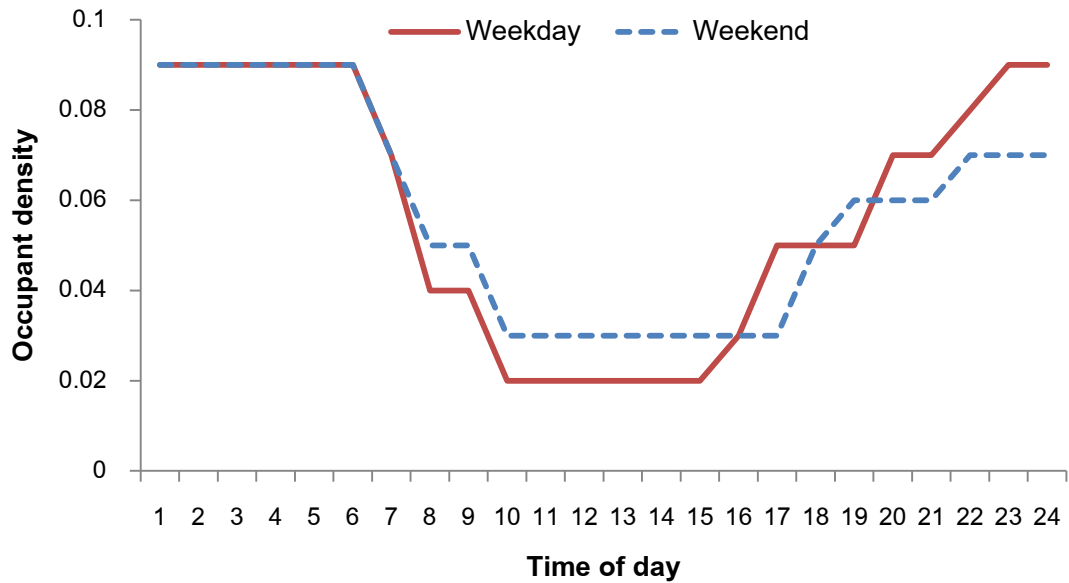
4.4.3 รูปแบบจำลองของโรงแรม

แบบจำลองโรงแรมที่ใช้เป็นอาคารสูง 10 ชั้น ชั้น 1 กว้าง 80 เมตร ยาว 40 เมตร สูง 5 เมตร ชั้นที่ 2-10 กว้าง 80 เมตร ยาว 30 เมตร สูง 3 เมตร ชั้นล่างสุดของโรงแรมจะเป็นแผนกต้อนรับของโรงแรม ห้องอาหาร และห้องประชุม ตัวอาคารมีโครงสร้างและติดตั้งกระจกดังภาพที่ 4.21 โดยวัสดุที่ใช้ทำกรอบอาคารแสดงในตารางที่ 4.6

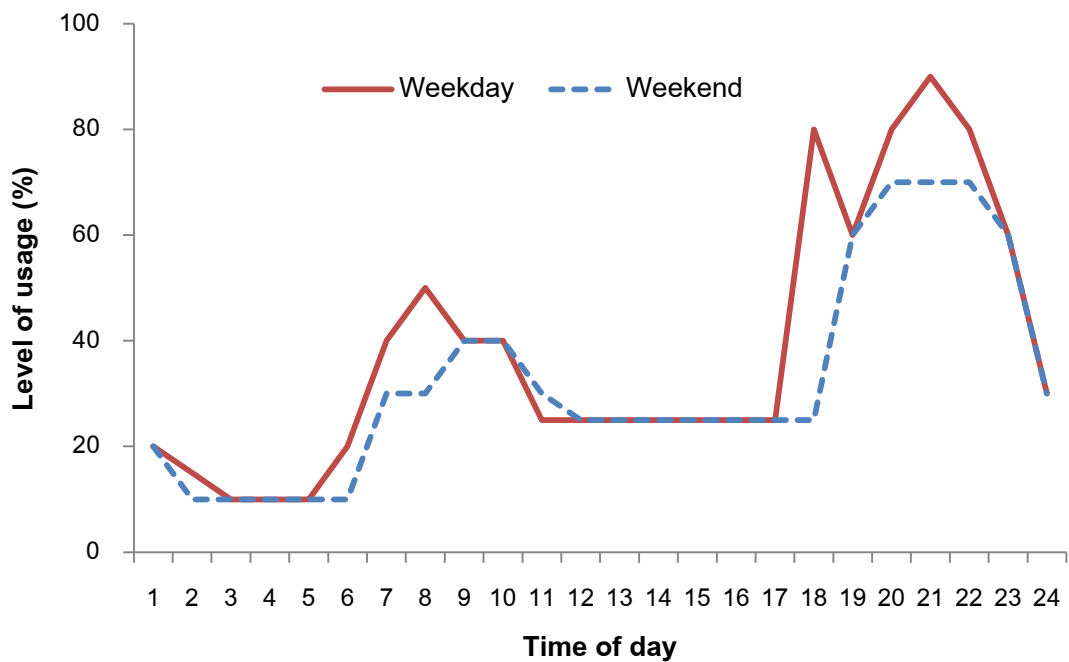


ภาพที่ 4.21 แบบจำลองโครงสร้างโรงแรม

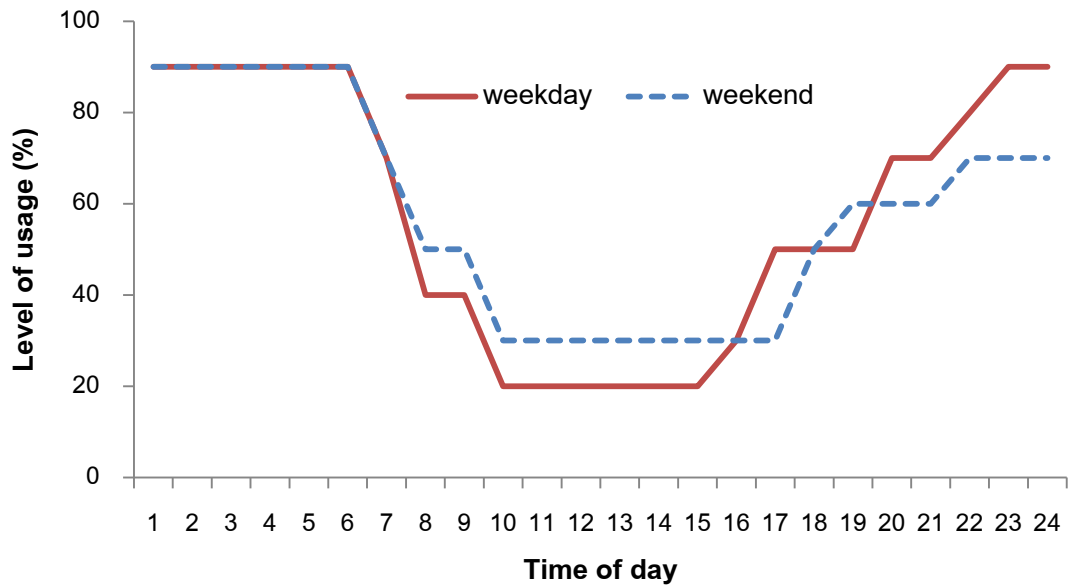
การใช้งานของอาคารจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือวันจันทร์-ศุกร์หรือวันทำงาน และวันเสาร์ อาทิตย์และวันหยุด โดยระดับความหนาแน่นของผู้ใช้งาน ระดับการใช้แสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าของอาคารจะเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาในแต่ละวันภาพที่ 4.22 - ภาพที่ 4.24 โดยการใช้งานของอาคารประเภทโรงแรมจะอยู่ในช่วงกลางคืน ภาวะความร้อนที่มาจากทั้งสามปัจจัยจะมีค่าตามการออกแบบที่แสดงในตารางที่ 4.6



ภาพที่ 4.22 ระดับความหนาแน่นของผู้ใช้โรงแรมเทียบตามเวลา



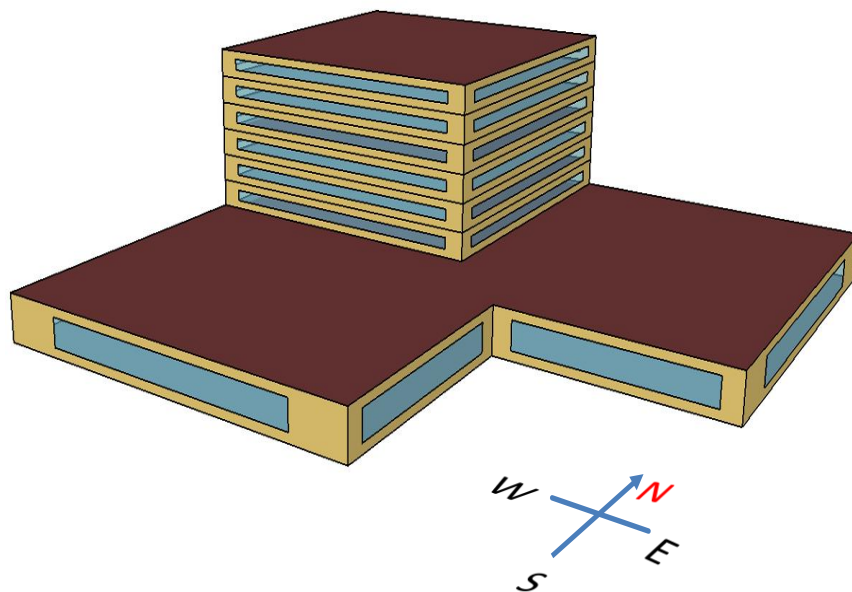
ภาพที่ 4.23 ระดับการใช้ไฟส่องสว่างของโรงแรมเทียบตามเวลา



ภาพที่ 4.24 ระดับการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าของโรงแรมเทียบตามเวลา

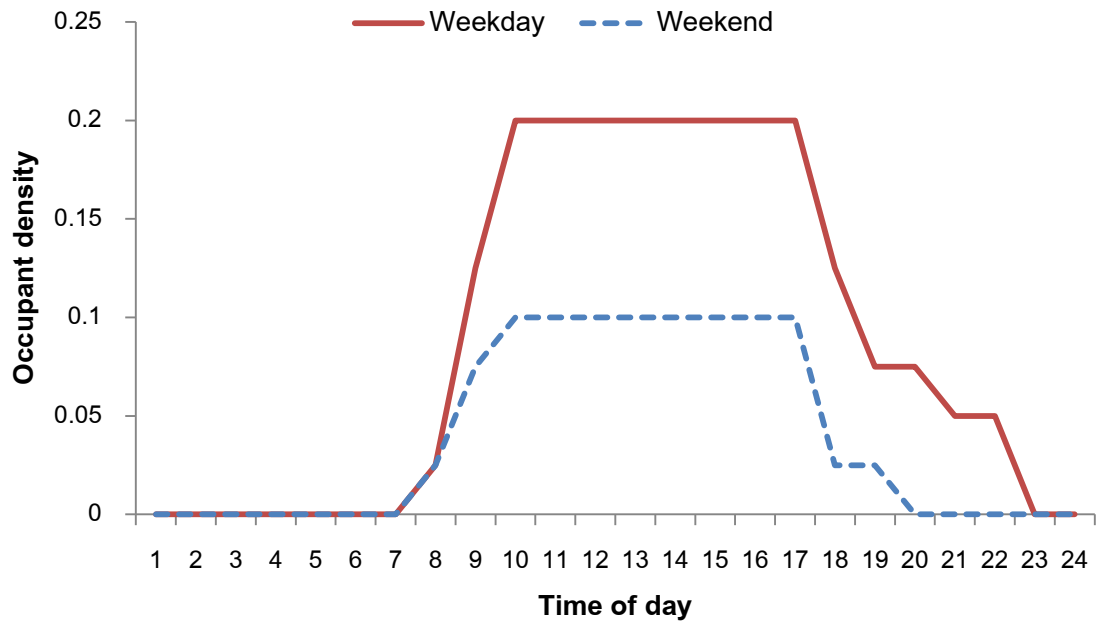
4.4.4 รูปแบบจำลองของโรงพยาบาล

แบบจำลองโรงพยาบาลที่ใช้เป็นอาคารรูปแบบที่เห็นได้ทั่วไปในกรุงเทพมหานคร ชั้นล่างของอาคารจะเป็นอาคารผู้ป่วยนอก ส่วนชั้นที่เหลือจะเป็นแผนกต่างๆ อาคารจำลองนี้สูง 7 ชั้น โดยที่ชั้นล่าง กว้าง 80 เมตร ยาว 80 เมตร สูง 5 เมตร ส่วนชั้นที่ 2-7 กว้าง 40 เมตร ยาว 40 เมตร สูง 3 เมตร ตัวอาคารมีโครงสร้างและติดตั้งกระจกดังภาพที่ 4.25 โดยวัสดุที่ใช้ทำกรอบอาคารแสดงในตารางที่ 4.6

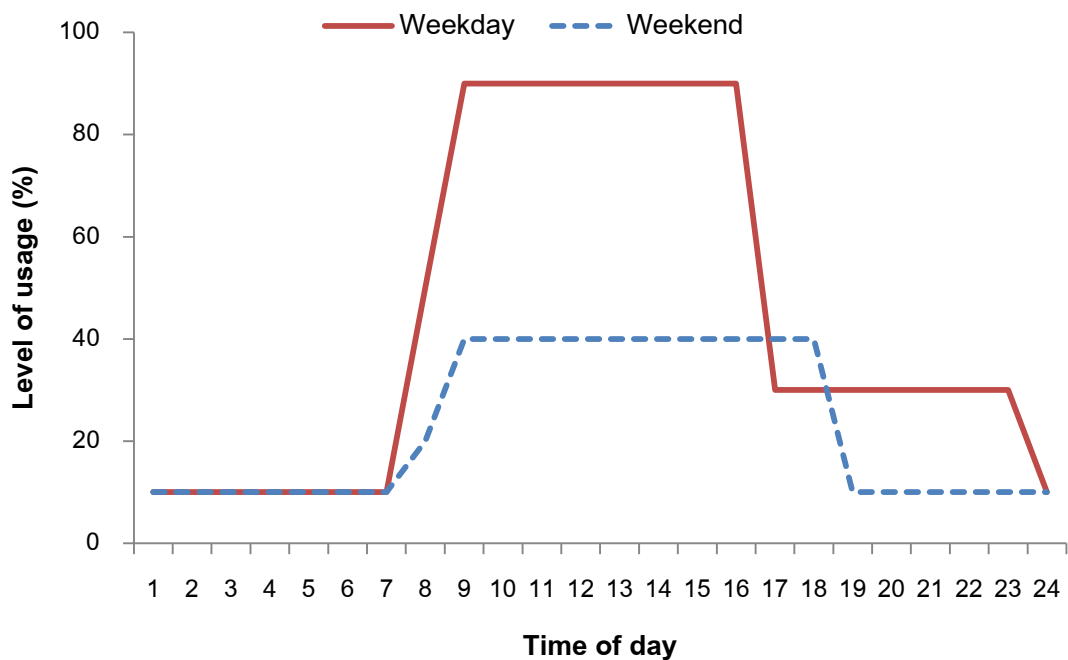


ภาพที่ 4.25 แบบจำลองโครงสร้างโรงพยาบาล

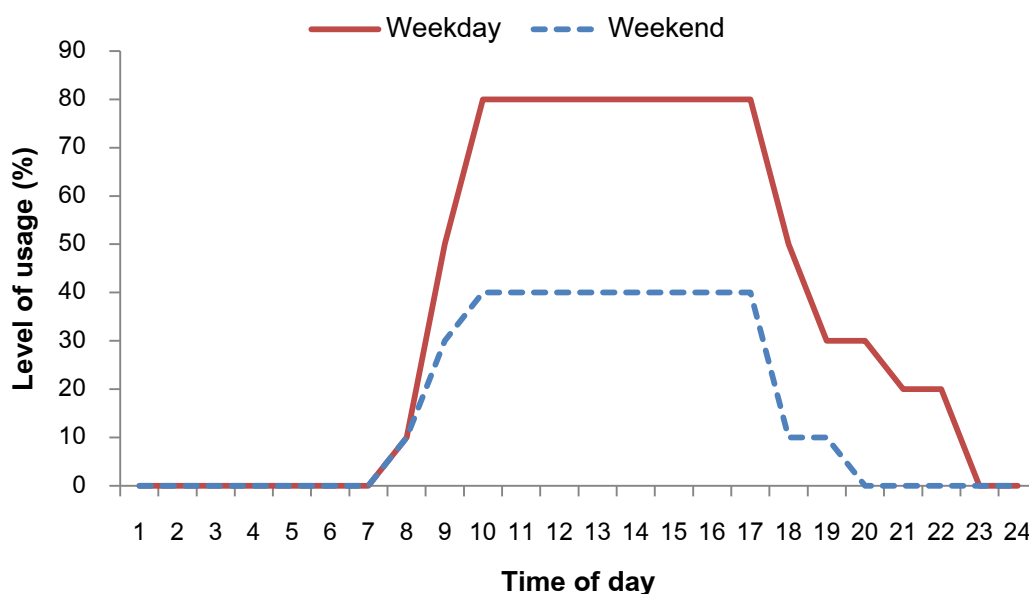
การใช้งานของอาคารจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือวันจันทร์-ศุกร์หรือวันทำงาน และวันเสาร์ อาทิตย์และวันหยุด โดยระดับความหนาแน่นของผู้ใช้งาน ระดับการใช้แสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าของอาคารจะเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาในแต่ละวัน ดังที่แสดงในภาพที่ 4.26 - ภาพที่ 4.28 โดยการใช้งานของอาคารประเภทโรงพยาบาลจะมีระดับค่อนข้างคงที่และเป็นเวลาที่แน่นอน ภาระความร้อนที่มาจากทั้งสามปัจจัยจะมีค่าตามการออกแบบที่แสดงในตารางที่ 4.6



ภาพที่ 4.26 ระดับความหนาแน่นของผู้ใช้โรงพยาบาลเทียบตามเวลา



ภาพที่ 4.27 ระดับการใช้ไฟส่องสว่างของโรงพยาบาลเทียบตามเวลา



ภาพที่ 4.28 ระดับการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าของโรงพยาบาลเทียบตามเวลา

4.5 การจำลองระบบด้วย EnergyPlus

ในการจำลองระบบจะสร้างชุดคำสั่งเพื่อรองรับเครื่องเติมอากาศทั้ง 9 รูปแบบ สำหรับอาคารทั้ง 4 ประเภท โดยใช้ข้อมูล สภาพอากาศ ลักษณะอาคาร การใช้งาน และรูปแบบของเครื่องเติมอากาศที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อหาค่าพลังงานที่ใช้ในระบบ รวมถึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น อุณหภูมิและความชื้นของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ ในระบบ โดยขั้นตอนการสร้างชุดคำสั่งและการจำลองระบบเขียนอยู่ในภาพที่ 4.29 แผนผัง HVAC ของระบบในโปรแกรมแสดงที่ภาคผนวก ข

- แบบจำลองของอาคารสำนักงานจะมีการใช้เครื่องเติมอากาศจำนวน 4 เครื่อง โดยเครื่องเติมอากาศ 1 เครื่องจ่ายอากาศภายนอกสำหรับอาคาร 5 ชั้น
- แบบจำลองของห้างสรรพสินค้าจะมีการใช้เครื่องเติมอากาศจำนวน 5 เครื่อง โดยเครื่องเติมอากาศ 1 เครื่องจ่ายอากาศภายนอกสำหรับอาคาร 1 ชั้น
- แบบจำลองของโรงแรมจะมีการใช้เครื่องเติมอากาศจำนวน 4 เครื่อง โดยมีเครื่องเติมอากาศ 1 เครื่องสำหรับอาคารชั้น 1 และอาคารชั้นอื่นจะใช้เครื่องเติมอากาศ 3 ชั้น ต่อ 1 เครื่อง
- แบบจำลองของโรงพยาบาลมีการใช้เครื่องเติมอากาศจำนวน 3 เครื่อง โดยมีเครื่องเติมอากาศ 1 เครื่องสำหรับอาคารชั้น 1 และอาคารชั้นอื่นจะใช้เครื่องเติมอากาศ 3 ชั้น ต่อ 1 เครื่อง



ภาพที่ 4.29 แผนผังการจำลองการใช้พลังงานของอาคารด้วยโปรแกรม EnergyPlus

บทที่ 5

ผลและการวิเคราะห์

การจำลองระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระรูปแบบต่างๆ ผลลัพธ์ที่ได้ สามารถนำมาวิเคราะห์ว่าเครื่องเติมอากาศรูปแบบใด มีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานในอาคารประเภทต่างๆ ในกรุงเทพมหานครได้ ตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์ได้แก่ ภาระทำความเย็นของอาคาร การใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศรูปแบบต่างๆ และความสามารถในการควบคุมความชื้นและอุณหภูมิของอาคาร

5.1 ภาระทำความเย็นของอาคารประเภทต่าง

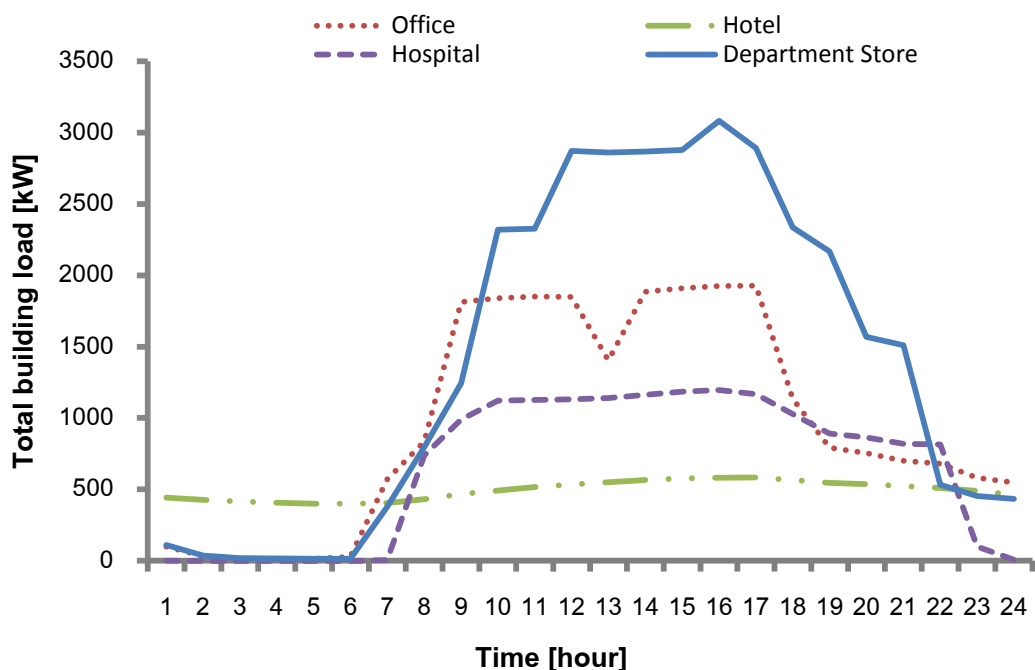
ภาระทำความเย็นของอาคารที่ได้จากการจำลองระบบจะทำให้ทราบว่า พฤติกรรมการใช้พลังงานของอาคารแต่ละประเภทเป็นเช่นไร การเปลี่ยนแปลงภาระทำความเย็นในอาคารมีผลต่อการทำงานของเครื่องเติมอากาศอย่างไร ผลจากการจำลองระบบด้วย EnergyPlus จะพบว่าภาระทำความเย็นของอาคารแต่ละประเภทมีค่าแตกต่างกันตามช่วงเวลาในแต่ละวันดังที่แสดงในภาพที่ 5.1

ภาระทำความเย็นของอาคารสำนักงานจะเริ่มตั้ง 6.30 น. แล้วมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆจนถึงเวลา 9.00 น. ภาระทำความเย็นก็มีค่าค่อนข้างคงที่จนถึงช่วง 12.00-13.00 น. ก็จะมีค่าลดลงเนื่องจากเป็นช่วงเวลาพักเที่ยงจากนั้นก็จะมีค่าเท่าเดิมที่เวลา 14.00 น. จนถึง 17.00 น. ก่อนที่จะมีภาระทำความเย็นลดลงเหลือ 1 ใน 3 ช่วง 19.00 น. เป็นต้นไป จากภาพที่ 5.2 แสดงให้เห็นว่าภาระทำความเย็นของเครื่องเติมอากาศก็จะมีรูปแบบเดียวกับภาระทำความเย็นของอาคาร โดยมีค่าน้อยกว่าประมาณ 50% ทั้งนี้เป็นเพราะภาระความร้อนแฝงภายในของอาคาร ส่วนใหญ่มาจากคนที่ใช้งานในอาคาร ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณอากาศภายนอกที่เติมเข้าสู่อาคาร

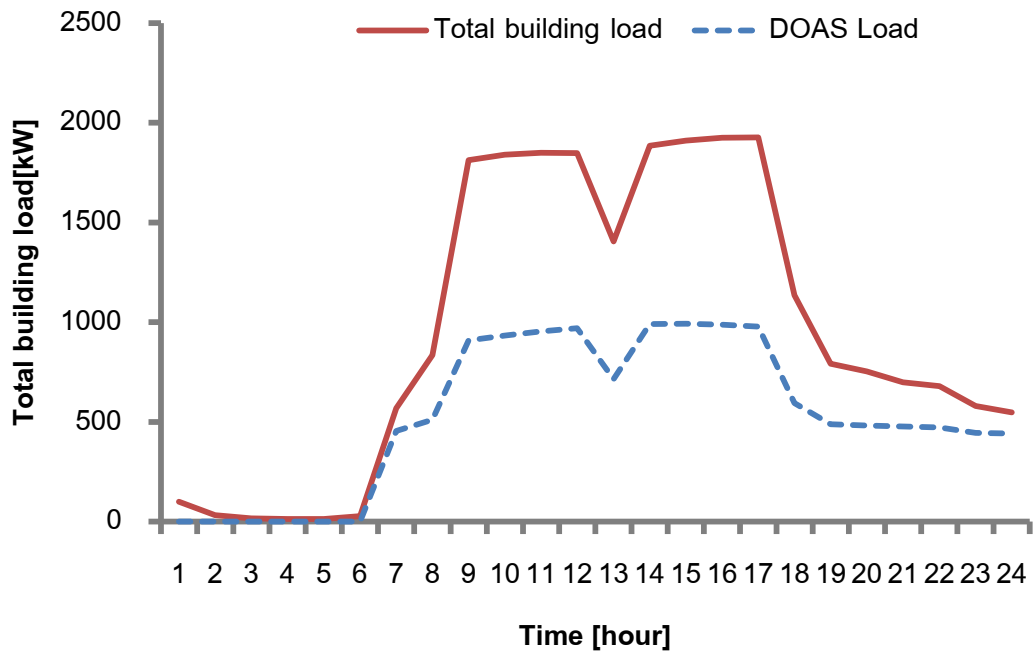
ภาระทำความเย็นของห้างสรรพสินค้าจะเริ่มตั้ง 6.30 น. แล้วมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆจนถึงเวลา 10.00 น. ซึ่งเป็นเวลาห้างเปิด จากนั้นภาระทำความเย็นก็จะสูงขึ้นอีกเล็กน้อยก่อนจะคงที่ไปตลอดวัน จนไปมีค่าสูงสุดที่ 16.00 น. แล้วก็จะค่อยๆลดลงจนถึงเวลา 22.00 น. จากภาพที่ 5.3 จะแสดงให้เห็นว่าภาระทำความเย็นของเครื่องเติมอากาศก็จะมีรูปแบบคล้ายกับภาระทำความเย็นของอาคาร โดยทำงานถึง 22.00 น. ในช่วงเวลากลางวันภาระทำความเย็นของเครื่องเติมอาคารจะคงที่ แต่ภาระทำความเย็นของอาคารยังมีค่าสูงขึ้นอยู่ เนื่องจากภาระจากภายนอกที่เข้าผ่านกรอบอาคาร ภาระทำความเย็นของเครื่องเติมอากาศจะมีค่าประมาณ 70-80 % ทั้งนี้เป็นเพราะภาระความร้อนแฝงภายในของอาคาร ส่วนใหญ่มาจากคนที่ใช้งานในอาคารที่มีความหนาแน่นสูงกว่าอาคารประเภทอื่นๆ

ภาระทำความเย็นของโรงแรมจะมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งวัน เนื่องจากในช่วงกลางคืนยังคงมีคนใช้อาคารอยู่ โดยค่าภาระทำความเย็นของอาคารจะมีค่าสูงขึ้นในช่วงเวลา 8.00 น. จากภาพที่ 5.4 จะแสดงให้เห็นว่าภาระทำความเย็นของเครื่องเติมอากาศก็จะมีรูปแบบเดียวกับภาระทำความเย็นของอาคาร โดยมีค่าน้อยกว่าประมาณ 50% ทั้งนี้เป็นเพราะภาระความร้อนแฝงภายในของอาคาร ส่วนใหญ่มาจากคนที่ใช้งานในอาคาร ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณอากาศภายนอกที่เติมเข้าสู่อาคาร

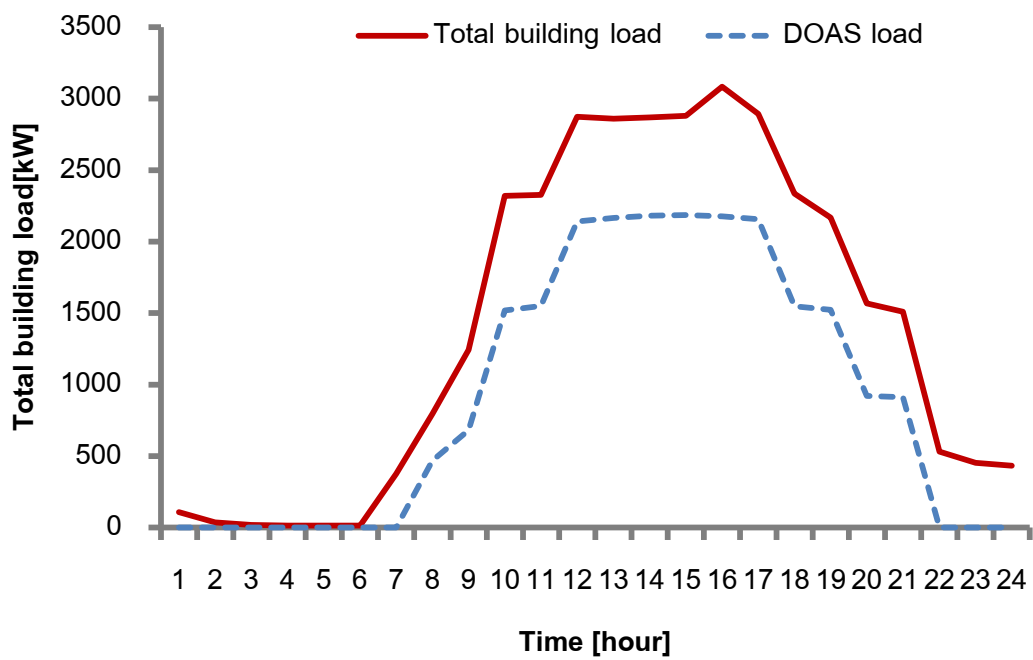
ภาระทำความเย็นของโรงพยาบาลจะเริ่มตั้ง 7.00 น. แล้วมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆจนถึงเวลา 10.00 น. จากนั้นภาระทำความเย็นก็จะคงที่ไปตลอดวัน จนถึงเวลา 17.00 น. แล้วก็ค่อยๆลดลงจนถึงเวลา 20.00 น.แล้วมีค่าคงที่ไปจนถึง 23.00 น. จากภาพที่ 5.5 จะแสดงให้เห็นว่าภาระทำความเย็นของเครื่องเติมอากาศก็จะมีรูปแบบคล้ายกับภาระทำความเย็นของอาคาร โดยทำงานถึง 23.00 น. ในช่วงเวลากลางวันภาระทำความเย็นของเครื่องเติมอากาศจะคงที่ แต่ภาระทำความเย็นของอาคารยังมีค่าสูงขึ้นอยู่ เนื่องจากภาระจากภายนอกที่เข้าผ่านกรอบอาคาร ภาระทำความเย็นของเครื่องเติมอากาศจะมีค่าประมาณ 60-70 % ทั้งนี้เป็นเพราะภาระความร้อนแฝงภายในของอาคาร ส่วนใหญ่มาจากคนที่ใช้งานในอาคารที่มีความหนาแน่นสูง



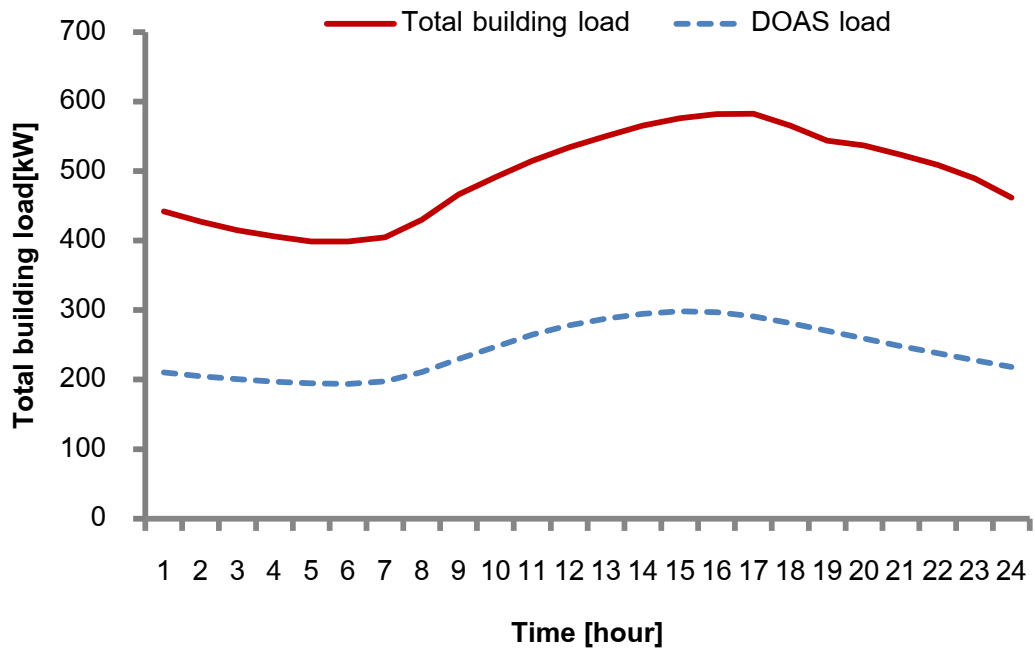
ภาพที่ 5.1 ภาระทำความเย็นตลอดวันของอาคารประเภทต่างๆ



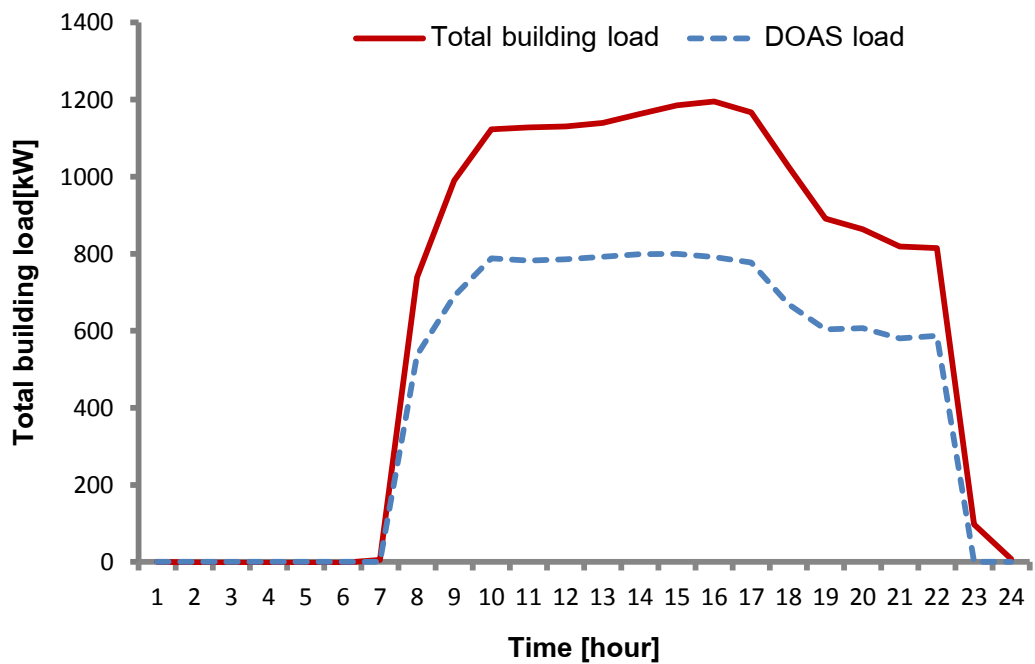
ภาพที่ 5.2 ภาระทำความเย็นตลอดวันของอาคารและเครื่องเติมอากาศสำหรับอาคารสำนักงาน



ภาพที่ 5.3 ภาระทำความเย็นตลอดวันของอาคารและเครื่องเติมอากาศสำหรับห้างสรรพสินค้า



ภาพที่ 5.4 ภาระทำความเย็นตลอดวันของอาคารและเครื่องเติมอากาศสำหรับโรงแรม



ภาพที่ 5.5 ภาระทำความเย็นตลอดวันของอาคารและเครื่องเติมอากาศสำหรับโรงพยาบาล

5.2 การใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศภายนอกและระบบของอาคาร

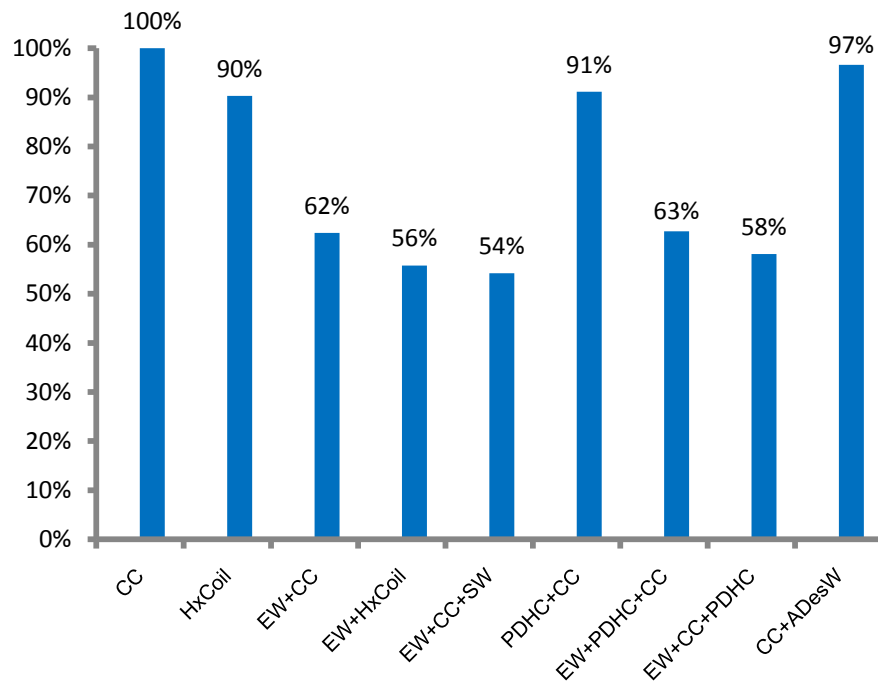
ผลจากการจำลองระบบตลอดเวลา 1 ปี พบว่าเมื่อนำเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 (CC) ที่มีแต่คอยล์เย็นเป็นตัวอ้างอิงแล้ว จะพบว่าพลังงานรวมที่ใช้ของเครื่องเติมอากาศในแต่ละรูปแบบ ใช้น้อยกว่ารูปแบบที่ 1 อยู่ที่ 3%-46% ดังที่แสดงในภาพที่ 5.6 ถึงภาพที่ 5.9 โดยเครื่องเติมอากาศที่ใช้พลังงานต่ำที่สุดสำหรับอาคารสำนักงานและห้างสรรพสินค้า คือรูปแบบที่ 5 (EW+CC+SW) สำหรับโรงแรมคือรูปแบบที่ 8 (EW+CC+PDHC) สำหรับโรงพยาบาลรูปแบบที่ 2 (HxCoil) และ รูปแบบที่ 6 (CC+PDHC) ใช้พลังงานเท่ากัน

เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานรวมระหว่างเครื่องเติมอากาศและเครื่องเป่าลมเย็นรวมของทั้งระบบสำหรับอาคารสำนักงาน ห้างสรรพสินค้าและโรงแรมแล้ว พบว่าเครื่องเติมอากาศกลุ่มแรกได้แก่รูปแบบที่ 1 2 และ 6 ใช้พลังงานรวมทั้งระบบใกล้เคียงกันสำหรับอาคารสำนักงาน ห้างสรรพสินค้าและโรงแรมที่ประมาณ 6,400 9,900 4,700 MW ต่อปีตามลำดับ สำหรับเครื่องเติมอากาศกลุ่มที่ 2 ได้แก่รูปแบบที่ 3 4 5 7 และ 8 ใช้พลังงานรวมทั้งระบบใกล้เคียงกันสำหรับอาคารสำนักงาน ห้างสรรพสินค้าและโรงแรมที่ประมาณ 5,100 7,400 3,500 MW ต่อปีตามลำดับ กลุ่มที่ 3 คือเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 9 ใช้พลังงานรวมสูงสุดสำหรับอาคารสำนักงาน ห้างสรรพสินค้าและโรงแรมที่ประมาณ 8,200 13,700 6,400 MW ต่อปีตามลำดับ สำหรับโรงพยาบาลที่มีรูปแบบเครื่องเติมอากาศน้อยกว่า จะมีผลอยู่ในกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 3 มีค่า 5,300 และ 7,600 MW ต่อปีตามลำดับ ดังที่แสดงในภาพที่ 5.10 ถึงภาพที่ 5.13

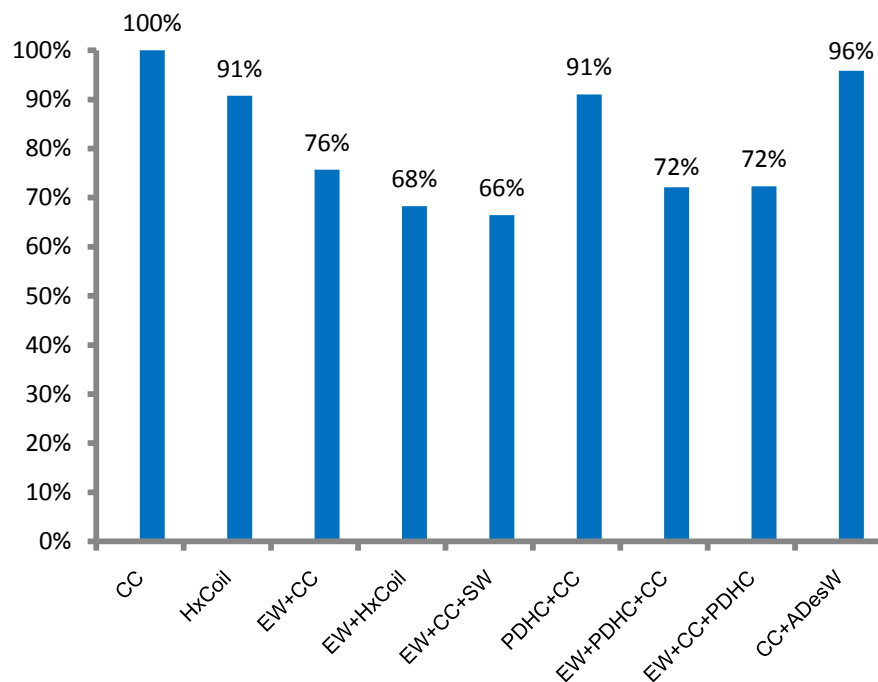
เครื่องเติมอากาศในกลุ่มที่ 1 เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานเฉพาะที่เครื่องเติมอากาศแล้ว มีการใช้พลังงานลดลง แต่เมื่อคิดพลังงานรวมทั้งหมดมีค่าพอกๆกัน ทั้งนี้เป็นเพราะว่าอากาศที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 และ 6 มีอุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้เครื่องเป่าลมเย็นในอาคารมีภาระทำความเย็นที่สูงขึ้น ทำให้ผลรวมของการใช้พลังงานมีค่าใกล้เคียงกัน

เครื่องเติมอากาศในกลุ่มที่ 2 มีการใช้พลังงานที่เครื่องเติมอากาศและพลังงานรวมของทั้งระบบน้อยกว่ากลุ่มแรก เพราะเครื่องเติมอากาศในกลุ่มนี้มีการใช้วงล้อเอนทาลปี นำพลังงานที่เหลือใช้จากการระบายอากาศมาใช้ลดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายนอกสาเหตุที่ทำให้สัดส่วนการประหยัดพลังงานรวมของระบบน้อยกว่าสัดส่วนการประหยัดพลังงานของเครื่องเติมอากาศ ก็เป็นเพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นของลมจ่ายที่ออกจากเครื่องเติมอากาศทำให้ภาระทำความเย็นของเครื่องเป่าลมเย็นในอาคารสูงขึ้น

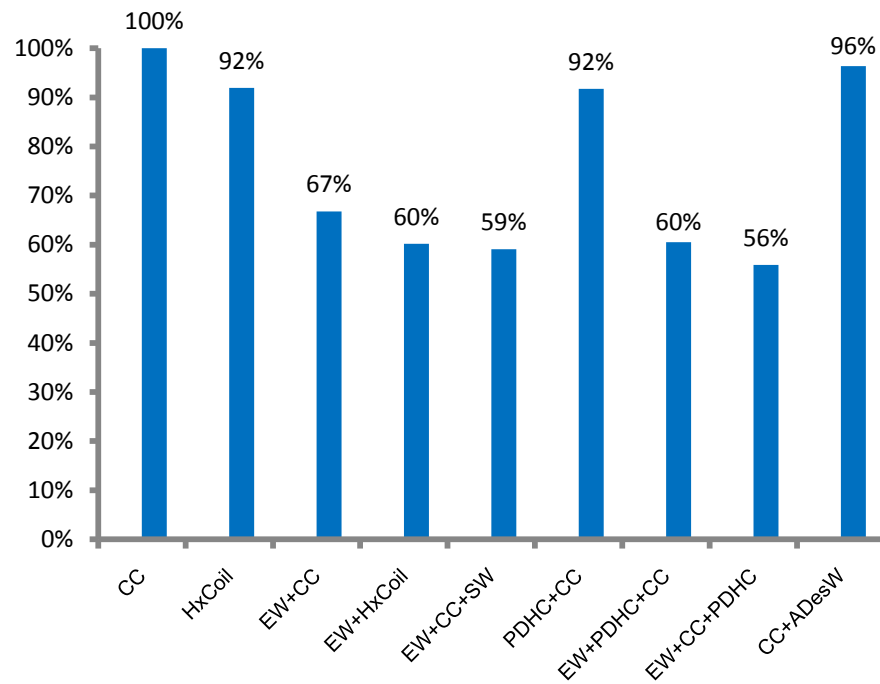
เครื่องเติมอากาศในกลุ่มที่ 3 หรือเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 9 นั้นถึงแม้จะสามารถลดพลังงานให้กับเครื่องเติมอากาศได้ แต่ทำให้อุณหภูมิของลมจ่ายที่ออกมาจากเครื่องเติมอากาศสูงกว่าอุณหภูมิห้อง ทำให้เกิดภาระที่เครื่องเป่าลมเย็นในแต่ละพื้นที่มากกว่าปกติ



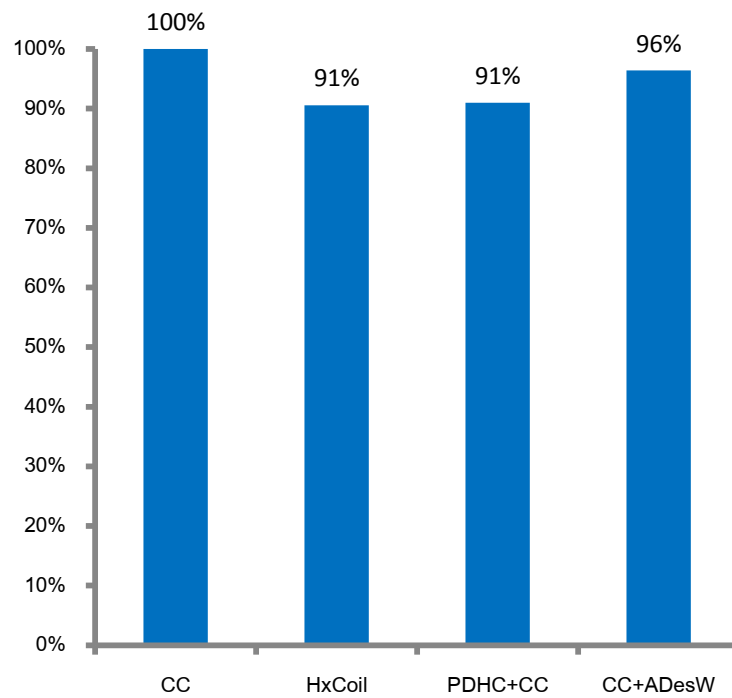
ภาพที่ 5.6 การเปรียบเทียบพลังงานของเครื่องเติมอากาศภายนอกประเภทต่างๆที่ใช้สำหรับอาคารสำนักงาน



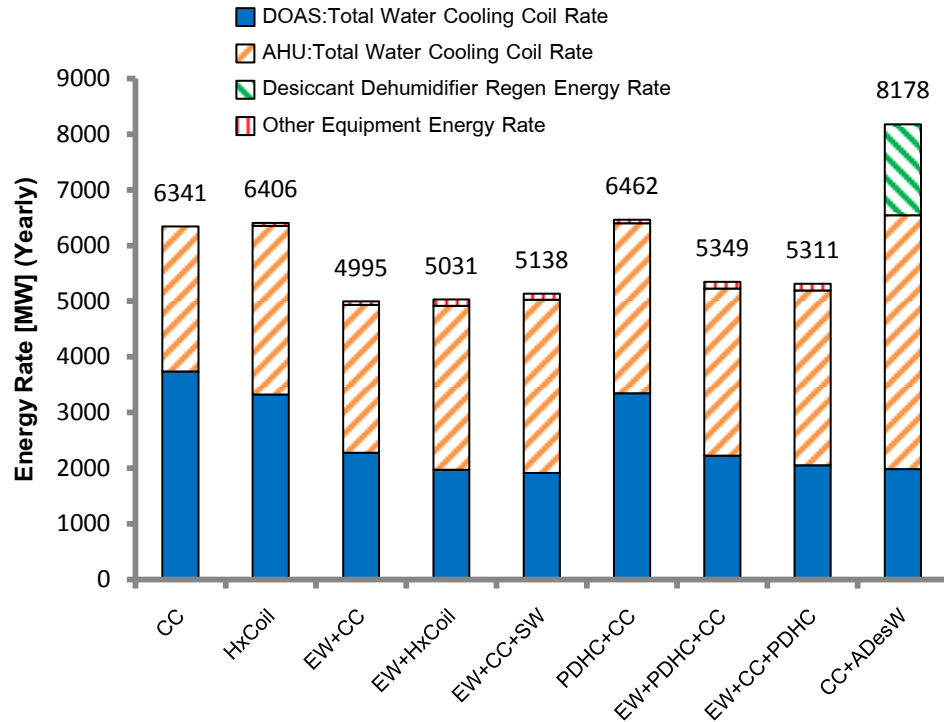
ภาพที่ 5.7 การเปรียบเทียบพลังงานของเครื่องเติมอากาศภายนอกประเภทต่างๆที่ใช้สำหรับห้างสรรพสินค้า



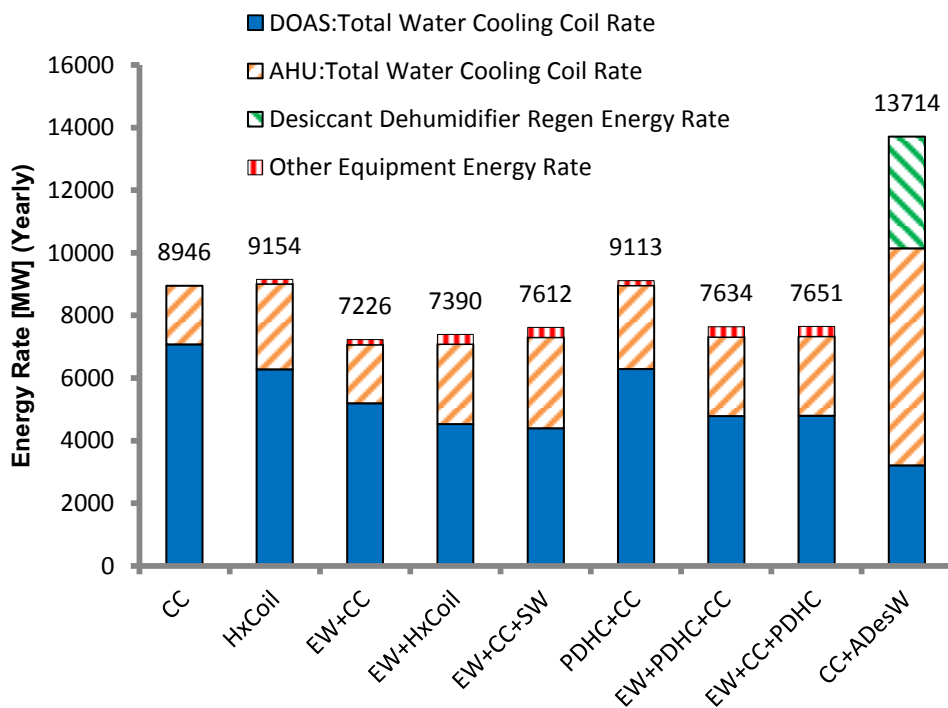
ภาพที่ 5.8 การเปรียบเทียบพลังงานของเครื่องเติมอากาศภายนอกประเภทต่างๆที่ใช้สำหรับโรงแรม



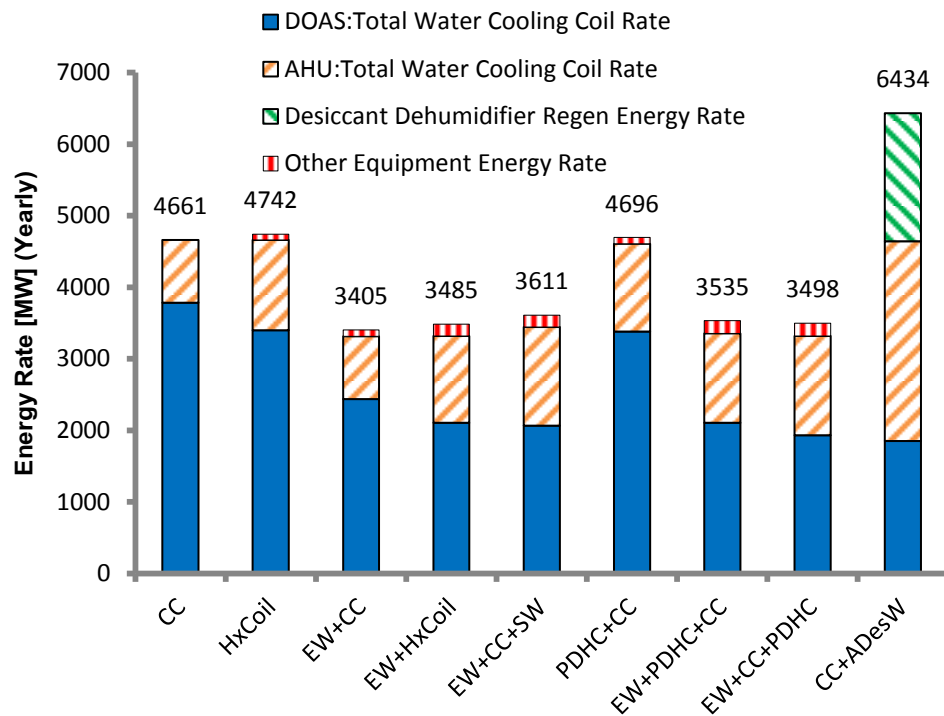
ภาพที่ 5.9 การเปรียบเทียบพลังงานของเครื่องเติมอากาศภายนอกประเภทต่างๆที่ใช้สำหรับโรงพยาบาล



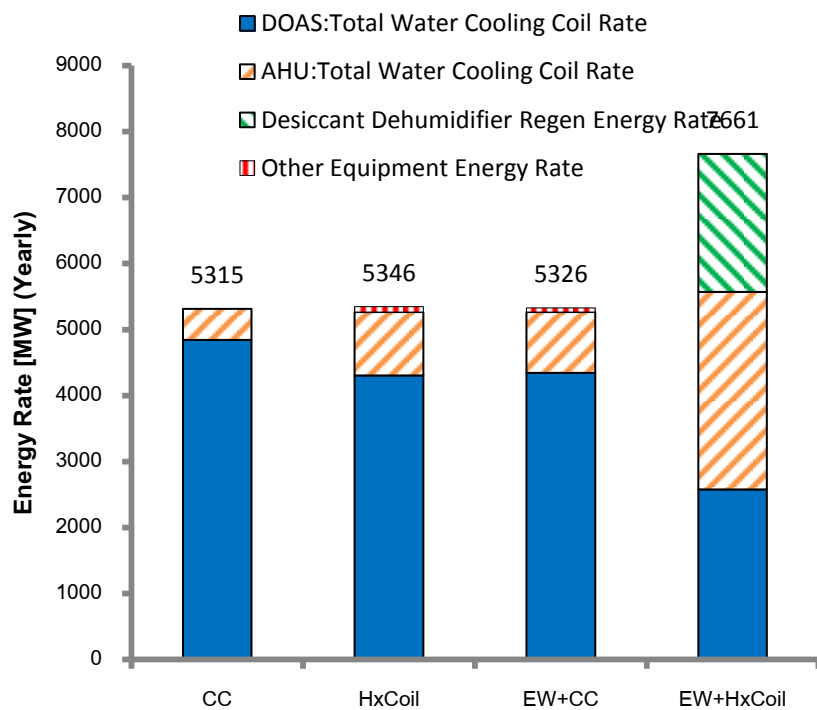
ภาพที่ 5.10 การใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศและเครื่องเป่าลมเย็นสำหรับอาคารสำนักงาน



ภาพที่ 5.11 การใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศและเครื่องเป่าลมเย็นสำหรับห้างสรรพสินค้า



ภาพที่ 5.12 การใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศและเครื่องเป่าลมเย็นสำหรับโรงแรม



ภาพที่ 5.13 การใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศและเครื่องเป่าลมเย็นสำหรับโรงพยาบาล

5.3 ความสามารถในการทำงานของเครื่องเติมอากาศภายนอก

ความสามารถในการทำงานของเครื่องเติมอากาศภายนอกรูปแบบต่างๆ พิจารณาจากอัตราส่วนความชื้นที่ออกมาจากเครื่องเติมอากาศ และอัตราส่วนความชื้นของพื้นที่ในอาคารในช่วงเวลาการทำงานตลอดระยะเวลา 1 ปี ว่าสามารถทำงานได้ตรงตามที่ออกแบบไว้หรือไม่

ผลจากการจำลองระบบของแต่ละอาคารจะแสดงรายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ค โดยพบว่าเครื่องเติมอากาศภายนอกที่ใช้กับอาคารประเภทต่างๆ ให้ผลที่มีแนวโน้มเดียวกัน ในที่นี้จึงอธิบายของกรณีเครื่องเติมอากาศรูปแบบต่างๆที่ใช้กับอาคารสำนักงาน สภาวะออกแบบในอาคารคือมีอัตราส่วนความชื้น 9.92 g/kg และต้องการอัตราส่วนความชื้นของอากาศที่ออกมาจากเครื่องเติมอากาศที่ 7.64 g/kg

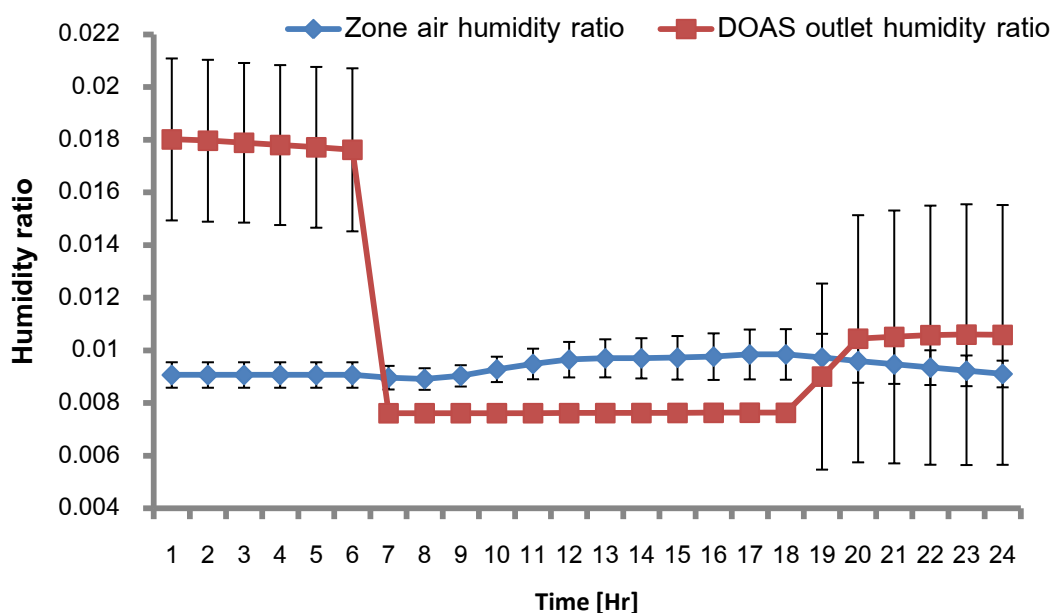
ผลการทำงานของเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 (CC) แสดงอยู่ในภาพที่ 5.14 แสดงค่าของอัตราส่วนความชื้นของอากาศที่เฉลี่ยในแต่ละชั่วโมงตลอดทั้งปี โดยแสดงค่าความแปรปรวน 1 SD เมื่อพิจารณาที่เครื่องเติมอากาศจะพบว่าค่าของอัตราส่วนความชื้นแบ่งได้ 3 ช่วงได้แก่ ช่วงแรก 0.00 น. ถึง 7.00 น. พบว่าอากาศมีค่าอัตราส่วนความชื้นประมาณ 18 g/kg โดยมีช่วงของความแปรปรวนค่อนข้างกว้าง เพราะในช่วงเวลานี้ เครื่องเติมอากาศยังไม่ได้ทำงานค่าที่เห็นจึงเป็นค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความชื้นของอากาศภายนอก ช่วงที่ 2 คือช่วงเวลา 7.00 น. ถึง 18.00 น. เป็นช่วงที่เครื่องเติมอากาศทำงานตรงกับการใช้อาคาร โดยค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากเครื่องเติมอากาศ มีค่าตรงกับสภาวะการออกแบบและมีค่าความแปรปรวนน้อยมาก (ไม่ปรากฏให้เห็นในรูป) ส่วนอัตราส่วนความชื้นของอากาศภายในอาคารก็มีค่าใกล้เคียงกับที่ออกแบบโดยมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยในช่วงบ่ายและมีค่าความแปรปรวนประมาณ 0.8 g/kg สุดท้ายในช่วงเวลา 18.00 น. ถึง 24.00 น. มีค่าอัตราส่วนความชื้นของเครื่องเติมอากาศที่สูงกว่าที่ออกแบบไว้และมีความแปรปรวนสูง ในขณะที่อัตราส่วนความชื้นภายในอาคารมีค่าต่ำกว่าที่ออกแบบเล็กน้อยและมีความแปรปรวนต่ำ เป็นเพราะว่าช่วงเวลานี้มีการใช้งานของอาคารไม่ครบทั้ง 365 วันและมีสัดส่วนการใช้งานของอาคารที่ต่ำ

เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 จนถึงเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 5 ให้ผลการทำงานเช่นเดียวกับเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 จะมีความแตกต่างเล็กน้อยในส่วนของอัตราส่วนความชื้นภายในอาคารของเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 5 กล่าวคือ จะมีค่าอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยต่ำลง 0.1 g/kg ในช่วงบ่ายก่อนที่จะมีค่าเท่ากับรูปแบบอื่นๆ ในช่วงเย็น ดังแสดงในภาพที่ 5.15 ถึงภาพที่ 5.18

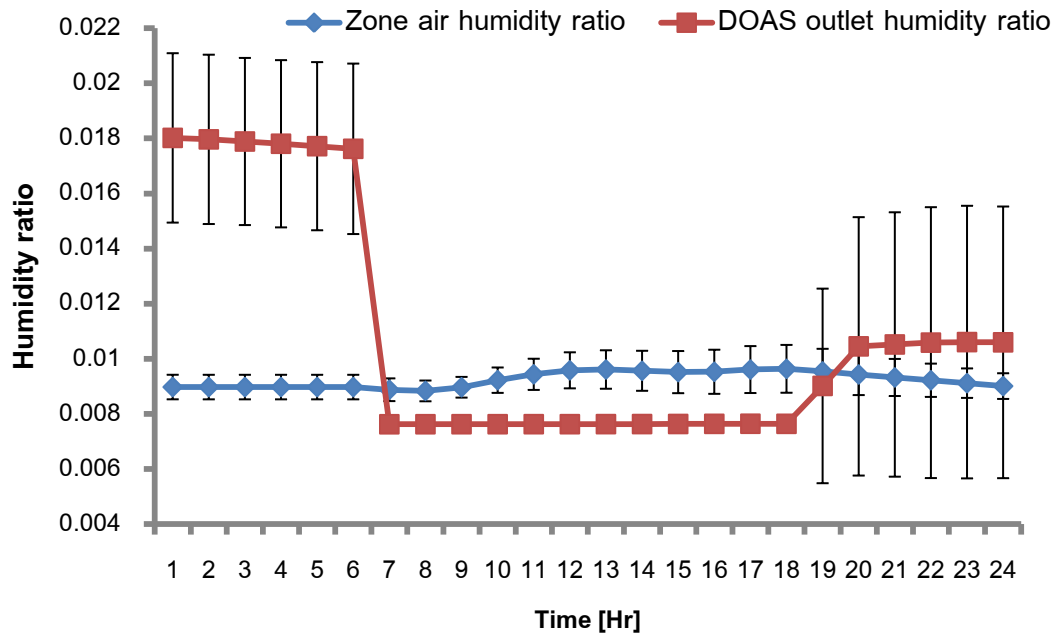
เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 6 7 และ 8 จากภาพที่ 5.19 ถึงภาพที่ 5.21 มีผลการทำงานที่ใกล้เคียงกัน กล่าวคือจะสามารถแบ่งผลการจำลองออกเป็น 3 ช่วงคือช่วงแรก 0.00 น. ถึง

7.00 น. พบว่าอากาศมีค่าอัตราส่วนความชื้นประมาณ 18 g/kg โดยมีช่วงของความแปรปรวนค่อนข้างกว้าง เพราะในช่วงเวลานี้ เครื่องเติมอากาศยังไม่ได้ทำงานค่าที่เห็นจึงเป็นค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความชื้นของอากาศภายนอก ช่วงที่ 2 คือช่วงเวลา 7.00 น. ถึง 18.00 น. เป็นช่วงที่เครื่องเติมอากาศทำงานตรงกับการใช้อาคาร โดยค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากเครื่องเติมอากาศจะมีค่าสูงกว่าที่ออกแบบโดยมีค่าที่ 8.3 g/kg แล้วมีค่าลดลงตลอดการทำงานของเครื่องเติมอากาศจนถึงเวลา 18.00 น. ส่วนอัตราส่วนความชื้นของอากาศภายในอาคารก็มีแนวโน้มเดียวกับเครื่องเติมอากาศ คือมีค่าสูงกว่าที่ออกแบบไว้ในช่วง 7.00 น. แล้วค่อยๆลดลงตลอดวัน จนมาใกล้กับที่ออกแบบไว้ในช่วง 16.00 น. ความแปรปรวนจะมีค่ามากกว่า 1 g/kg ในช่วงเช้า แล้วค่อยๆลดลงจนถึงช่วงเย็น ส่วนในช่วงเวลา 18.00 น. ถึง 24.00 น. มีค่าอัตราส่วนความชื้นของเครื่องเติมอากาศที่สูงกว่าที่ออกแบบไว้และมีความแปรปรวนสูง ในขณะที่อัตราส่วนความชื้นภายในอาคารมีค่าต่ำกว่าที่ออกแบบเล็กน้อยและมีความแปรปรวนต่ำ เป็นเพราะว่าช่วงเวลานี้มีการใช้งานของอาคารไม่ครบทั้ง 365 วันและมีสัดส่วนการใช้งานของอาคารที่ต่ำ

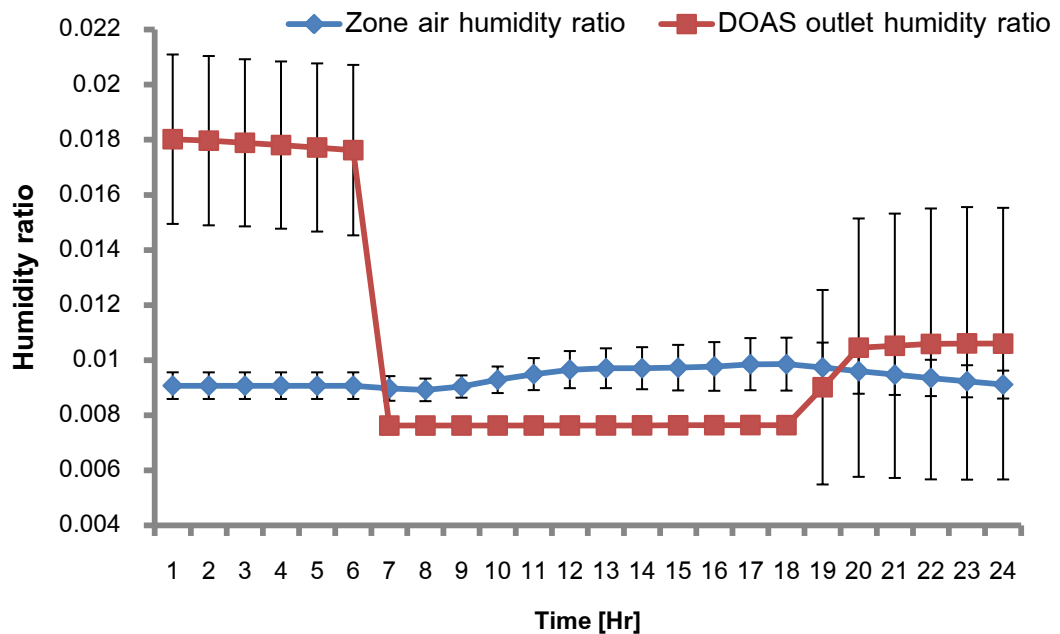
เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 9 ในภาพที่ 5.22 ให้ผลการทำงานเช่นเดียวกับเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 จะมีความแตกต่างในส่วนของอัตราส่วนความชื้นของอากาศภายในอาคารที่ค่อนข้างคงที่ตลอดชั่วโมงการทำงานของเครื่องเติมอากาศและมีค่าความแปรปรวนน้อยกว่าระบบที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบอื่นๆ



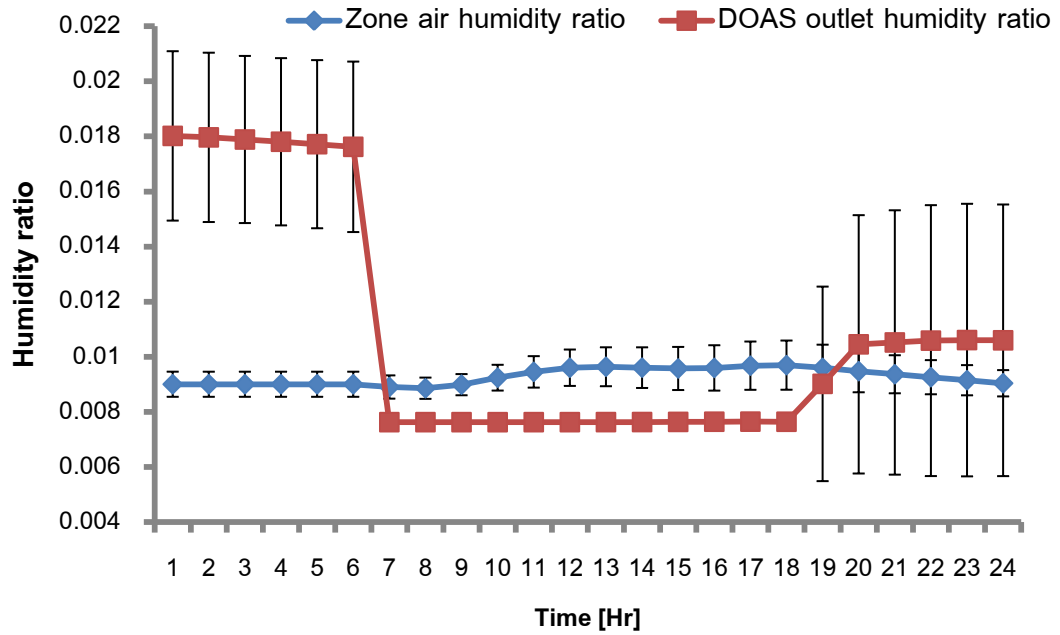
ภาพที่ 5.14 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 (CC) และภายในโซนของอาคารสำนักงาน



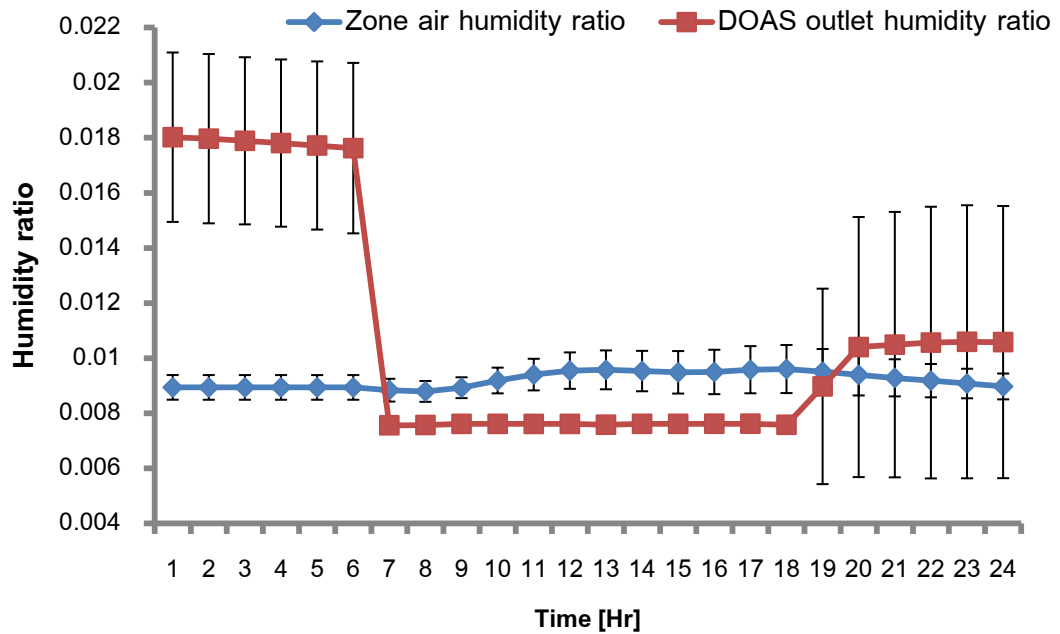
ภาพที่ 5.15 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 (HxCoil) และภายในโซนของอาคารสำนักงาน



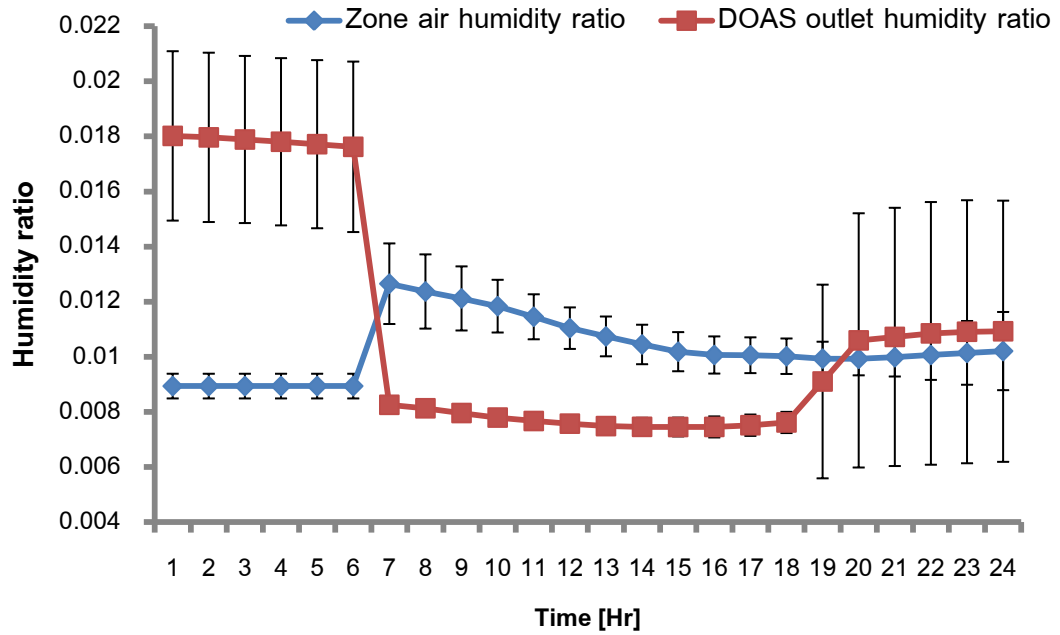
ภาพที่ 5.16 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 3 (EW+CC) และภายในโซนของอาคารสำนักงาน



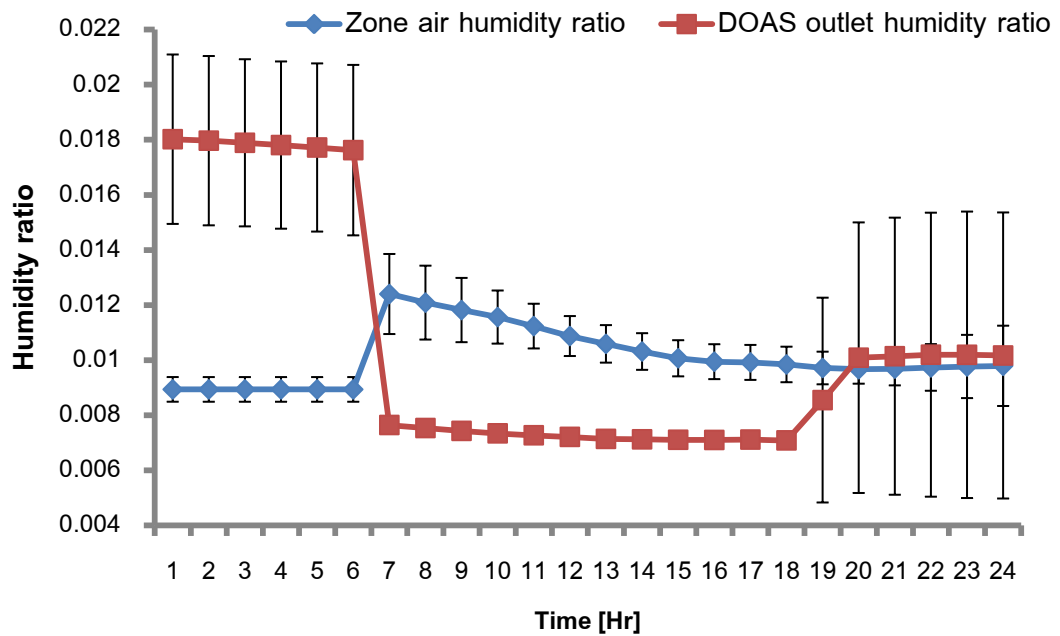
ภาพที่ 5.17 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 4 (EW+HxCoil) และภายในโซนของอาคารสำนักงาน



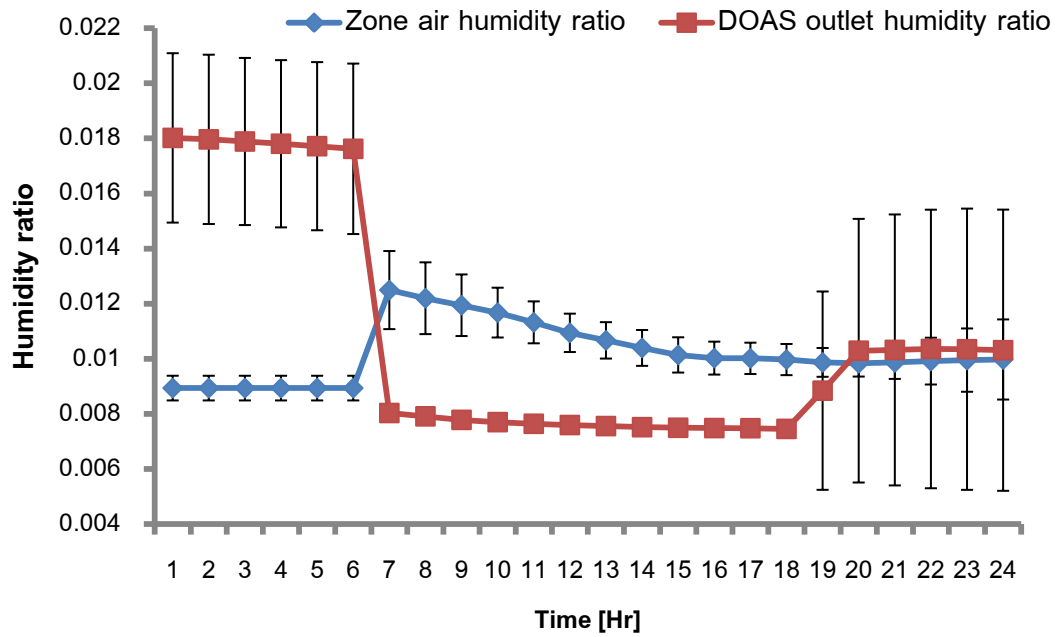
ภาพที่ 5.18 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 5 (EW+CC+SW) และภายในโซนของอาคารสำนักงาน



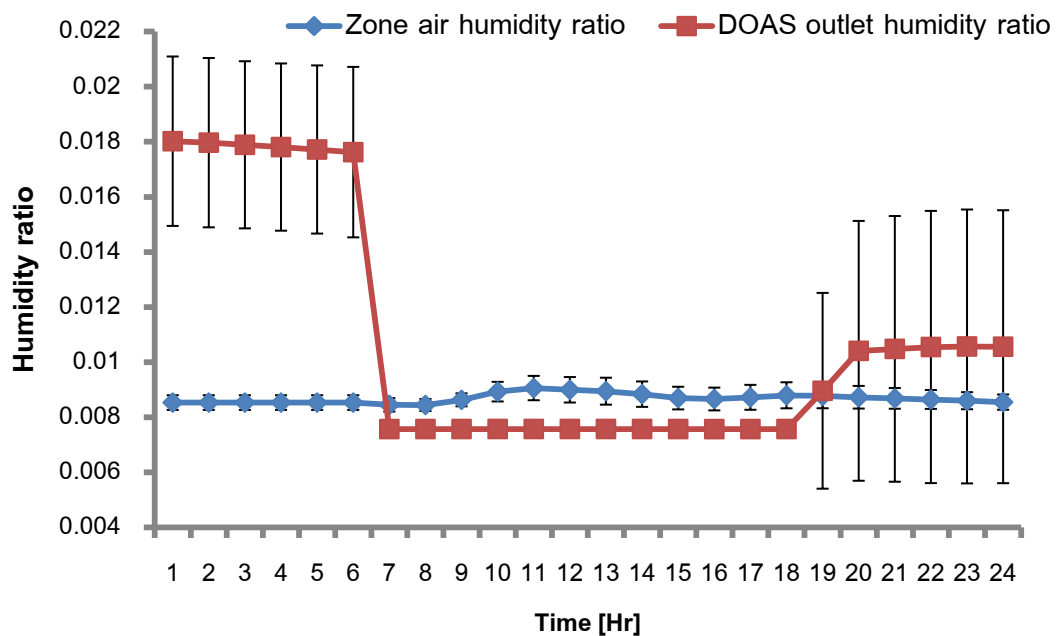
ภาพที่ 5.19 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 6 (CC+PDHC) และภายในโซนของอาคารสำนักงาน



ภาพที่ 5.20 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 7 (EW+PDHC+CC) และภายในโซนของอาคารสำนักงาน



ภาพที่ 5.21 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 8 (EW+CC+PDHC) และภายในโซนของอาคารสำนักงาน



ภาพที่ 5.22 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 9 (CC+AdesW) และภายในโซนของอาคารสำนักงาน

5.4 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของเครื่องเติมอากาศภายนอก

ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานคิดจากค่าต้นทุนของอุปกรณ์ ค่าดำเนินการ และค่าบำรุงรักษาในแต่ละปี ค่าต้นทุนของอุปกรณ์พิจารณาจากคอสต์เย็น และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ ที่ใช้โดยอ้างอิงราคาจากผู้ผลิต ค่าดำเนินการคิดจากพลังงานที่ใช้ที่ได้จากการจำลองระบบในระยะเวลา 1 ปีคูณด้วยอัตราค่าไฟฟ้า ส่วนค่าบำรุงรักษาพิจารณาจากราคากลางของอัตราเหมาจ่ายสำหรับการทำความสะอาดและการซ่อมแซมอุปกรณ์ โดยกำหนดระยะเวลาของโครงการไว้ที่ 15 ปี และอัตราดอกเบี้ย 7% รายละเอียดการคำนวณแสดงอยู่ในภาคผนวก ง

ผลจากการคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องเติมอากาศภายนอกรูปแบบต่างๆ สำหรับอาคารทั้ง 4 ประเภทแสดงอยู่ในตารางที่ 5.1 พบว่าค่าใช้จ่ายในแต่ละระบบของอาคารต่างๆ มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน สำหรับอาคารสำนักงาน ห้างสรรพสินค้า และโรงแรมระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 3 (EW+CC) มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่ำที่สุดที่ 90,058,000 125,009,000 และ 73,134,000 บาทตามลำดับ ส่วนโรงพยาบาลจะที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 (CC) ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่ำที่สุดที่ 90,353,000 บาท

ตารางที่ 5.1 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องเติมอากาศภายนอก สำหรับอาคารประเภทต่างๆ

รูปแบบของเครื่องเติมอากาศ	ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของทั้งระบบ (บาท)			
	สำนักงาน	ห้างสรรพ- สินค้า	โรงแรม	โรงพยาบาล
รูปแบบที่ 1 (CC)	110,630,000	149,986,000	96,390,000	90,353,000
รูปแบบที่ 2 (HxCoil)	112,557,000	153,399,000	98,512,000	91,605,000
รูปแบบที่ 3 (EW+CC)	90,058,000	125,009,000	73,134,000	-
รูปแบบที่ 4 (EW+HxCoil)	92,558,000	128,793,000	73,929,000	-
รูปแบบที่ 5 (EW+CC+SW)	94,398,000	132,520,000	77,600,000	-
รูปแบบที่ 6 (CC+PDHC)	114,837,000	157,078,000	98,936,000	93,985,000
รูปแบบที่ 7 (EW+PDHC+CC)	98,805,000	137,208,000	77,563,000	-
รูปแบบที่ 8 (EW +CC+PDHC)	98,089,000	137,544,000	76,810,000	-
รูปแบบที่ 9 (CC+ADesW)	144,104,000	233,824,000	116,735,000	114,889,000

5.5 การเลือกใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัส

เครื่องเติมอากาศภายนอกรูปแบบที่ 2 (HxCoil) รูปแบบที่ 3 (CC+EW) รูปแบบที่ 4 (EW+HxCoil) และรูปแบบที่ 5 (CC+EW+SW) มีการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัสเป็นองค์ประกอบ โดยมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่นี้มีอยู่ 3 ชนิด คือเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัสแบบหมุน ฮีตไปป์ และรั่นอะราวต์คอยล์ อุปกรณ์ทั้ง 3 มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้ตั้งเกณฑ์การเลือกใช้ เพื่อเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัสที่เหมาะสมที่สุด

5.5.1 ประสิทธิภาพ

อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงจะช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงานมาก รวมถึงความสามารถในการทำให้อุณหภูมิที่ออกจากอุปกรณ์เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ โดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบหมุนมีประสิทธิภาพ 50-80% ฮีตไปป์มีประสิทธิภาพ 45-65% และรั่นอะราวต์คอยล์มีประสิทธิภาพ 55-65%

5.5.2 การควบคุม

แสดงถึงความง่ายในการควบคุมอุปกรณ์ให้ได้ผลตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบหมุนควบคุมโดยความเร็วในการหมุนของวงล้อที่ถูกควบคุมด้วยมอเตอร์ ฮีตไปป์ควบคุมโดยการเอียงทั้งแผงของฮีตไปป์ และรั่นอะราวต์คอยล์ควบคุมด้วยการปรับอัตราการไหลของของเหลวในคอยล์โดยสามารถควบคุมที่ปั๊มของคอยล์หรือที่วาล์ว

5.5.3 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน

ต้นทุนของอุปกรณ์ทั้ง 3 มีความแตกต่างกันโดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบหมุนมีราคาค่อนข้างสูงแต่สามารถหาซื้อได้ไม่ยาก ฮีตไปป์ราคาค่อนข้างสูงเพราะมีผู้ผลิตน้อยและจะผลิตตามความต้องการในแต่ละงาน ส่วนรั่นอะราวต์คอยล์หาซื้อได้ง่ายและราคาไม่แพง สำหรับค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ทั้ง 3 อุปกรณ์มาจากพลังงานที่ใช้ในแต่ละอุปกรณ์ โดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบหมุนจะมีการใช้พลังงานจากมอเตอร์ที่ใช้หมุนวงล้อ ฮีตไปป์จะมาจากการเอียงเพื่อควบคุมที่ปกติจะไม่ทำบ่อยนัก ส่วนรั่นอะราวต์คอยล์จะมีการใช้พลังงานจากปั๊มนขนาดเล็กที่ปั๊มของเหลวในคอยล์ทั้ง 2 ส่วน

5.5.4 การบำรุงรักษา

การบำรุงรักษาของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบหมุนต้องทำหลายส่วนได้แก่ความสะอาดของวงล้อ การบำรุงรักษามอเตอร์ ความสม่ำเสมอในการหมุนที่ต้องดูที่สายพาน รวมถึง

ความสมบูรณ์ของวงล้อ ฮีตไปป์ต้องดูแลเรื่องความสะอาดของท่อ การรั่วซึม และความสมบูรณ์ของอุปกรณ์ควบคุม รั้นอะราวด์คอยล์จะดูแลในเรื่องความสะอาดของคอยล์ การทำงานของปั้มและวาล์ว

5.5.4 ความยืดหยุ่น

ความยืดหยุ่นของอุปกรณ์เมื่อระบบมีการทำงานที่เปลี่ยนไป เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบหมุน จะถูกจำกัดทางด้านกรวางตำแหน่งของอุปกรณ์ ฮีตจำกัดในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เปลี่ยนแปลงจะเกิดจากการความสามารถในการปรับความเร็วในการหมุนของวงล้อฮีตไปป์ถูกจำกัดความสามารถทางโครงสร้างโดยเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการแลกเปลี่ยนความร้อน ประสิทธิภาพก็จะเปลี่ยนไป รั้นอะราวด์คอยล์จะมีความยืดหยุ่นในการย้ายตำแหน่งและมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนเปลี่ยนไปตามอัตราการไหลของของเหลวด้วยปั้ม

5.5.5 ข้อสรุปในการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัส

จากเกณฑ์ในการเลือกใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัสที่ได้กล่าวมา จะนำมาใส่ค่าถ่วงน้ำหนักให้คะแนนเพื่อเลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 5.2 โดยการให้คะแนนจะใช้ระบบเกรด กล่าวคือ A = 4.0, B+ = 3.5, B = 3.0, C+ = 2.5, C = 2.0, D+ = 1.5, D = 1.0, และ F = 0.0 ผลจากการให้คะแนนจะพบว่ารั้นอะราวด์คอยล์เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัสที่เหมาะสมที่สุด

ตารางที่ 5.2 การให้คะแนนเพื่อเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัสที่เหมาะสมที่สุด

เกณฑ์การเลือกใช้	ค่าถ่วงน้ำหนัก	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัสแบบหมุน		ฮีตที่ไปป์		รั้นอะราวด์คอยล์	
		เกรด	คะแนน	เกรด	คะแนน	เกรด	คะแนน
ประสิทธิภาพ	25	B+	87.5	B	75	B	75
การควบคุม	15	A	60	B	45	A	60
ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน	35	B	105	B	105	B+	122.5
การบำรุงรักษา	15	C+	37.5	B	45	B	45
ความยืดหยุ่น	10	B	30	C	20	B+	35
รวม	100		320		290		337.5

5.6 การเลือกเครื่องเติมอากาศภายนอกที่เหมาะสมสำหรับกรุงเทพมหานคร

5.6.1 ความต้องการด้านประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศ

เครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระในแต่ละรูปแบบสามารถให้ปริมาณอากาศได้ตามมาตรฐานการระบายอากาศและสามารถควบคุมความชื้นของอากาศที่ออกจากเครื่องเติมอากาศให้เป็นไปตามที่ออกแบบได้

5.6.2 ความต้องการขนาดทำความเย็นของเครื่องเติมอากาศ

ความต้องการด้านขนาดทำความเย็นเงื่อนไขนี้รวมถึงความต้องการระดับความชื้นของอากาศที่ออกจากเครื่องเติมอากาศเมื่อมีภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงไปตลอดทั้งปี โดยเมื่อพิจารณาจากหัวข้อความสามารถในการทำงานของเครื่องเติมอากาศภายนอกที่กล่าวมาก่อนหน้านี้จะพบว่าเครื่องเติมอากาศภายนอกแบบที่ 6 7 และ 8 มีอัตราส่วนความชื้นของเครื่องเติมอากาศและอากาศภายในอาคารที่สูงกว่าค่าที่ได้ออกแบบไว้ ส่วนเครื่องเติมอากาศรูปแบบอื่นๆ จะให้ผลที่ค่อนข้างตรงกับที่ออกแบบไว้ในช่วงโหม่งการทำงานของเครื่องเติมอากาศ โดยที่เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 9 จะมีค่าอัตราส่วนความชื้นของอากาศภายในอาคารที่ใกล้เคียงกับค่าที่ออกแบบมากที่สุด

5.6.3 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของเครื่องเติมอากาศ

ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของเครื่องเติมอากาศรูปแบบต่างๆ เป็นไปตามการคำนวณที่แสดงผลอยู่ในตารางที่ 5.1

5.6.4 ความน่าเชื่อถือของเครื่องเติมอากาศ

ความน่าเชื่อถือของเครื่องเติมอากาศแต่ละรูปแบบอยู่ในระดับเดียวกันในการระบายอากาศ กล่าวคือปริมาณอากาศที่เอาเข้าสู่อาคารถูกจัดการด้วยพัดลมที่เครื่องเติมอากาศที่มีอยู่เหมือนกันทุกรูปแบบ ดังนั้นถ้าพัดลมขัดข้อง ทุกรูปแบบก็就会有ความน่าเชื่อถือเท่ากัน ส่วนความน่าเชื่อถือในการควบคุมความชื้นจะพิจารณาว่าอุปกรณ์ในเครื่องเติมอากาศขัดข้องแล้วยังจะสามารถให้อากาศที่มีความชื้นตามต้องการหรือไม่

5.6.5 ความยืดหยุ่นของเครื่องเติมอากาศ

ความยืดหยุ่นของเครื่องเติมอากาศพิจารณาว่าเมื่อภาระทำความเย็นของอาคารเปลี่ยนแปลงไปเครื่องเติมอากาศรวมถึงระบบจะสามารถให้สภาวะออกแบบภายในตามที่ต้องการได้หรือไม่ จะพบว่าเครื่องเติมอากาศที่มีการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัสจะ

สามารถปรับอุณหภูมิของลมจ่ายที่ออกจากเครื่องเติมอากาศได้ ได้แก่ เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 (HxCoil) รูปแบบที่ 3 (CC+EW) รูปแบบที่ 4 (EW+HxCoil) และรูปแบบที่ 5 (CC+EW+SW)

5.6.6 ความยั่งยืน

เครื่องเติมอากาศภายนอกที่มีการใช้วงล้อเอนทาลปีนอกจากจะทำให้เกิดการประหยัดพลังงานในระบบแล้ว ยังช่วยลดการใช้พลังงานของโลกด้วย

5.6.7 ข้อสรุปในการออกแบบเครื่องเติมอากาศภายนอก

จากเกณฑ์การออกแบบเครื่องเติมอากาศภายนอก จะนำมาใส่ค่าถ่วงน้ำหนักให้คะแนนเพื่อเลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 5.3 โดยการให้คะแนนจะใช้ระบบเกรด กล่าวคือ A = 4.0, B+ = 3.5, B = 3.0, C+ = 2.5, C = 2.0, D+ = 1.5, D = 1.0, และ F = 0.0 ผลจากการให้คะแนนจะพบว่าเครื่องเติมอากาศภายนอกแบบที่ 4 เป็นเครื่องเติมอากาศภายนอกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับอาคารสำนักงาน ห้างสรรพสินค้า และโรงแรม ส่วนเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 เป็นเครื่องเติมอากาศที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโรงพยาบาล

ตารางที่ 5.3 การให้คะแนนเพื่อเลือกเครื่องเติมอากาศภายนอกที่เหมาะสมที่สุด

เกณฑ์การออกแบบ	ค่าถ่วงน้ำหนัก	รูปแบบที่ 1		รูปแบบที่ 2		รูปแบบที่ 3	
		เกรด	คะแนน	เกรด	คะแนน	เกรด	คะแนน
ประสิทธิภาพ	20	A	80	A	80	A	80
ขนาดทำความเย็น	20	B	60	B	60	B	60
ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน	30	B	90	B	90	A	120
ความน่าเชื่อถือ	10	B	30	B	30	B	30
ความยืดหยุ่น	10	C+	25	B+	35	B	30
ความยั่งยืน	10	B	30	B+	35	B+	35
รวม	100		315		330		355

ตารางที่ 5.3 (ต่อ)

เกณฑ์การออกแบบ	ค่าถ่วง น้ำหนัก	รูปแบบที่ 4		รูปแบบที่ 5		รูปแบบที่ 6	
		เกรด	คะแนน	เกรด	คะแนน	เกรด	คะแนน
ประสิทธิภาพ	20	A	80	A	80	A	80
ขนาดทำความเย็น	20	B	60	B	60	C+	50
ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน	30	A	120	B+	105	C+	75
ความน่าเชื่อถือ	10	B	30	B	30	C+	25
ความยืดหยุ่น	10	B+	35	B+	35	B	30
ความยั่งยืน	10	B+	35	B+	35	B	30
รวม	100		360		345		290

ตารางที่ 5.3 (ต่อ)

เกณฑ์การออกแบบ	ค่าถ่วง น้ำหนัก	รูปแบบที่ 7		รูปแบบที่ 8		รูปแบบที่ 9	
		เกรด	คะแนน	เกรด	คะแนน	เกรด	คะแนน
ประสิทธิภาพ	20	A	80	A	80	A	80
ขนาดทำความเย็น	20	C+	50	C+	50	B+	70
ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน	30	B+	105	B+	105	C	90
ความน่าเชื่อถือ	10	C+	25	C+	25	C+	25
ความยืดหยุ่น	10	B	30	B	30	B	30
ความยั่งยืน	10	B+	35	B+	35	B	30
รวม	100		325		325		325

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการศึกษาเครื่องเติมอากาศภายนอกในรูปแบบต่างๆ ที่เหมาะสำหรับการใช้งานในอาคารประเภทต่างๆ ที่ตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานคร โดยการจำลองระบบผ่านโปรแกรมการใช้พลังงานในอาคาร ผลการจำลองระบบจะแสดงผลงานที่ใช้ของเครื่องเติมอากาศรูปแบบต่างๆ อันนำไปสู่การหาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และความสามารถในการทำงานของเครื่องเติมอากาศรูปแบบต่างๆ นอกจากนี้ปัจจัยอื่นๆ ในการเลือกใช้เครื่องเติมอากาศได้ถูกนำมาพิจารณาด้วย โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. เครื่องเติมอากาศภายนอกที่เหมาะสมสำหรับอาคารสำนักงาน ห้างสรรพสินค้า และโรงแรมที่ตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานครคือเครื่องเติมอากาศที่ประกอบไปด้วย คอยล์เย็น รั้นอะรราวน์คอยล์ และวงล้อเอนทาลปี โดยเครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้สามารถประหยัดการใช้พลังงานรวมทั้งระบบได้ 15-30% เมื่อเทียบกับเครื่องเติมอากาศที่มีองค์ประกอบเพียงคอยล์เย็นเพียงอย่างเดียวและเมื่อคิดค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานที่เวลา 15 ปี จะพบว่าระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้จะสามารถลดค่าใช้จ่ายไปได้ 14-23% อุปกรณ์ที่นำมาสร้างเครื่องเติมอากาศนี้สามารถหาซื้อได้ง่ายในประเทศไทย และนอกจากนี้จะพบว่า เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้มีความยืดหยุ่นรองรับกับภาระทำความเย็นที่เปลี่ยนแปลงไปของอาคารได้

2. เครื่องเติมอากาศภายนอกที่เหมาะสมสำหรับโรงพยาบาลคือเครื่องเติมอากาศที่ประกอบไปด้วย คอยล์เย็นและรั้นอะรราวน์คอยล์ จะแตกต่างจากอาคารประเภทอื่นที่ไม่มีการใช้วงล้อเอนทาลปี เพราะอากาศที่ระบายออกจากโรงพยาบาลไม่สะอาดถ้าใช้วงล้อเอนทาลปีมีโอกาสที่เกิดการปนเปื้อนกับอากาศที่เติมเข้าสู่อาคารได้ โดยเครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้ ใช้พลังงานรวมทั้งระบบสูงกว่า เครื่องเติมอากาศที่มีองค์ประกอบเพียงคอยล์เย็นเพียงอย่างเดียวประมาณ 0.5% และเมื่อคิดค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานที่เวลา 15 ปี จะพบว่าระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้มีค่าใช้จ่ายสูงกว่า 1.3 % แต่เมื่อพิจารณาผลประโยชน์อย่างอื่นที่ได้นอกจากด้านพลังงานแล้ว เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้สามารถใช้งานได้เมื่อมีความต้องการภายในอาคารต่างไป เช่น เมื่อ

ต้องการอากาศที่ความชื้นต่ำแต่ไม่ต้องการให้มีความเย็นต่ำเกินไป เครื่องเติมอากาศรูปแบบนี้ก็จะสามารถให้ความร้อนซ้ำโดยที่ไม่ต้องเสียพลังงานจากการใช้คอยล์ร้อนเพิ่ม

3. การใช้เครื่องเติมอากาศภายนอกกับอาคารประเภทห้างสรรพสินค้า ไม่สามารถทำให้เครื่องเติมอากาศภายนอกจัดการกับภาระความร้อนแฝงของอาคารได้หมด เพราะอาคารประเภทนี้มีความหนาแน่นของผู้ใช้อาคารสูง ทำให้ต้องการอัตราส่วนความชื้นของอากาศที่ออกจากเครื่องเติมอากาศที่ต่ำมาก และเครื่องเติมอากาศที่ได้ออกแบบมาก่อนหน้านี้ไม่สามารถทำได้ ดังนั้นระบบอาคารประเภทห้างสรรพสินค้าควรยอมให้มีการกลั่นตัวของน้ำที่เครื่องเป่าลมเย็นภายในอาคาร

6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัย

ข้อมูลอากาศของกรุงเทพมหานครที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ยังไม่ทันสมัยพอสำหรับสภาพอากาศในปัจจุบันที่มีสภาพอากาศแปรปรวน ฝนตกผิดช่วงเวลา หรืออากาศหนาวผิดปกติ ดังนั้นข้อมูลอากาศที่นำมาใช้ควรมีปัจจัยในส่วนนี้เพิ่มไปในข้อมูลด้วย

นอกจากเครื่องเติมอากาศภายนอกที่ได้ออกแบบมาในงานวิจัยนี้แล้ว ยังเทคโนโลยีในการลดความชื้นอีก 1 เทคโนโลยีที่น่าสนใจในการทำวิจัยในอนาคตคือเทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลว โดยเป็นกระบวนการที่ใกล้เคียงการใช้วงล้อดูดความชื้น แต่เปลี่ยนเป็นการใช้ของเหลวในการดูดความชื้นที่มีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานกว่า แต่เทคโนโลยีนี้ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ด้วยการจำลองระบบได้ ต้องอาศัยการวิเคราะห์และการทดลองเพื่อพิจารณาหาประสิทธิภาพต่อไป

รายการอ้างอิง

- ASHRAE. 2000 ASHRAE Handbook HVAC Systems and Equipment, Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigeration and Air Condition Engineers, 2000.
- ASHRAE. 2003 ASHRAE Handbook HVAC Applications, Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigeration and Air Condition Engineers, 2003.
- ASHRAE. 2005 ASHRAE Handbook Fundamentals, Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigeration and Air Condition Engineers, 2005.
- ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2007, Ventilation for acceptable indoor air quality, Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigeration and Air Condition Engineers, 2007.
- ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 90.1-2010, Energy Standard for Buildings Except Low-rise Residential Buildings, Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigeration and Air Condition Engineers, 2010.
- Chae, Y. T., Stramd R.K. Development of A Dedicated Outdoor Air System (DOAS) Module For A Whole Building Annual Energy Simulation Program, SimBuild, (2010)
- DOE, EnergyPlus: Engineering Reference, Version 6.0, Department of Energy,(2010)
- Gatley, D. P. Dehumidification Enhancements for 100-percent-Outside-Air AHUs. Part 2 of 3. HPAC Heating/Piping/Air Conditioning Engineering, Oct 2000.
- Liu, W., Lian, Z., Radermacherb, R., Tao, Y. Energy consumption analysis on a dedicated outdoor air system with rotary desiccant wheel. Energy 32 (2007) :1749-1760
- McDowell, T.P., Emmerich, S.J. Analysis of A Dedicated Outdoor Air System for Difference Climates, Building Simulation (2005)
- Morris, W. The ABCs of DOAS: dedicated outdoor air systems. ASHRAE Journal 49 (2003):127-129.

Mumma, S.A. Overview of integrating dedicated outdoor air systems with parallel terminal systems, ASHRAE Transactions 107(2001) :545-552.

Mumma, S.A., Shank, K.M. Achieving Dry Outside Air in an Energy-Efficient Manner, ASHRAE Transactions 107(2001) :553-561.

Mumma, S.A., Shank, K.M. Selecting The Supply Air Conditions For A Dedicated Outdoor Air System Working In Parallel With Distributed Sensible Cooling Terminal Equipment, ASHRAE Transactions 107(2001) :562-570.

Mumma, S.A. DOAS and Desiccants, Courtesy of Engineered Systems (2007)

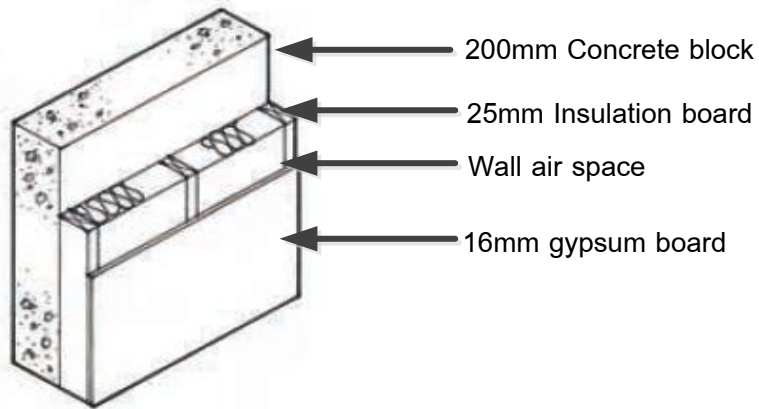
Murphy,. J. Smart Dedicated Outdoor Air Systems, ASHRAE Journal 48 (2006)

ภาคผนวก

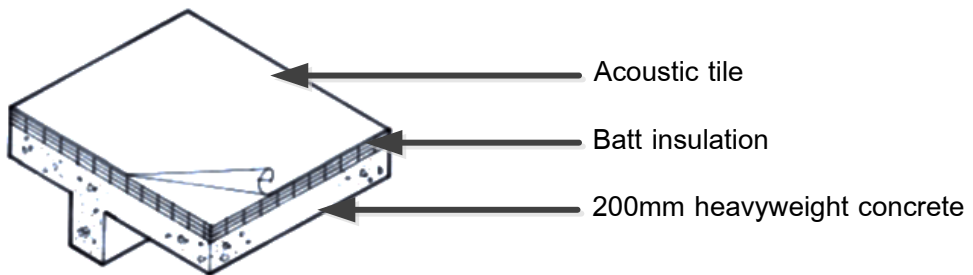
ภาคผนวก ก

ข้อมูลของกรอบอาคารที่ใช้ในการจำลองระบบ

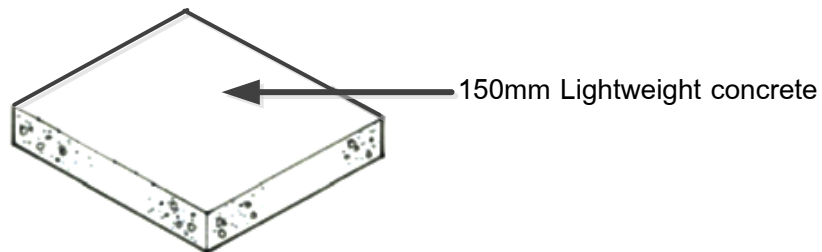
วัสดุที่ใช้สร้างเป็นกรอบอาคารแต่ละชนิด ที่แสดงในตารางที่ 4.6 นั้นได้อ้างอิงจากมาตรฐาน ASHRAE 90.1-2010, Energy Standard for Buildings Except Low-rise Residential Buildings กรอบอาคารแต่ละส่วนสามารถแสดงวัสดุพร้อมคุณสมบัติอยู่ในตารางที่ ก.1 โดยรูปแบบของหลังคา ผนัง และพื้น แสดงอยู่ในภาพที่ ก.1 ถึง ภาพที่ ก.3 ตามลำดับ



ภาพที่ ก.1 โครงสร้างของผนังที่ใช้สร้างแบบจำลองอาคาร



ภาพที่ ก.2 โครงสร้างของหลังคาที่ใช้สร้างแบบจำลองอาคาร



ภาพที่ ก.3 โครงสร้างของพื้นที่ใช้สร้างแบบจำลองอาคาร

ตารางที่ ก.1 โครงสร้างและคุณสมบัติของกรอบอาคารที่ใช้ในแบบจำลอง

วัสดุ	ค่านำความร้อน W/m.K	ค่าความหนาแน่น kg/m ³	ค่าความร้อนจำเพาะ J/kg.K
ผนัง R-15 c.i.			
-คอนกรีตบล็อกหนา 200 มิลลิเมตร	1.11	800	920
-ฉนวนกันความร้อนหนา 25 มิลลิเมตร	0.03	43	1210
-ช่องว่างอากาศ	0.986	1.177	1006
-แผ่นยิปซัมหนา 16 มิลลิเมตร	0.16	800	1090
หลังคา R-15			
-คอนกรีตมวลหนักหนา 200 มิลลิเมตร	1.95	2240	900
-ฉนวนกันความร้อนหนา 75 มิลลิเมตร	0.03	43	1210
-แผ่นดูดซับเสียง	0.06	368	590
หลังคา R-20			
-คอนกรีตมวลหนักหนา 200 มิลลิเมตร	1.95	2240	900
-ฉนวนกันความร้อนหนา 154 มิลลิเมตร	0.05	19	960
-แผ่นดูดซับเสียง	0.06	368	590
หลังคา R-25			
-คอนกรีตมวลหนักหนา 200 มิลลิเมตร	1.95	2240	900
-ฉนวนกันความร้อนหนา 244 มิลลิเมตร	0.05	19	960
-แผ่นดูดซับเสียง	0.06	368	590
พื้น R-4.2 c.i.			
-คอนกรีตมวลเบาหนา 150 มิลลิเมตร	0.53	1280	840

ภาคผนวก ข

การสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม EnergyPlus

การสร้างแบบจำลองระบบของโปรแกรม EnergyPlus ในส่วนของอุปกรณ์และระบบจ่ายน้ำเย็น/น้ำร้อน ของระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

1. โรงจ่ายน้ำเย็น/น้ำร้อน

น้ำเย็น/น้ำร้อนที่จ่ายให้กับระบบในงานวิจัยนี้ จะใช้ระบบ District Cooling and heating คือโปรแกรมจะสร้างแบบจำลองโรงงานสร้างน้ำเย็น/น้ำร้อนจากส่วนกลางมาสู่อาคาร มีข้อดีคือเราไม่จำเป็นต้องสร้างแบบจำลองของเครื่องทำน้ำเย็นและส่วนระบายความร้อนที่มีความซับซ้อน อีกทั้งเป็นส่วนที่งานวิจัยนี้ไม่สนใจ สิ่งที่ต้องสร้างคือระบบจ่ายน้ำที่ประกอบด้วยปั๊มและท่อต่าง ๆ สำหรับสร้างเป็นลู่อจ่ายน้ำเย็น/น้ำร้อนไปที่คอยล์ต่าง ๆ ในระบบของอาคาร

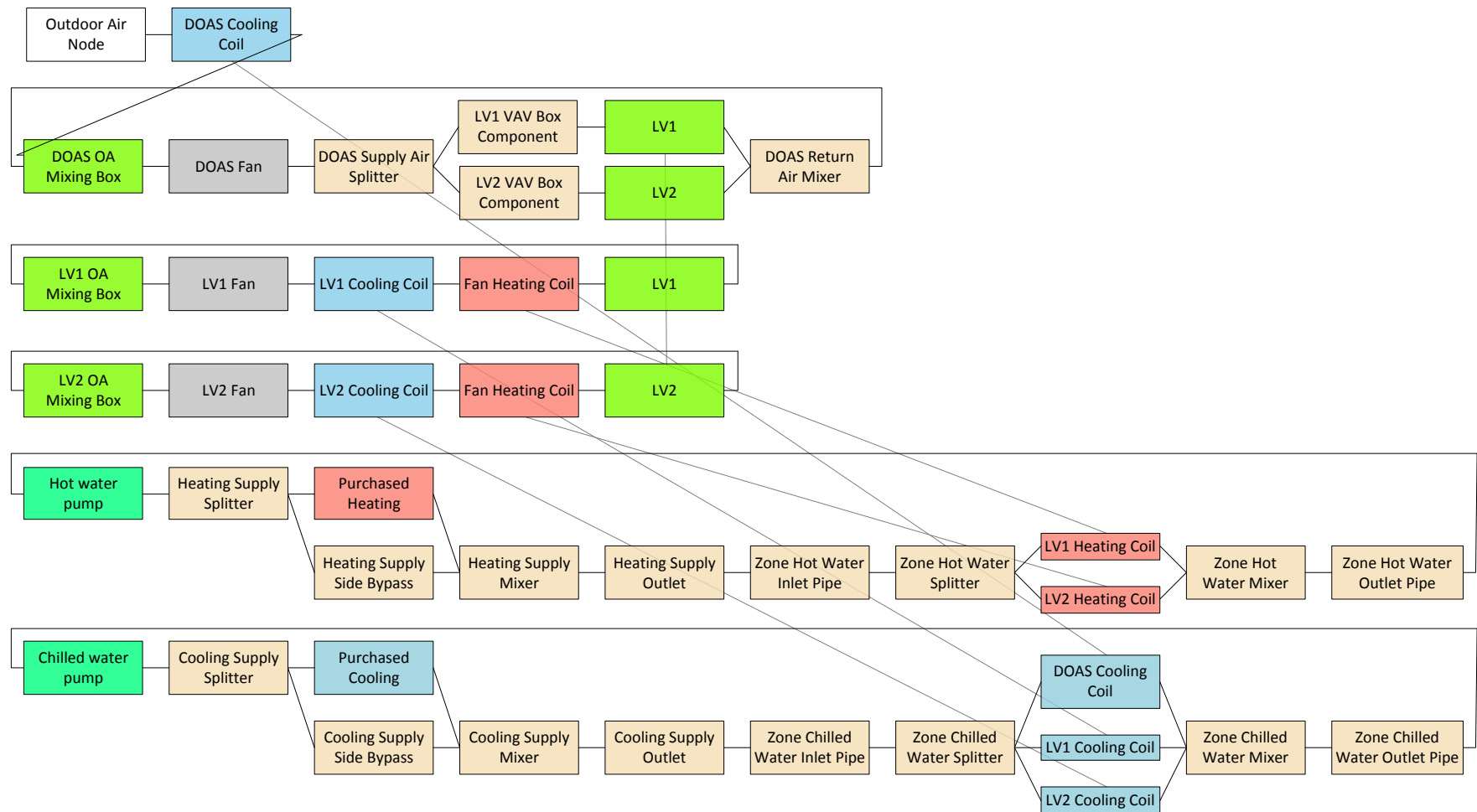
2. เครื่องเป่าลมเย็นในแต่ละโซนของอาคาร

การสร้างแบบจำลองของเครื่องเป่าลมเย็นในแต่ละโซน จะใช้ Fourpipe fancoil ร่วมกับพัดลม โดยจะกำหนดให้คอยล์ร้อนไม่ต้องทำงาน และไม่มีเครื่องเติมอากาศภายนอกเข้าสู่โซนโดยตรง แต่จะให้อากาศที่ออกมาจากลู่อเครื่องเติมอากาศภายนอกผ่านกลอง VAV การควบคุมสถานะของโซน จะปล่อยให้อากาศที่ออกมาจากกลอง VAV เข้าสู่โซนตามปริมาณที่ได้ออกแบบไว้ก่อน จากนั้นจะคอยล์เย็นทำงานจนได้อุณหภูมิของโซนตามที่ได้ออกแบบไว้

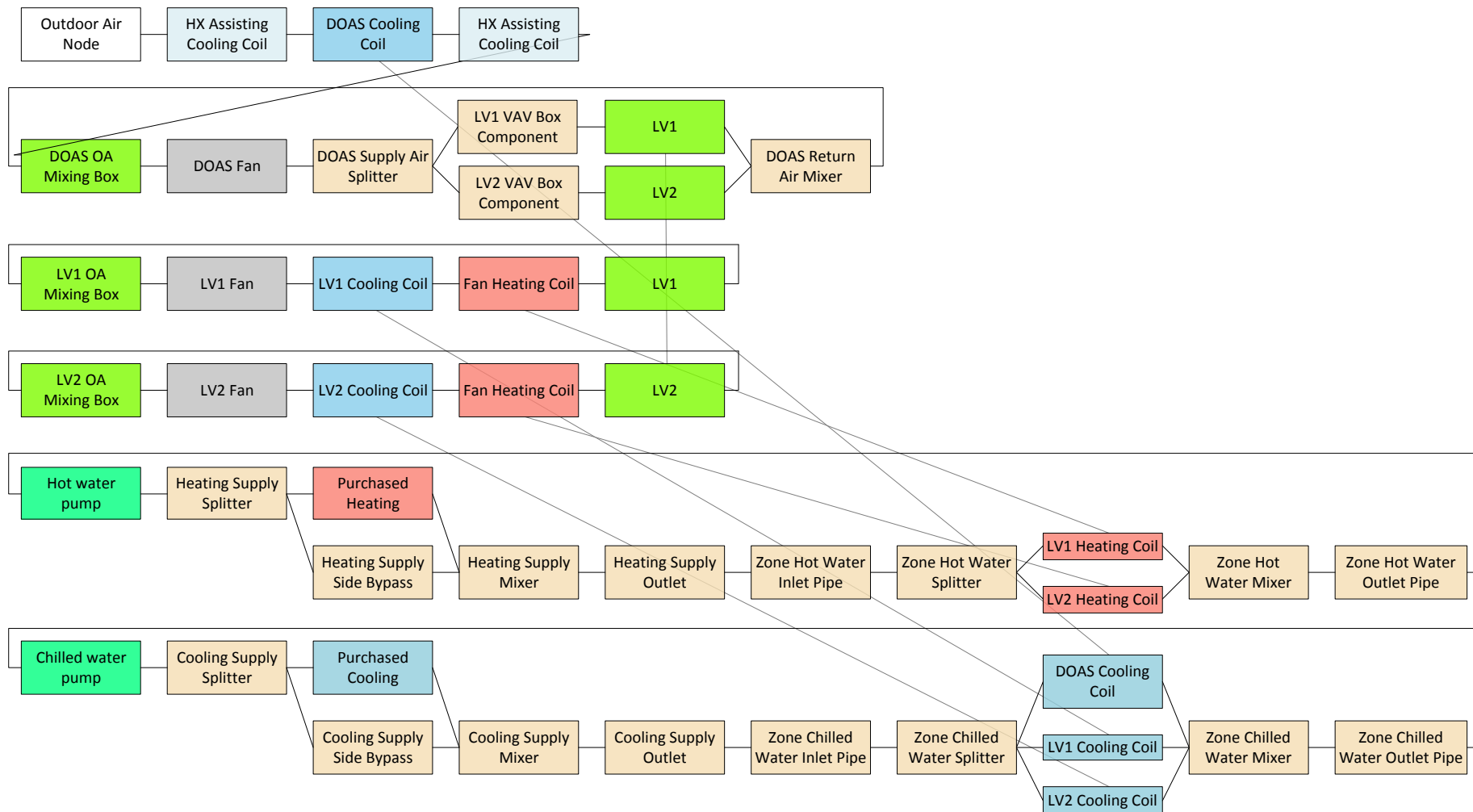
3. เครื่องเติมอากาศภายนอก

แบบจำลองของเครื่องเติมอากาศภายนอกจะสร้างเป็นลู่ออากาศหลัก ที่ประกอบไปด้วยคอยล์เย็น พัดลม กลองผสมอากาศ และอุปกรณ์อื่นๆ ตามรูปแบบของเครื่องเติมอากาศ กลองผสมอากาศนั้นจะถูกตั้งไม่ให้อากาศที่ย้อนกลับจากอาคารไม่ให้ผสมกับอากาศภายนอกที่เติมเข้ามา เพื่อให้เป็นระบบอากาศภายนอก 100 % ปริมาณอากาศภายนอกที่เติมเข้ามาสู่ระบบจะมีการควบคุมให้มีปริมาณตามที่กำหนดไว้

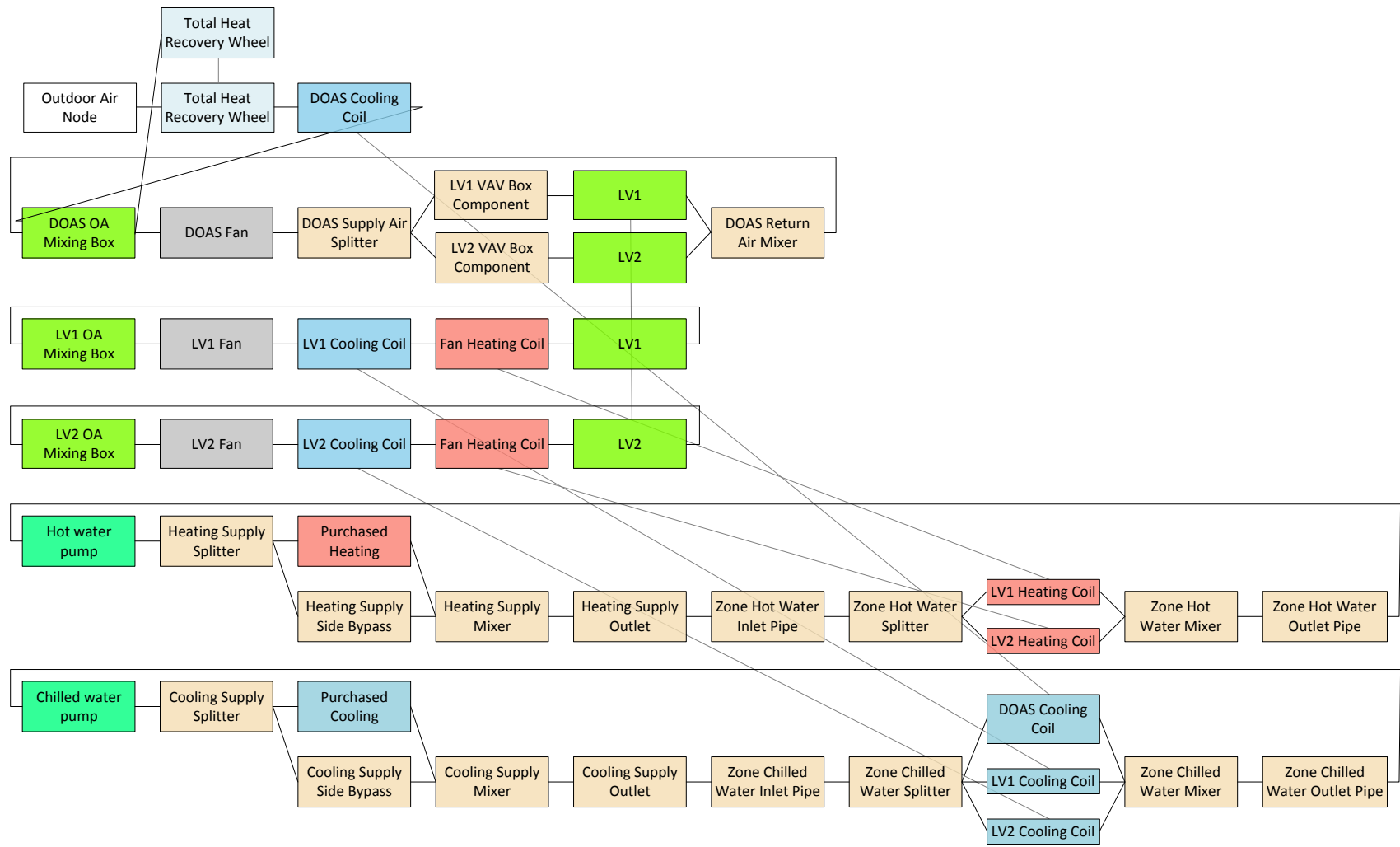
แบบจำลองของระบบปรับอากาศในแต่ละอาคาร จะมีโครงสร้างทั้ง 3 ส่วนที่เหมือนกันต่างกันที่ขนาดและจำนวนอุปกรณ์ และในส่วนของเครื่องเติมอากาศภายนอกนั้น ก็จะมีรูปแบบต่างๆ ตามที่ได้ออกแบบไว้ แผนผัง HVAC ของระบบที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบต่างๆ สามารถแสดงในภาพที่ ข.1 ถึง ภาพที่ ข. 9 โดยแสดงสำหรับเครื่องเติมอากาศ 1 เครื่องต่ออาคาร 2 ชั้น



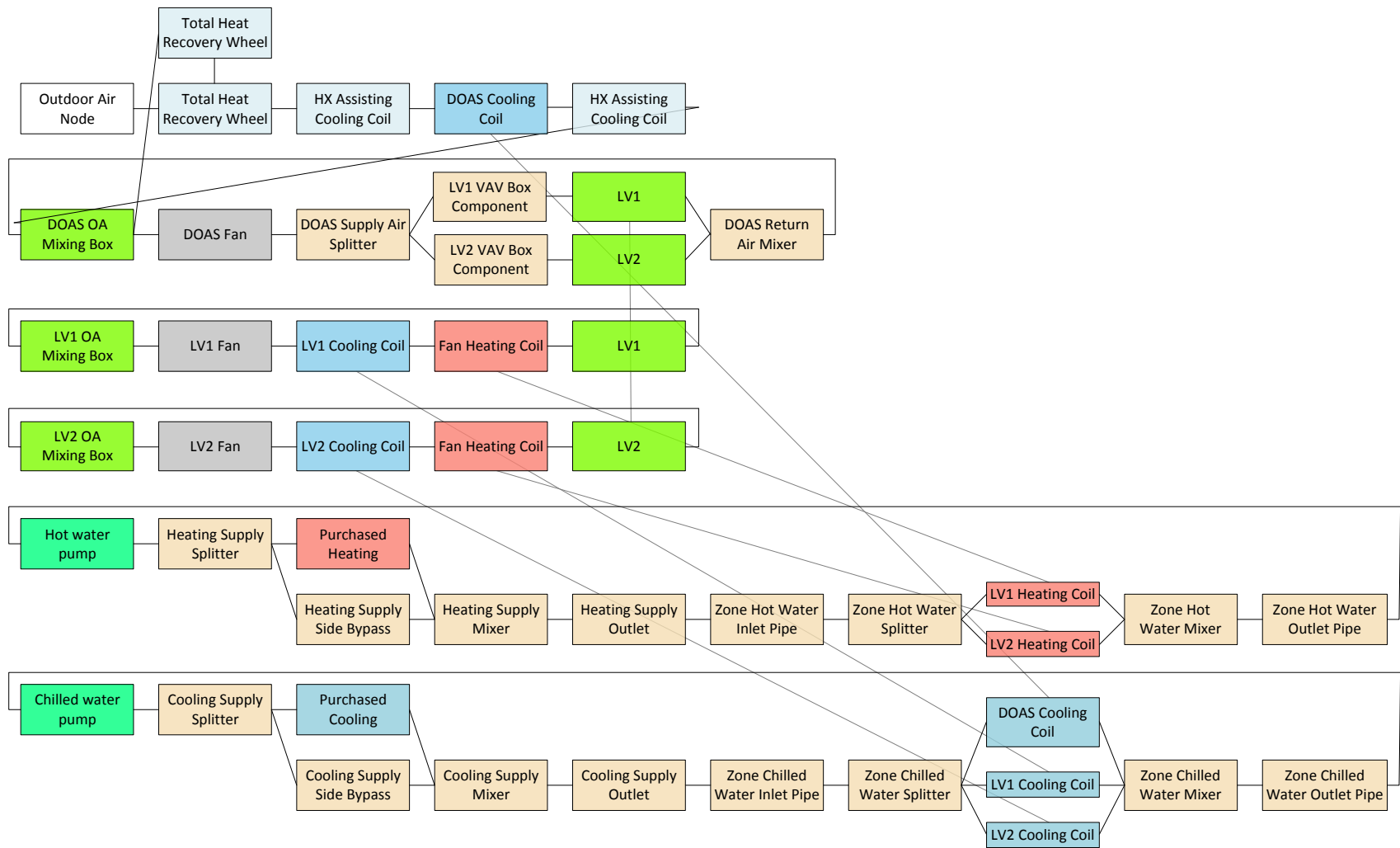
ภาพที่ ข.1 แผนผัง HVAC จากโปรแกรมEnergyPlus ของแบบจำลองระบบที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 (CC)



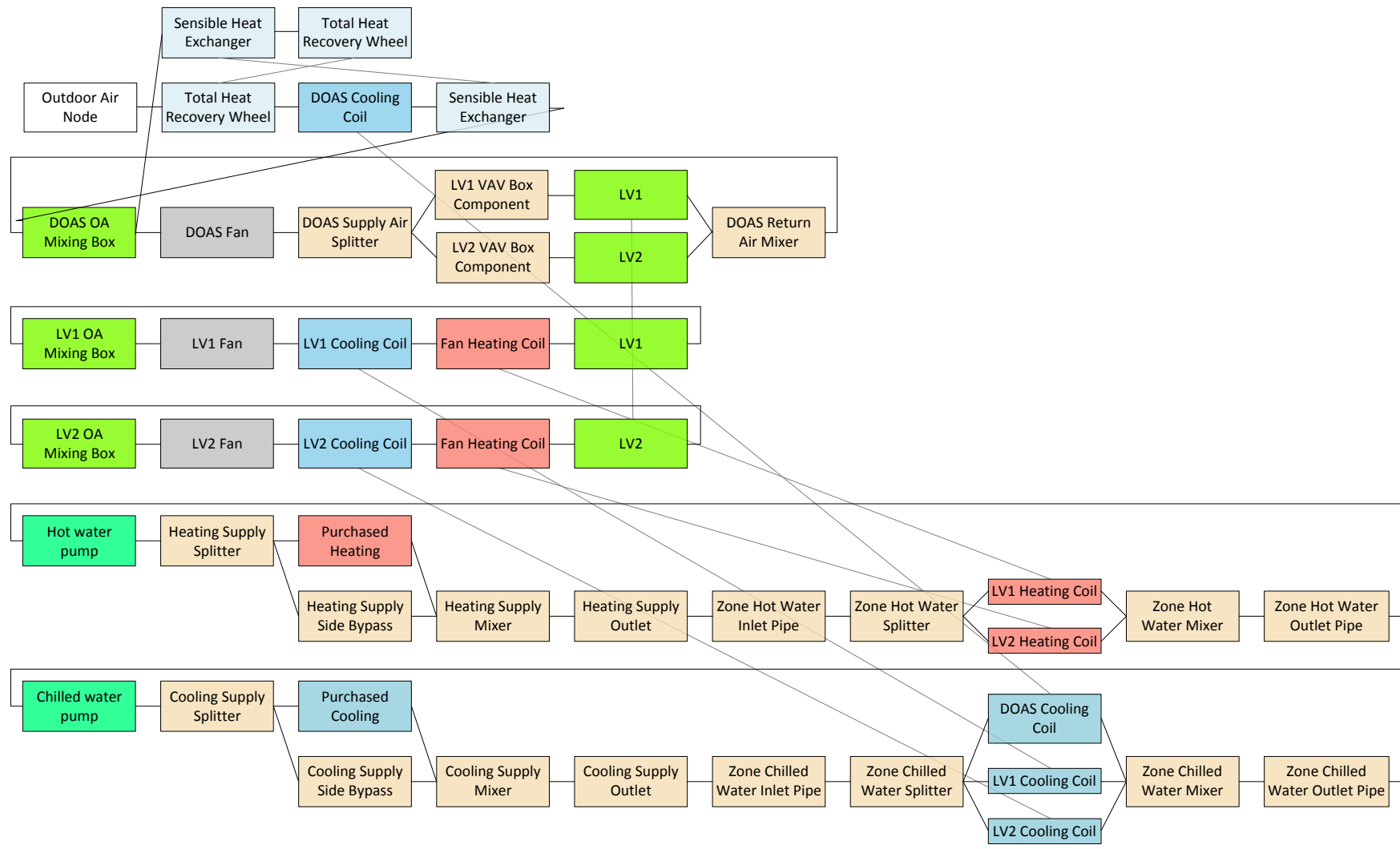
ภาพที่ ข.2 แผนผัง HVAC จากโปรแกรมEnergyPlus ของแบบจำลองระบบที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 (HxCoil)



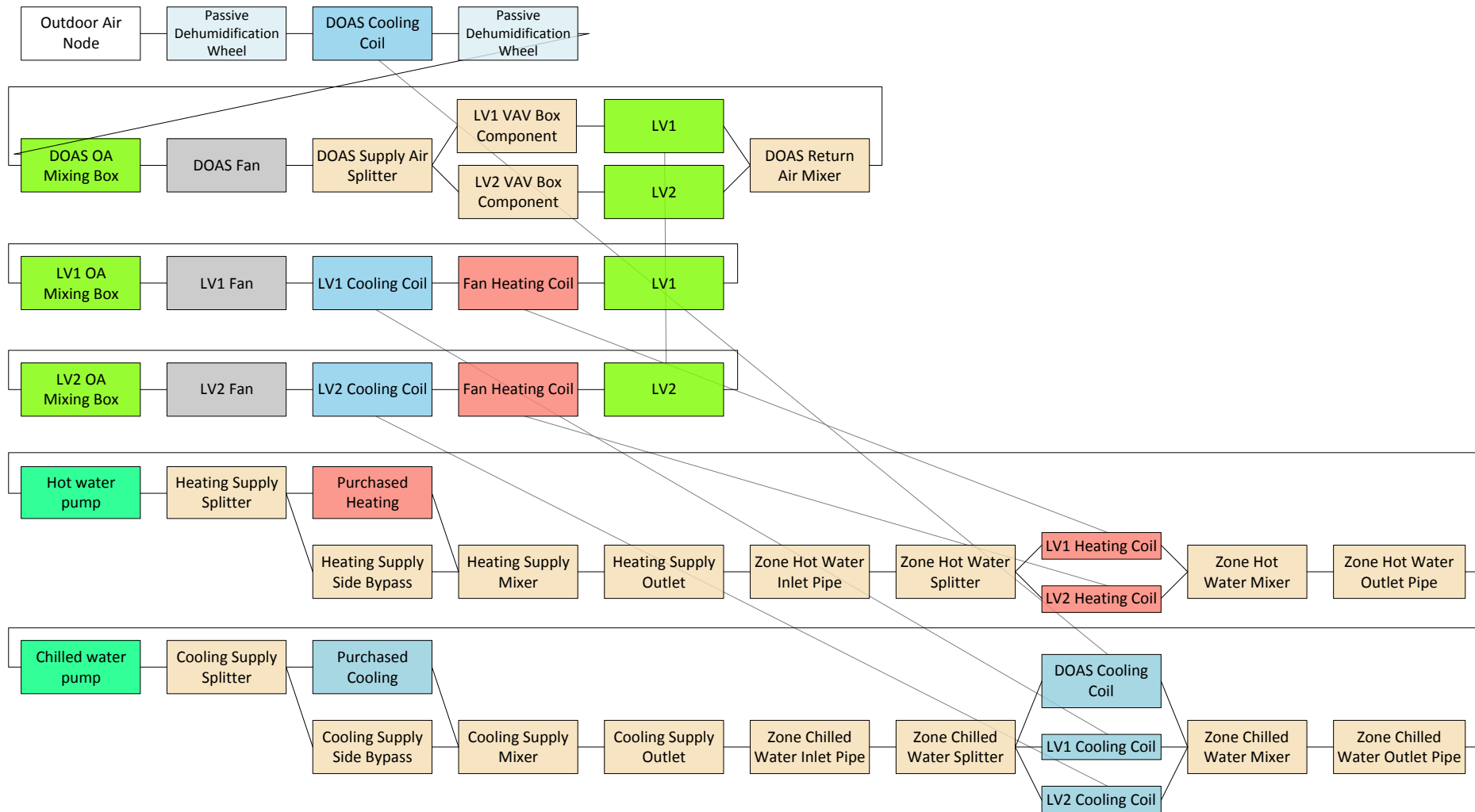
ภาพที่ ข.3 แผนผัง HVAC จากโปรแกรมEnergyPlus ของแบบจำลองระบบที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 3 (EW+CC)



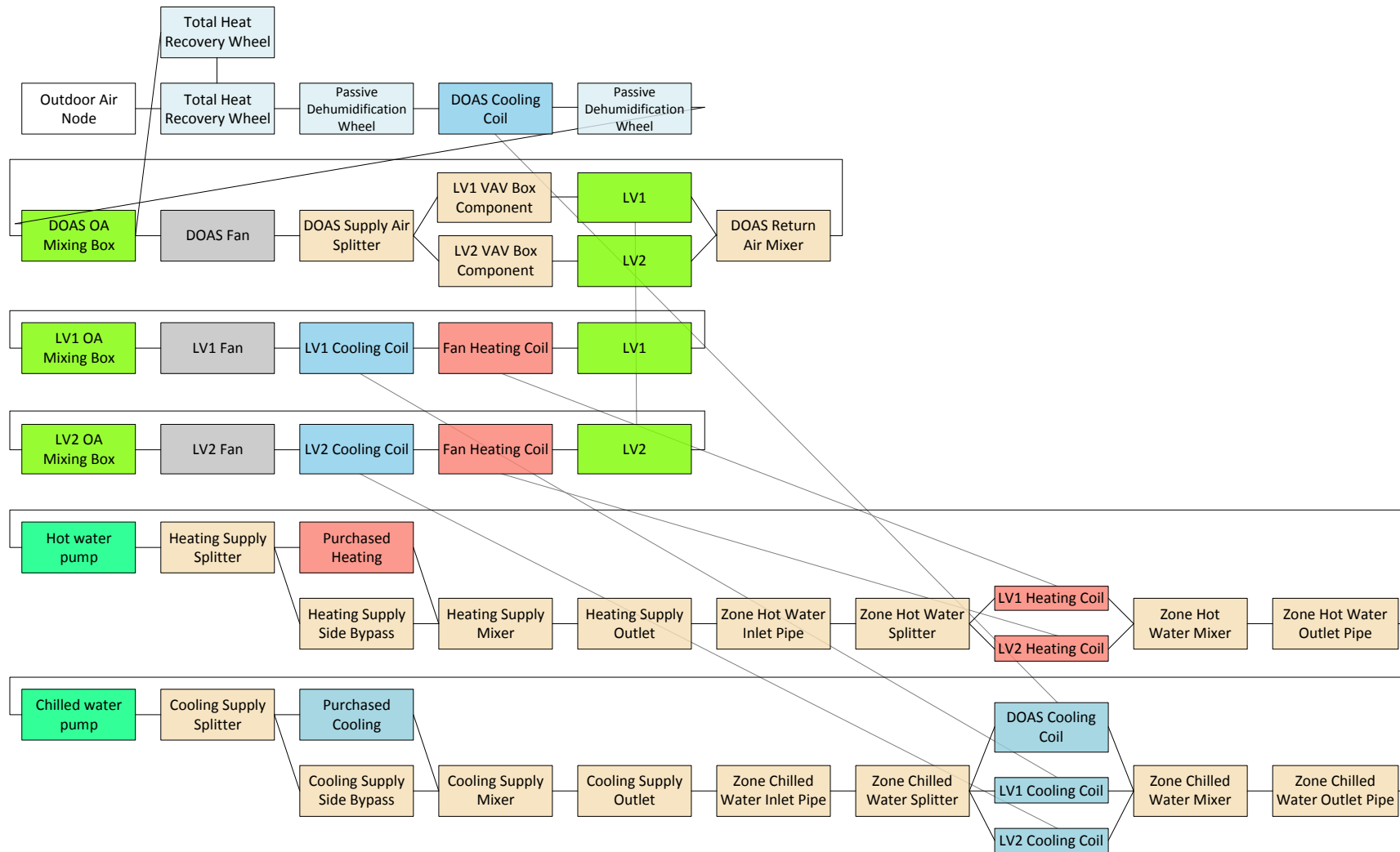
ภาพที่ ข.4 แผนผัง HVAC จากโปรแกรมEnergyPlus ของแบบจำลองระบบที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 4 (EW+HxCoil)



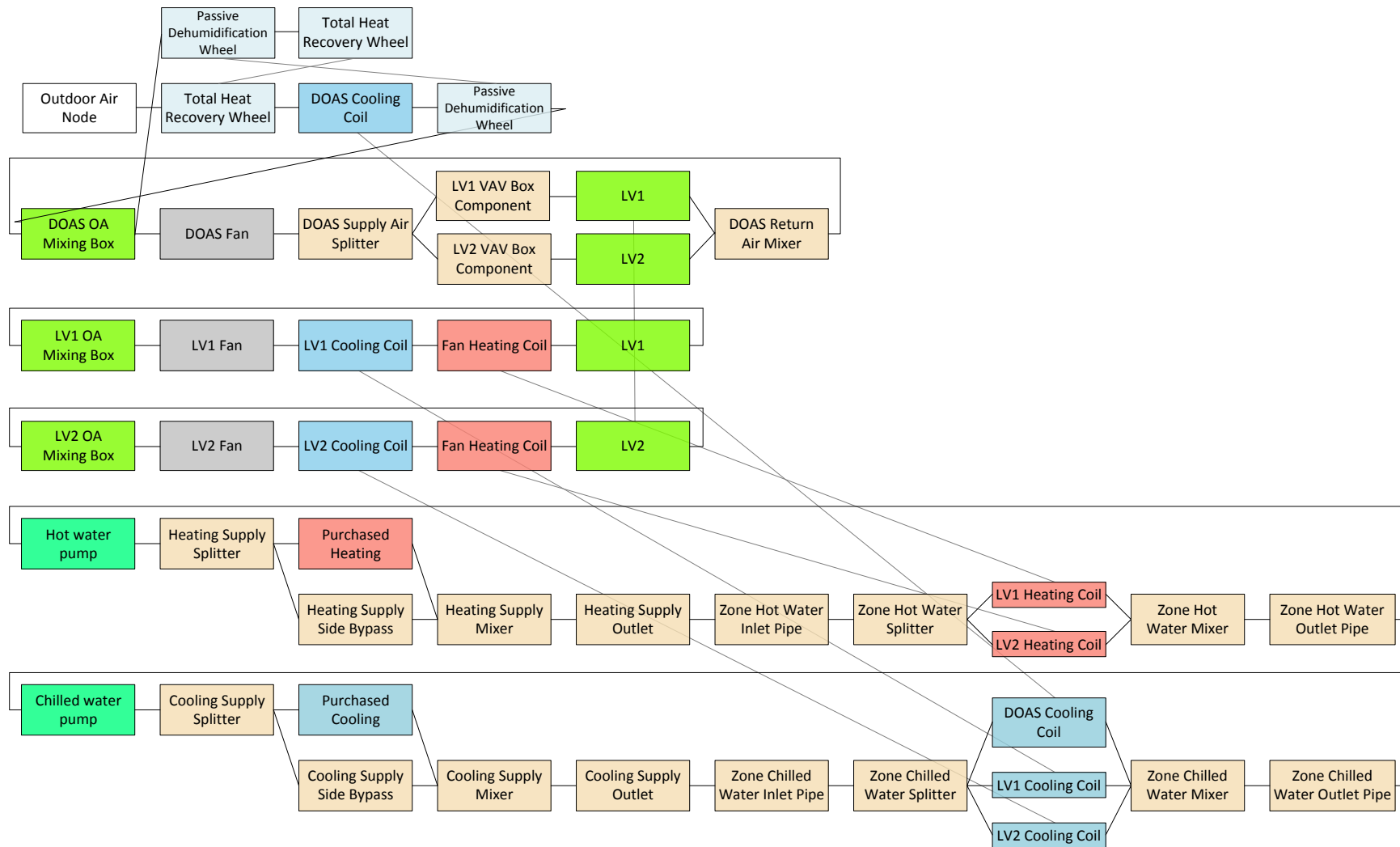
ภาพที่ ข.5 แผนผัง HVAC จากโปรแกรมEnergyPlus ของแบบจำลองระบบที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 5 (EW+CC+SW)



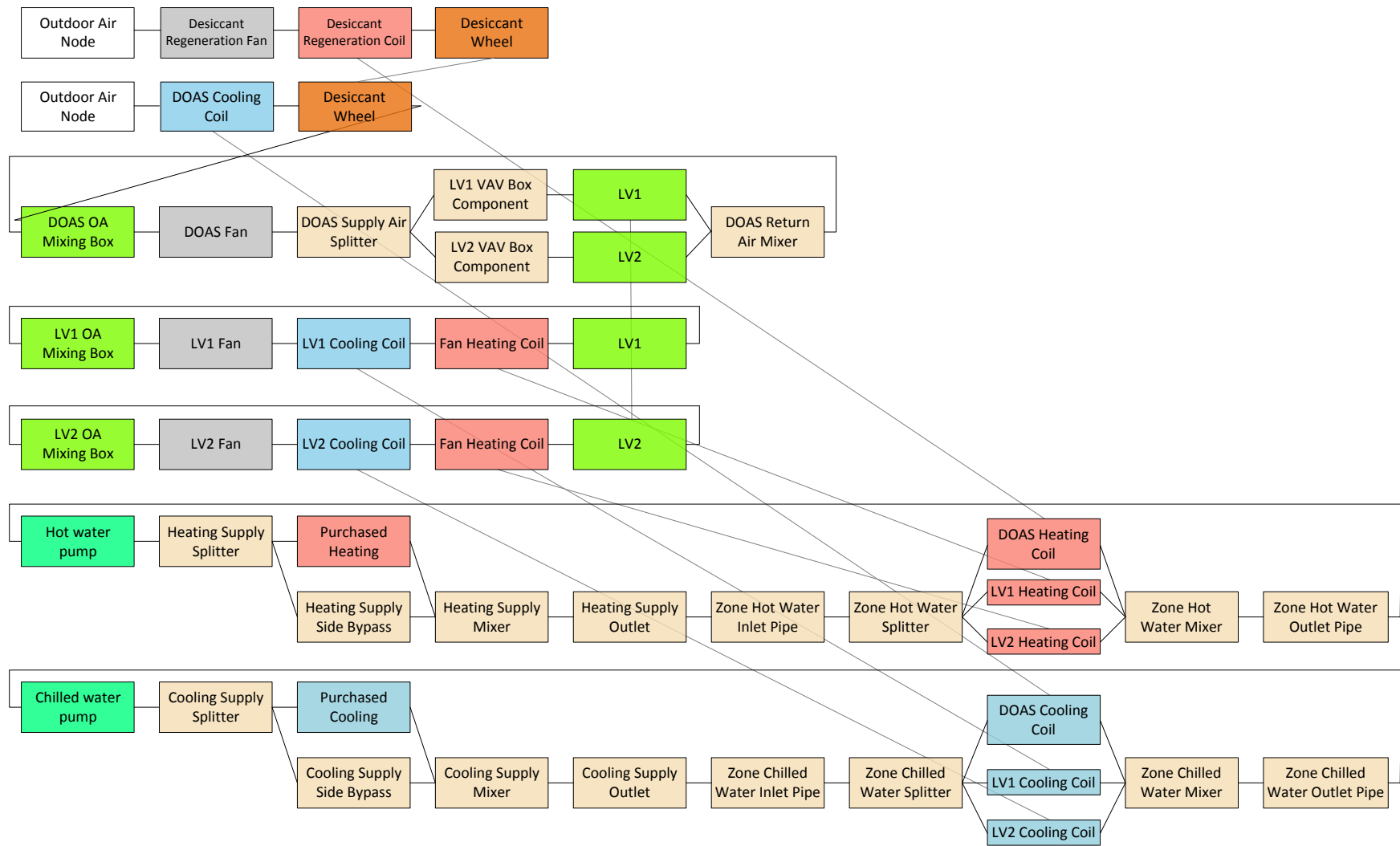
ภาพที่ ข.6 แผนผัง HVAC จากโปรแกรมEnergyPlus ของแบบจำลองระบบที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 6 (CC+PDHC)



ภาพที่ ข.7 แผนผัง HVAC จากโปรแกรมEnergyPlus ของแบบจำลองระบบที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 7 (EW+PDHC+CC)



ภาพที่ ข.8 แผนผัง HVAC จากโปรแกรมEnergyPlus ของแบบจำลองระบบที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 8 (EW+CC+PDHC)



ภาพที่ ข. 9 แผนผัง HVAC จากโปรแกรมEnergyPlus ของแบบจำลองระบบที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 9 (CC+ADesW)

ภาคผนวก ค

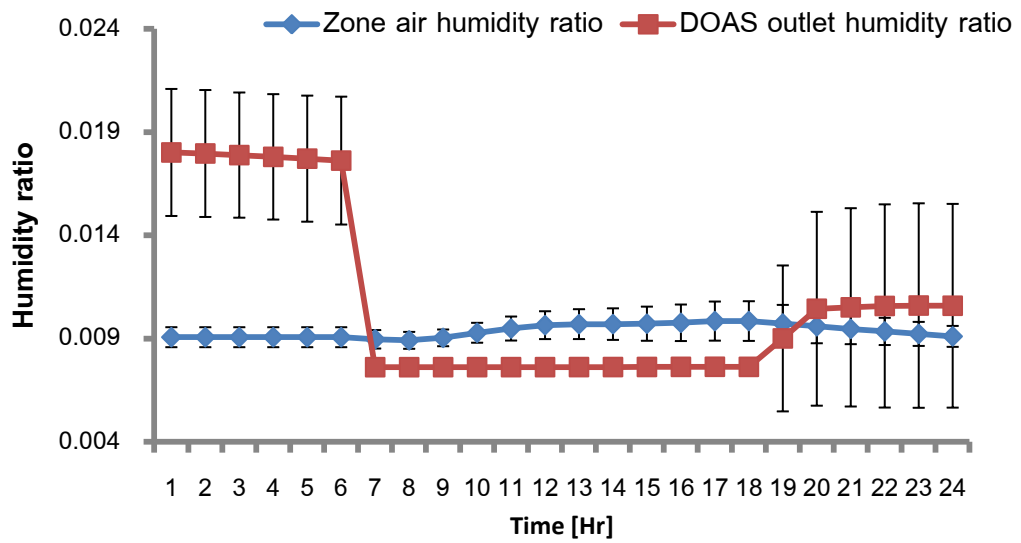
ความสามารถในการทำงานของเครื่องเติมอากาศภายนอก

ความสามารถของเครื่องเติมอากาศภายนอกถูกแสดงด้วยอัตราส่วนความชื้นที่ออกมาจากเครื่องเติมอากาศ และอัตราส่วนความชื้นของพื้นที่ในภายในอาคารในช่วงเวลาทำงานตลอดระยะเวลาการดำเนินงาน 1 ปี ว่าสามารถทำงานได้ตรงตามที่ได้รับออกแบบไว้หรือไม่

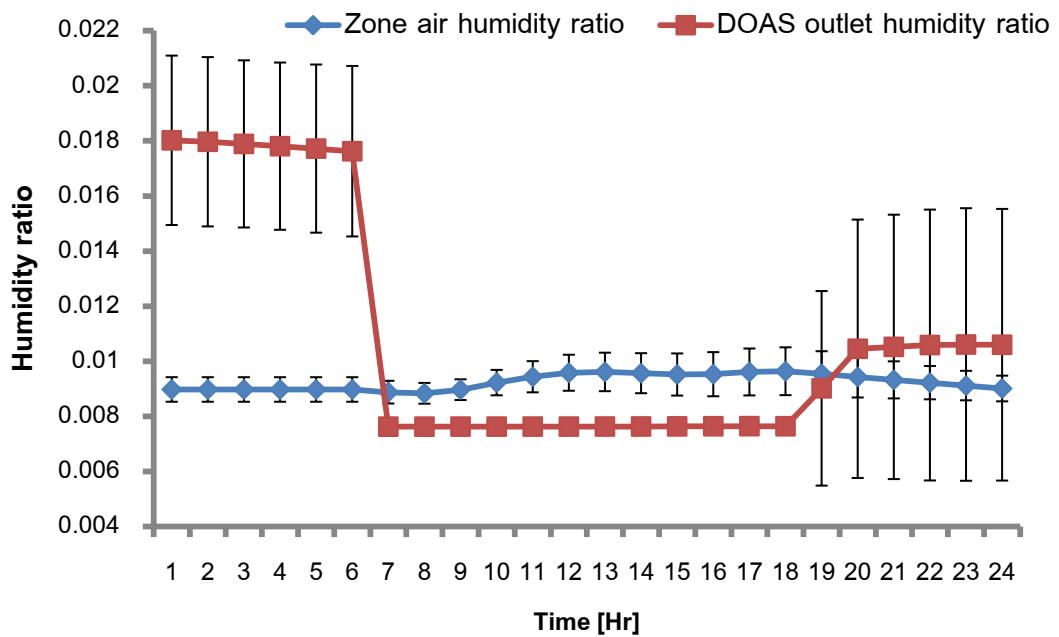
ความสามารถในการดำเนินงานของเครื่องเติมอากาศภายนอกแสดงอยู่ในภาพที่ ค.1 ถึง ภาพที่ ค.31 ซึ่งแสดงค่าอัตราส่วนความชื้นของอากาศเฉลี่ยที่วัดได้ในแต่ละชั่วโมง ตลอดระยะเวลาการดำเนินงาน 1 ปี พร้อมทั้งแสดงค่าความแปรปรวนของข้อมูลขนาด 1 SD ค่าอัตราส่วนความชื้นของสภาวะออกแบบภายในและอัตราส่วนความชื้นของเครื่องเติมอากาศ ของอาคารแต่ละชนิดแสดงอยู่ในตารางที่ ค.1

ตารางที่ ค.1 อัตราส่วนความชื้นของอาคารแต่ละชนิด

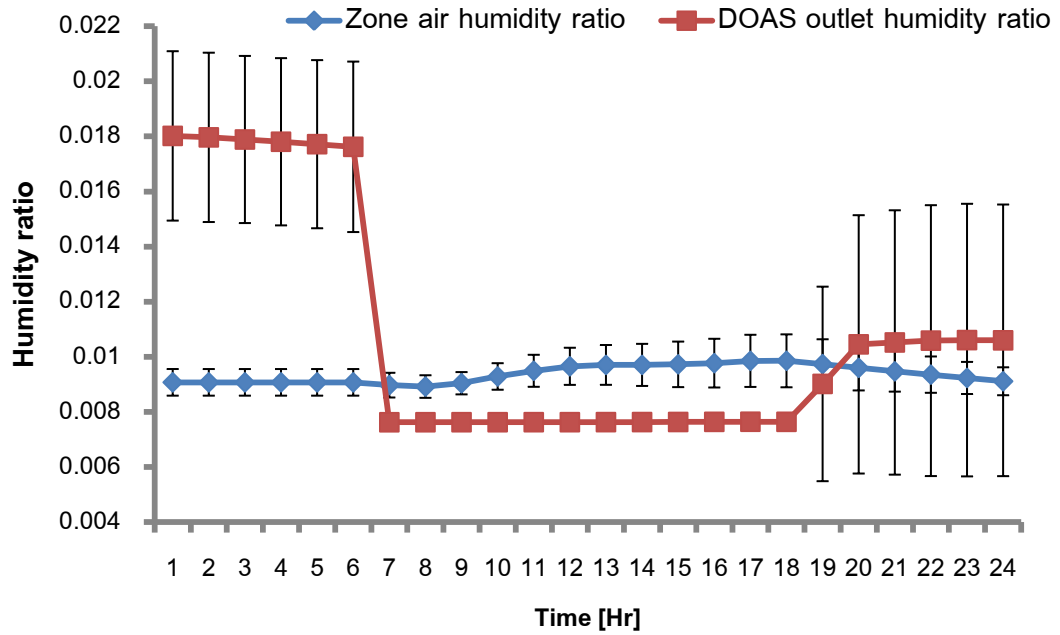
อาคาร	อัตราส่วนความชื้นของ สภาวะออกแบบภายใน (g/kg)	อัตราส่วนความชื้นของ เครื่องเติมอากาศ (g/kg)
อาคารสำนักงาน	9.92	7.62
ห้างสรรพสินค้า	9.92	6.43
โรงแรม	9.92	7.63
โรงพยาบาล	9.92	7.63



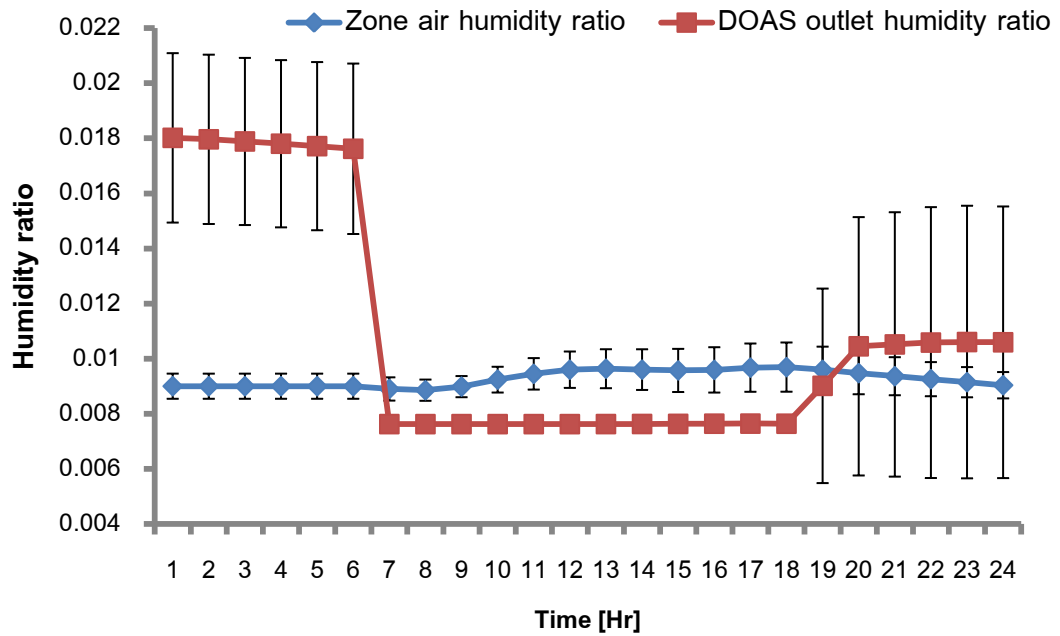
ภาพที่ ค.1 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 (CC) และภายในโซนของอาคารสำนักงาน



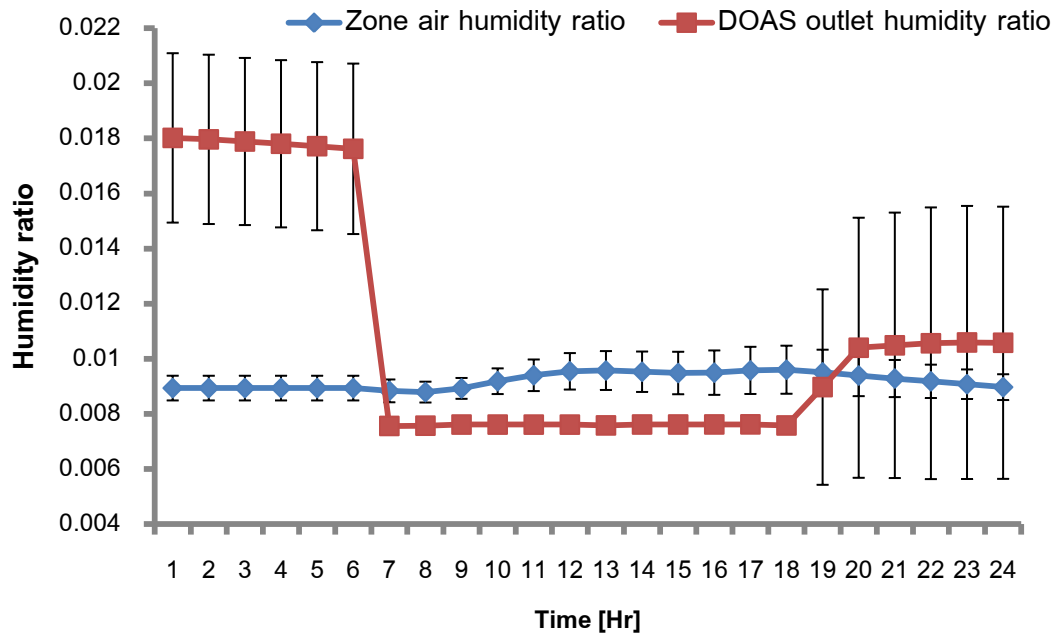
ภาพที่ ค.2 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 (HxCoil) และภายในโซนของอาคารสำนักงาน



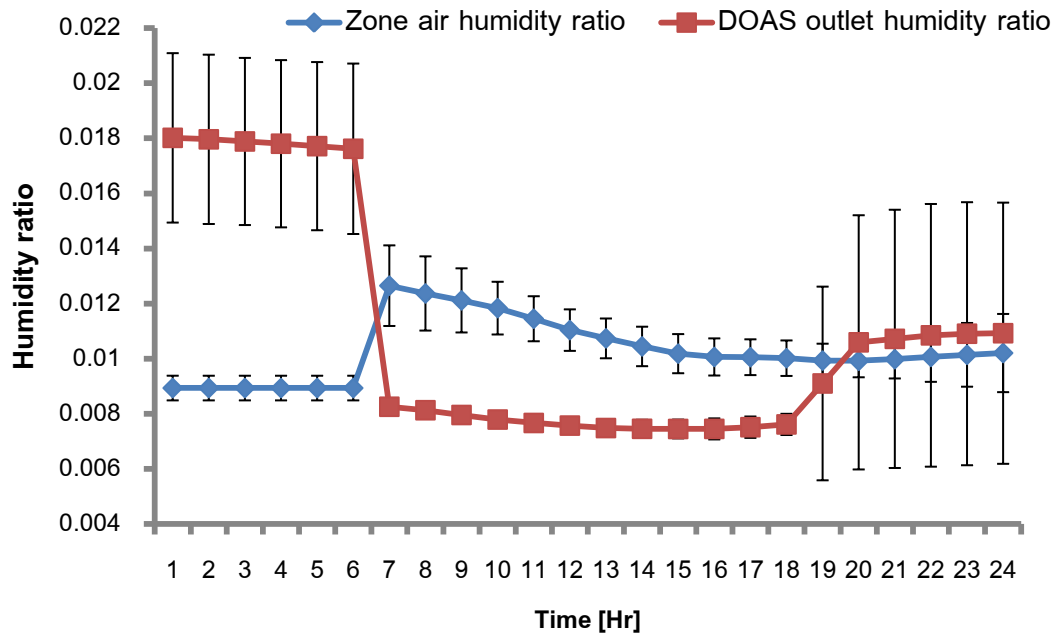
ภาพที่ ค.3 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 3 (EW+CC) และภายในโซนของอาคารสำนักงาน



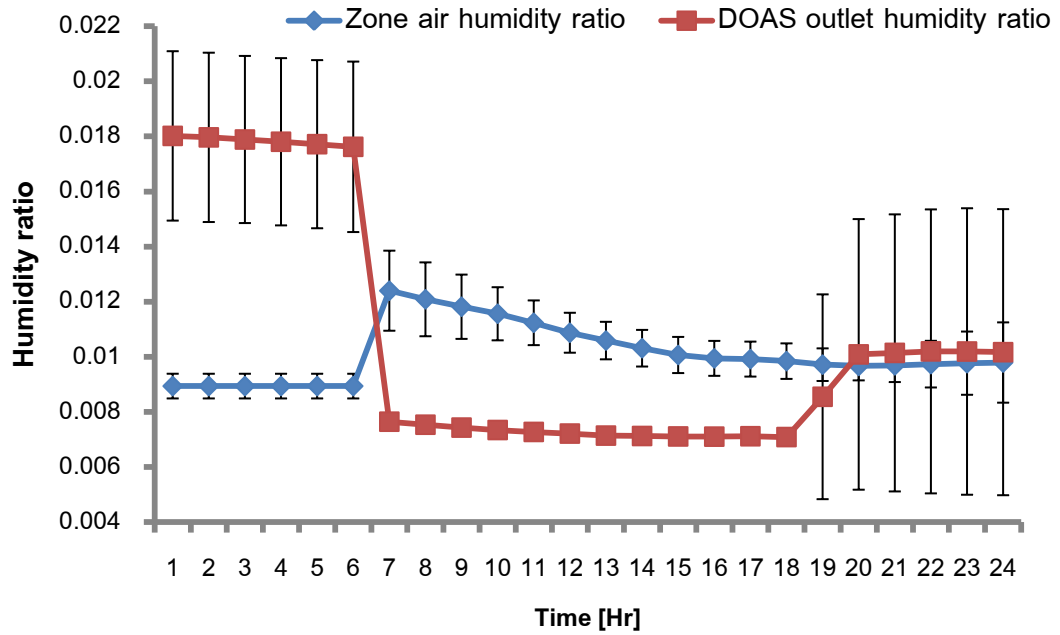
ภาพที่ ค.4 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 4 (EW+HxCoil) และภายในโซนของอาคารสำนักงาน



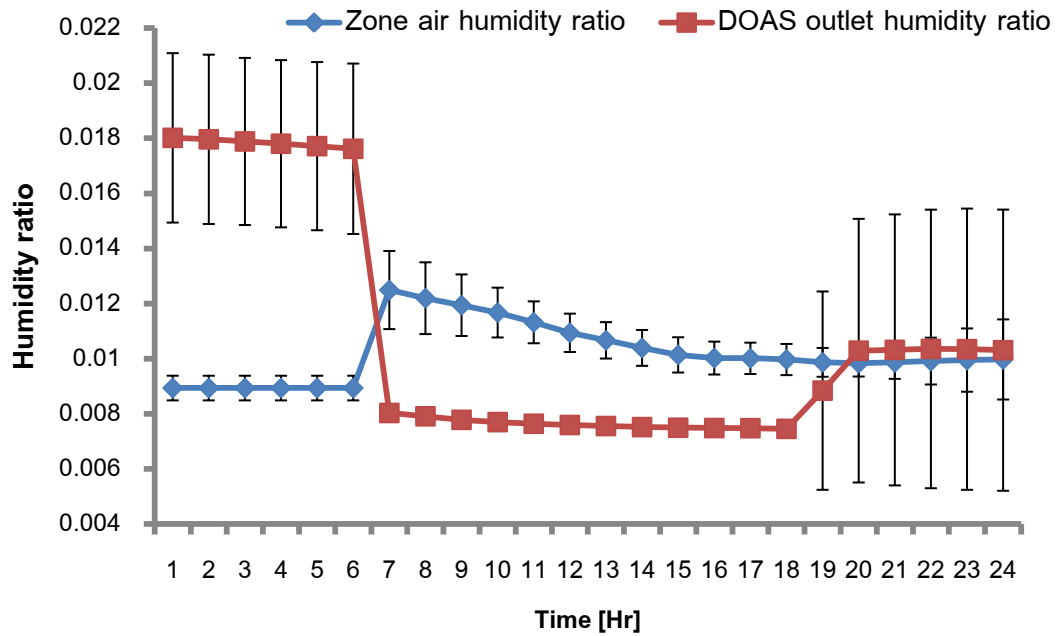
ภาพที่ ค.5 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 5 (EW+CC+SW) และภายในโซนของอาคารสำนักงาน



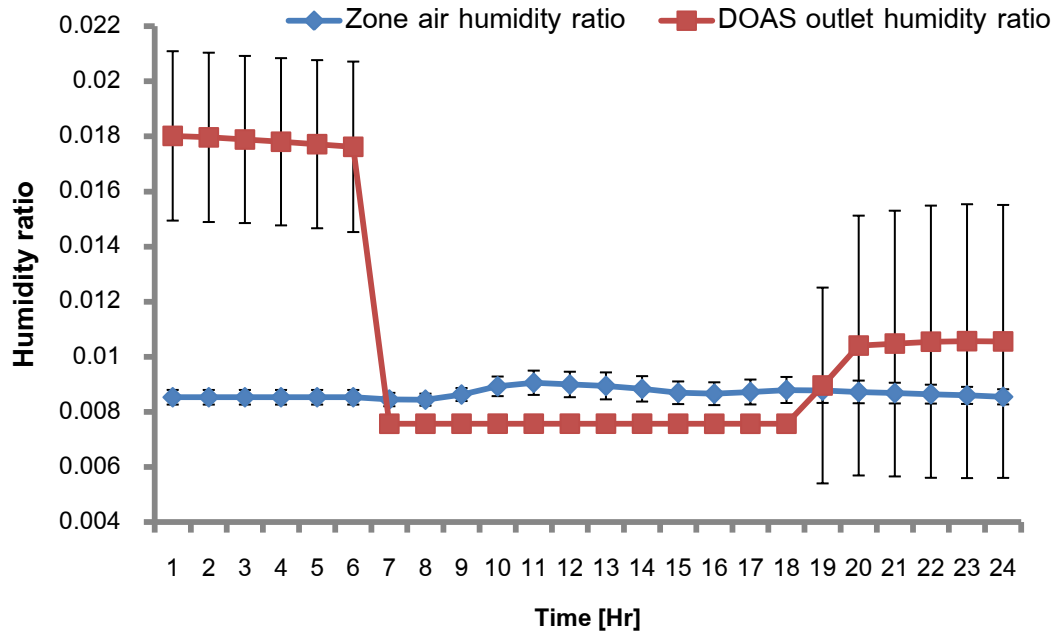
ภาพที่ ค.6 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 6 (CC+PDHC) และภายในโซนของอาคารสำนักงาน



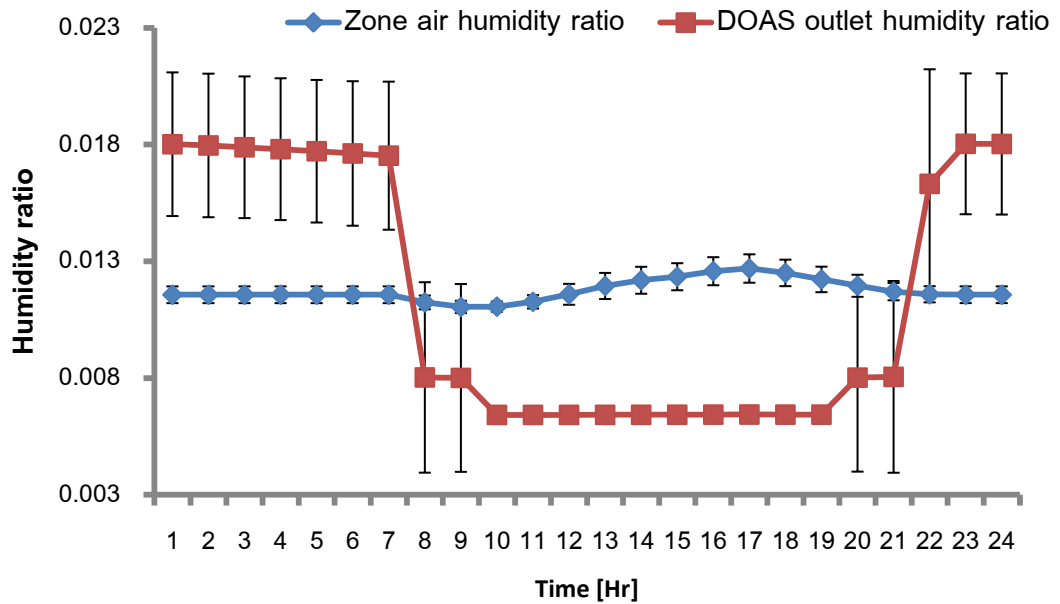
ภาพที่ ค.7 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 7 (EW+PDHC+CC) และภายในโซนของอาคารสำนักงาน



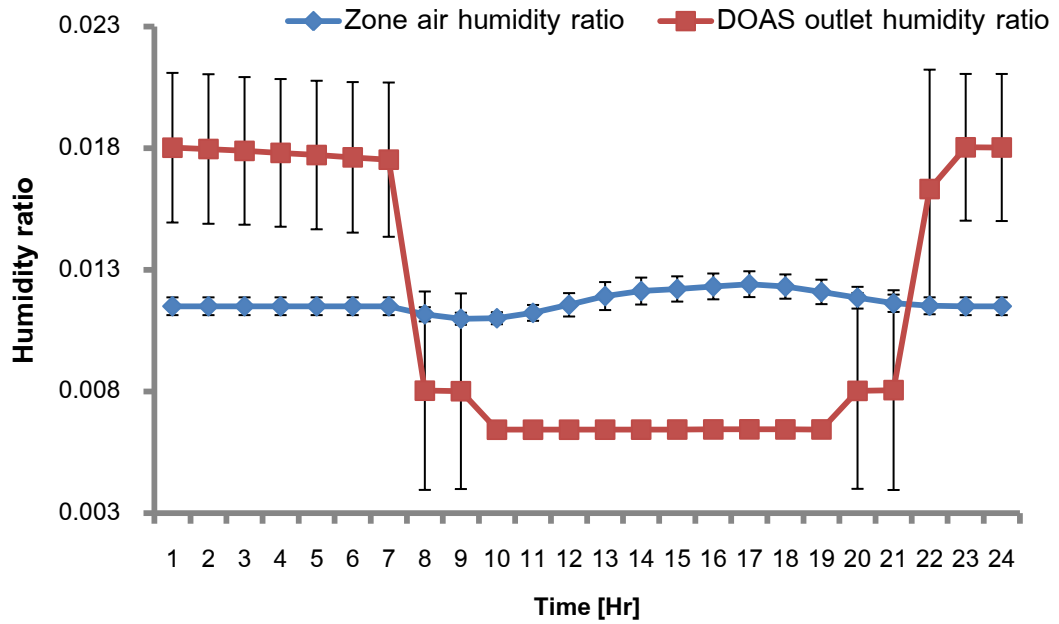
ภาพที่ ค.8 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 8 (EW+CC+PDHC) และภายในโซนของอาคารสำนักงาน



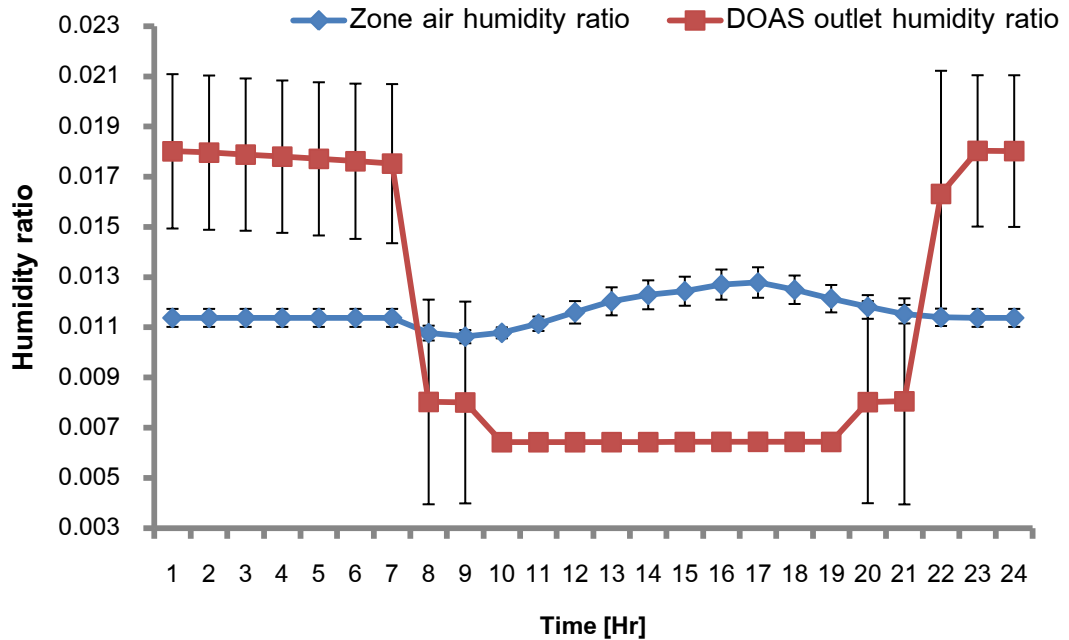
ภาพที่ ค.9 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 9 (CC+AdesW) และภายในโซนของอาคารสำนักงาน



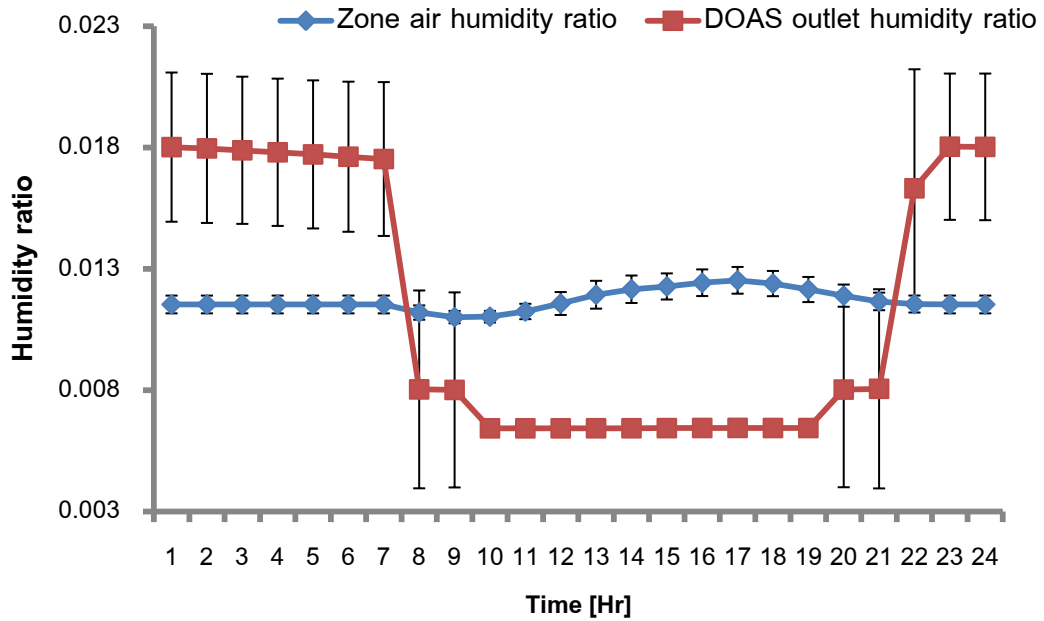
ภาพที่ ค.10 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 (CC) และภายในโซนของห้างสรรพสินค้า



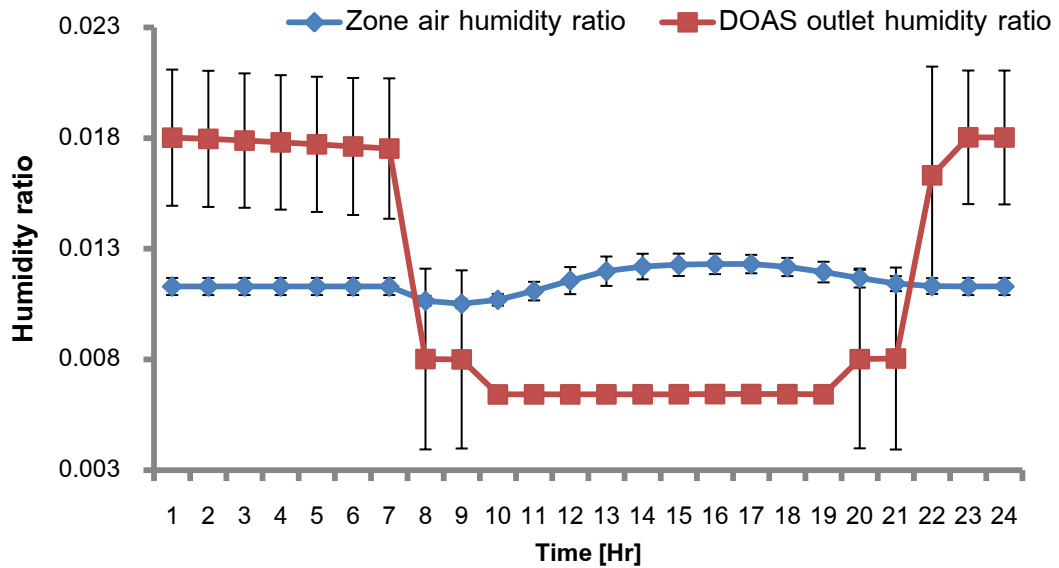
ภาพที่ ค.11 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 (HxCoil) และภายในโซนของห้างสรรพสินค้า



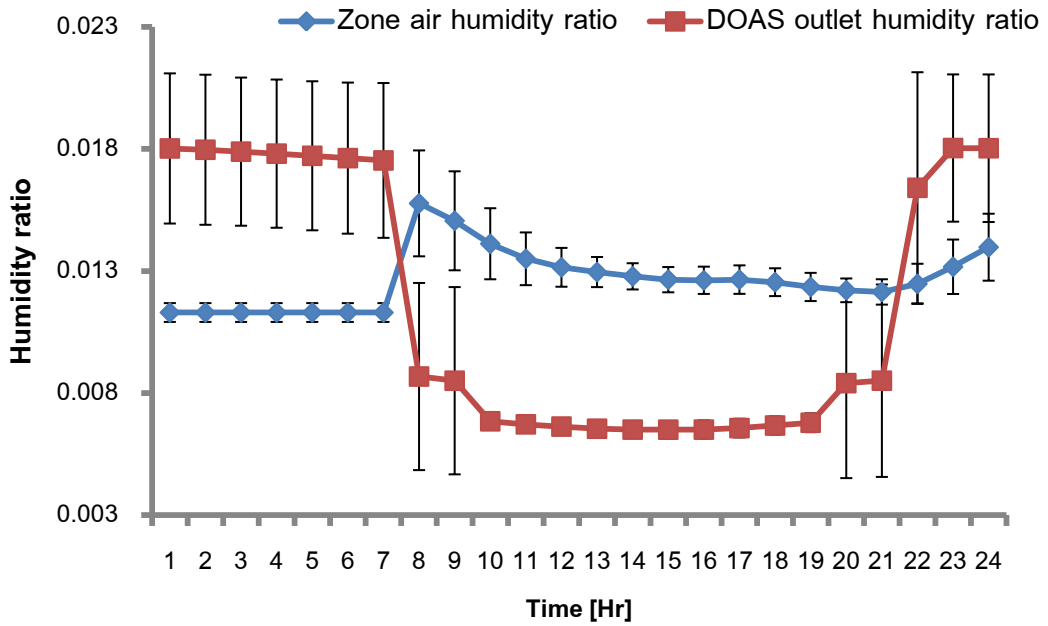
ภาพที่ ค.12 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 3 (EW+CC) และภายในโซนของห้างสรรพสินค้า



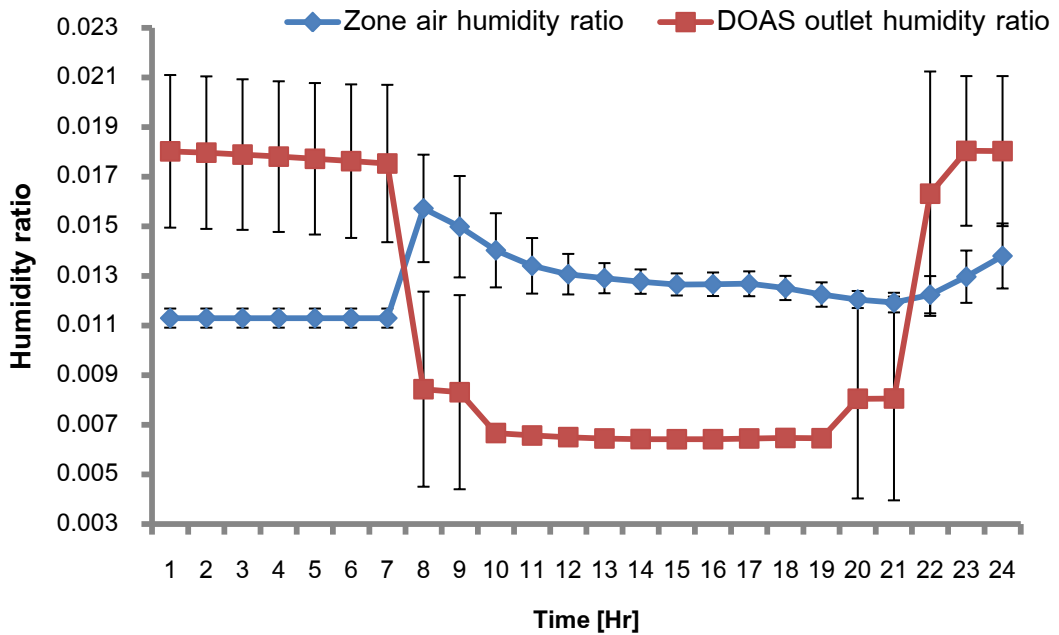
ภาพที่ ค.13 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 4 (EW+HxCoil) และภายในโซนของห้างสรรพสินค้า



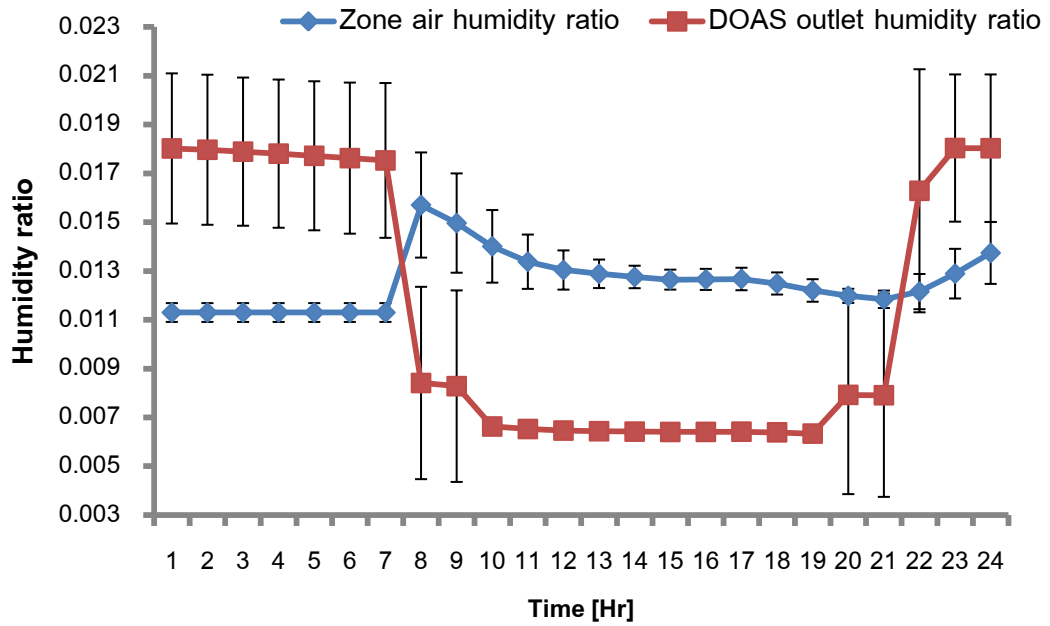
ภาพที่ ค.14 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 5 (EW+CC+SW) และภายในโซนของห้างสรรพสินค้า



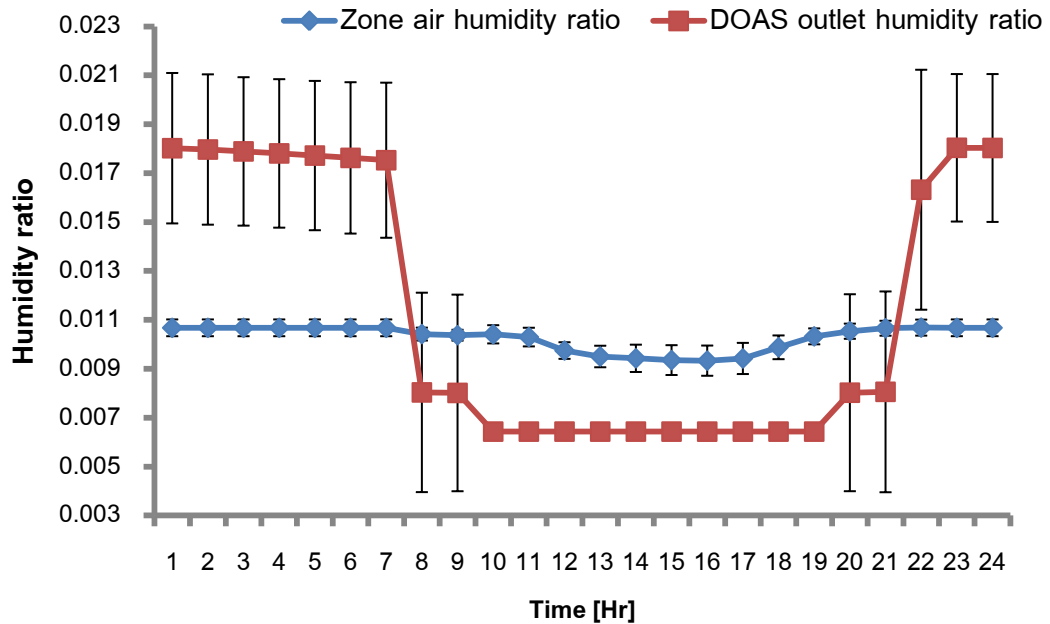
ภาพที่ ค.15 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 6 (CC+PDHC) และภายในโซนของห้องสรรพสินค้า



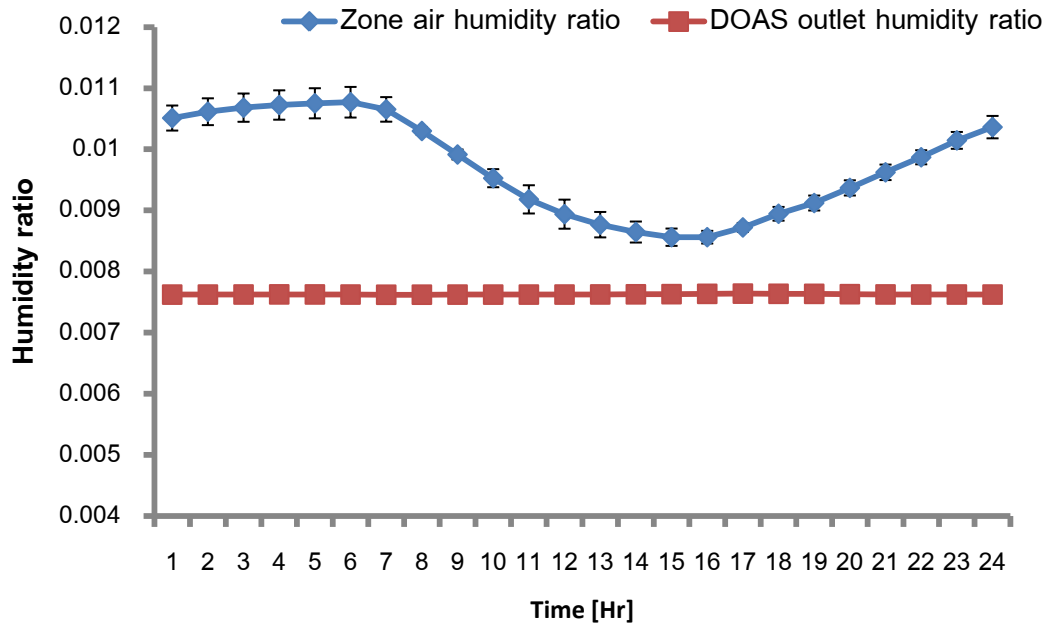
ภาพที่ ค.16 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 7 (EW+PDHC+CC) และภายในโซนของห้องสรรพสินค้า



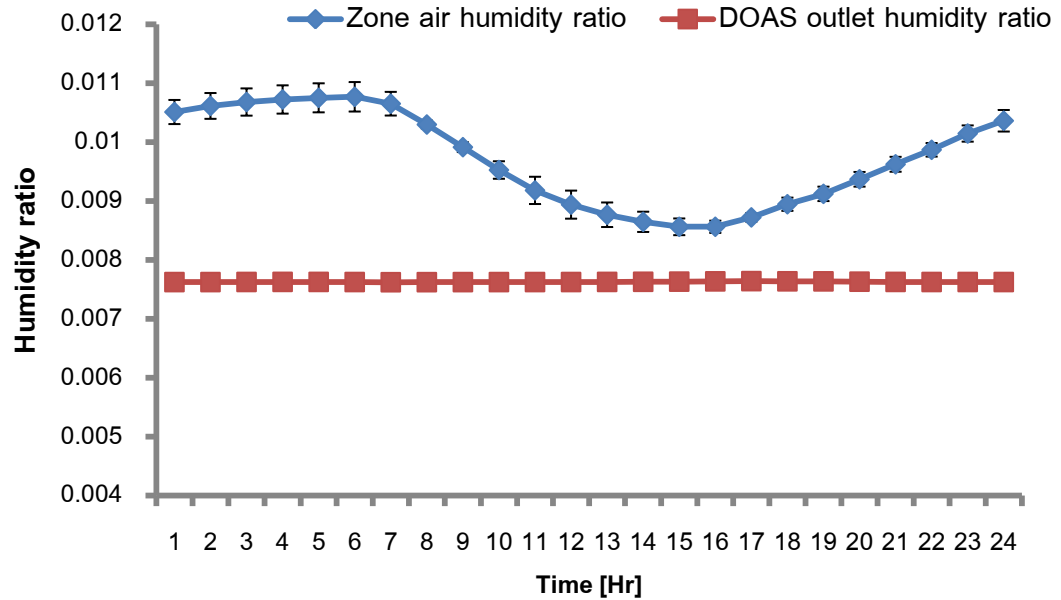
ภาพที่ ค.17 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 8 (EW+CC+PDHC) และภายในโซนของห้องสรรพสินค้า



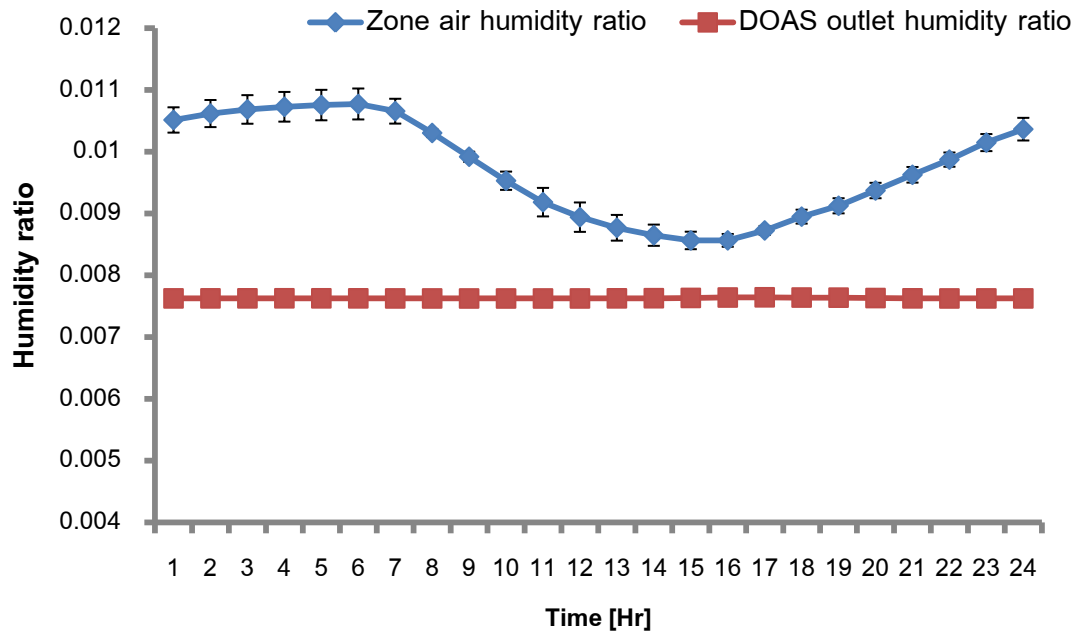
ภาพที่ ค.18 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 9 (CC+AdesW) และภายในโซนของห้องสรรพสินค้า



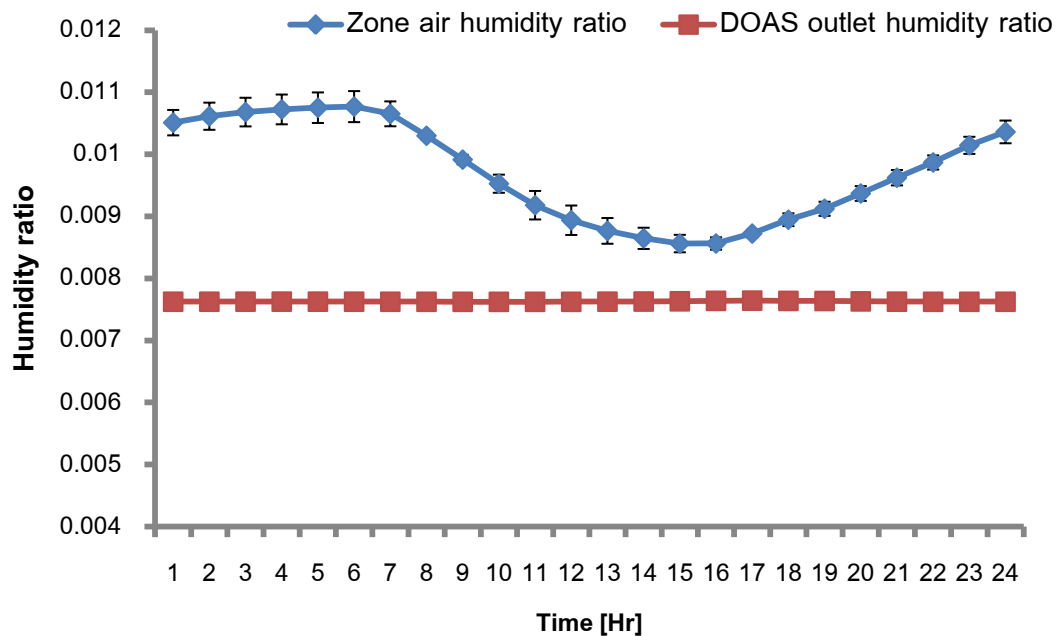
ภาพที่ ค.19 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 (CC) และภายในโซนของโรงแรม



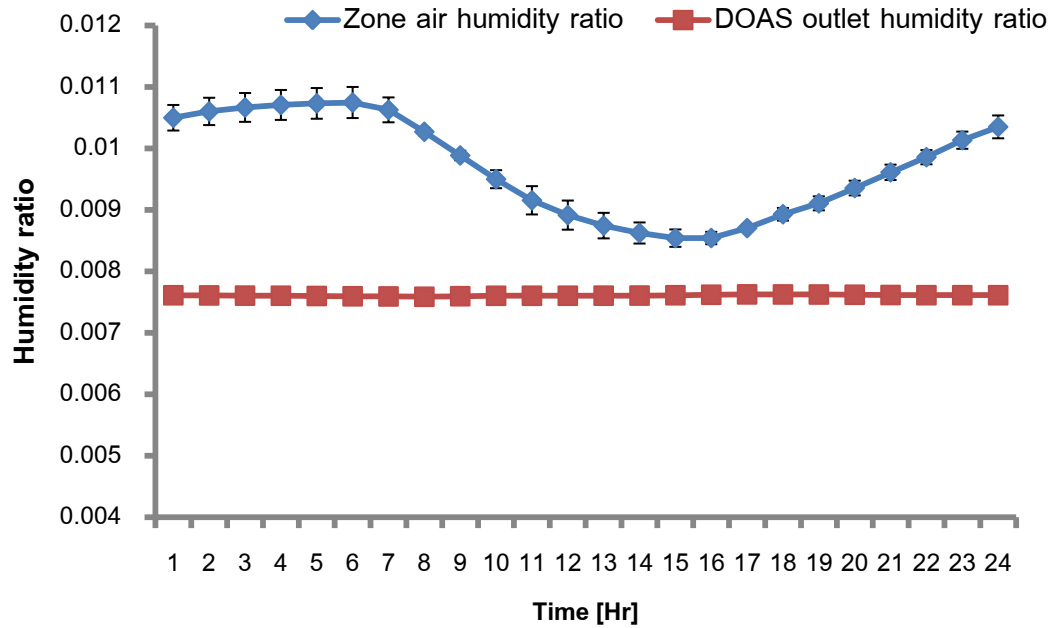
ภาพที่ ค.20 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 (HxCoil) และภายในโซนของโรงแรม



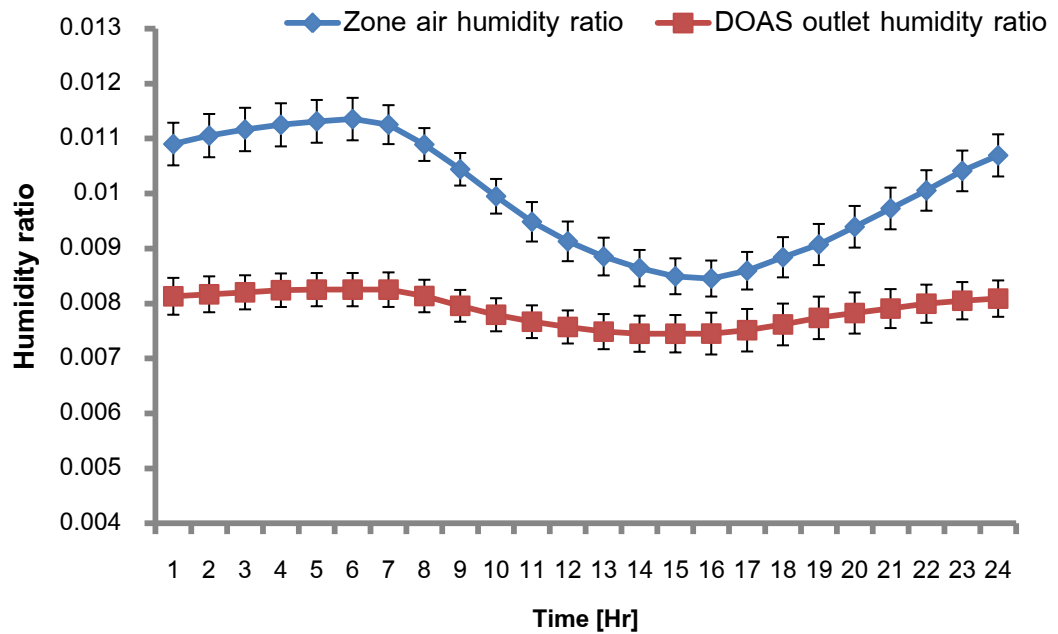
ภาพที่ ค.21 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 3 (EW+CC) และภายในโซนของโรงแรม



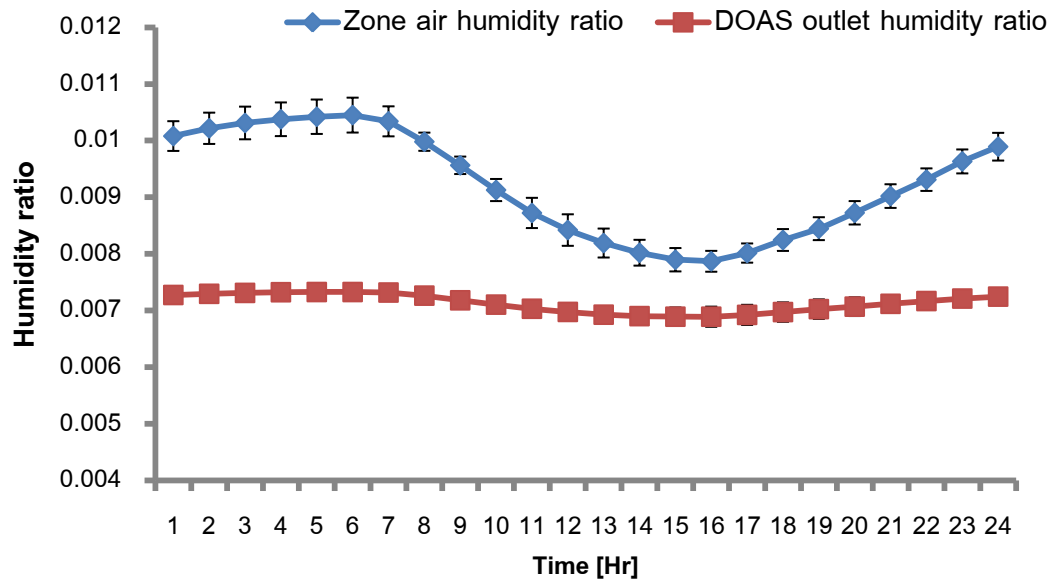
ภาพที่ ค.22 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 4 (EW+HxCoil) และภายในโซนของโรงแรม



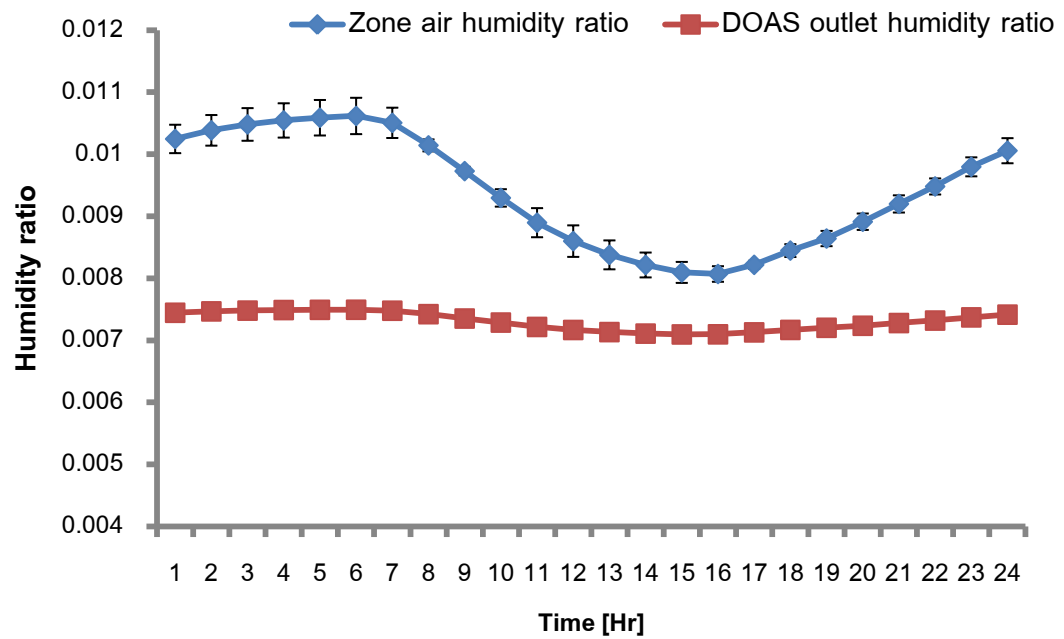
ภาพที่ ค.23 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 5 (EW+CC+SW) และภายในโซนของโรงแรม



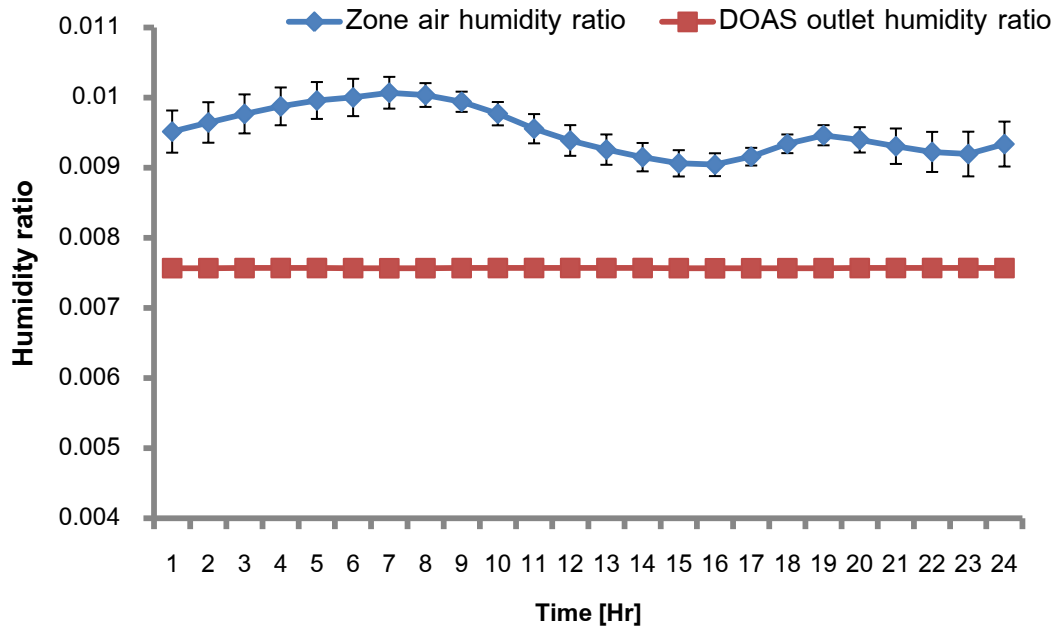
ภาพที่ ค.24 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 6 (CC+PDHC) และภายในโซนของโรงแรม



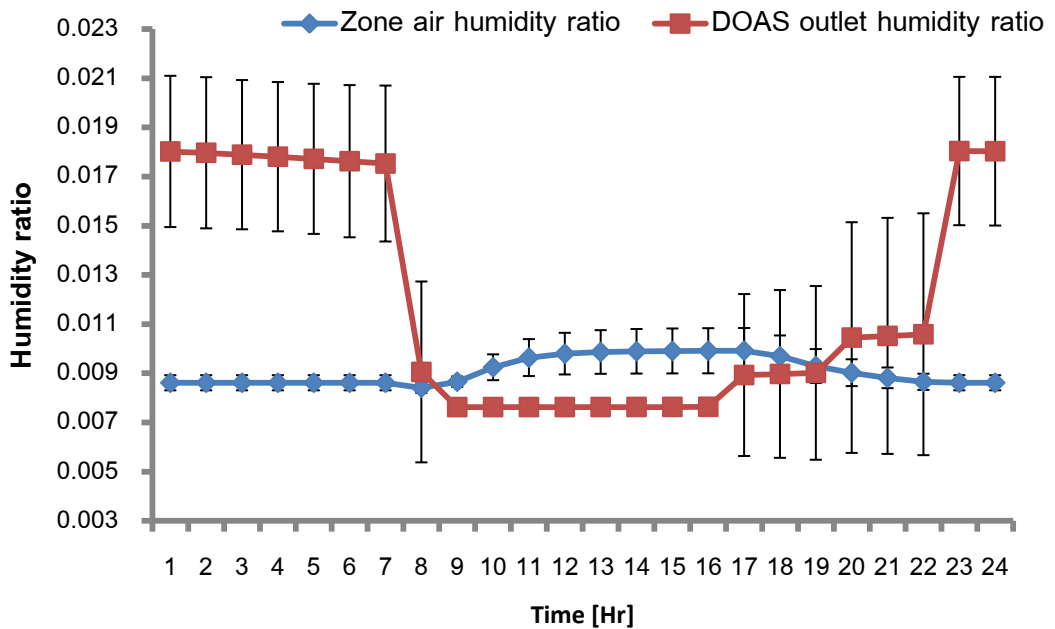
ภาพที่ ค.25 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 7 (EW+PDHC+CC) และภายในโซนโรงแรม



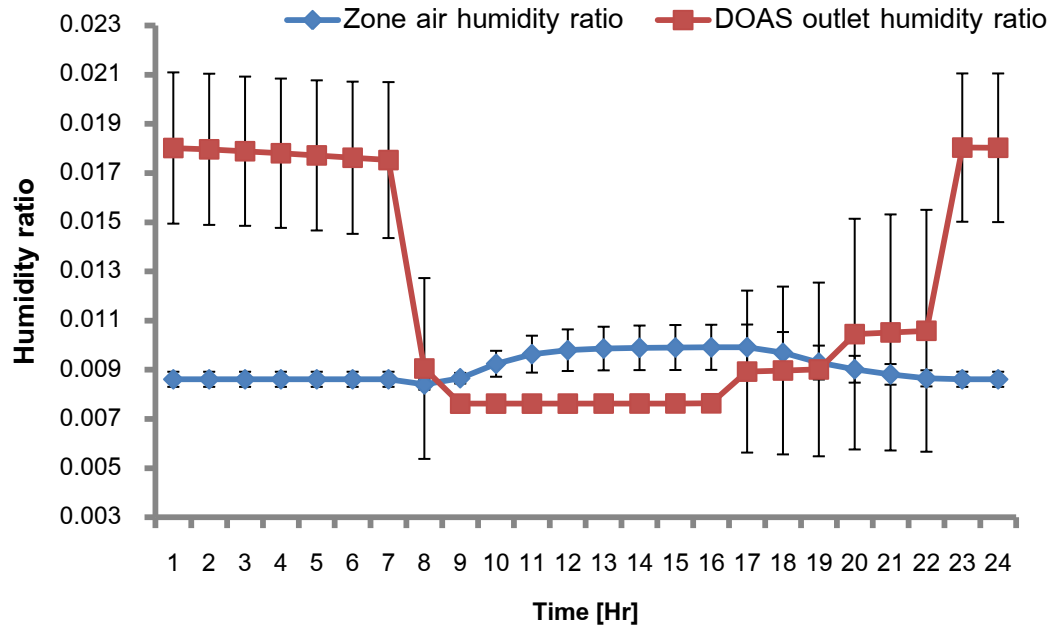
ภาพที่ ค.26 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 8 (EW+CC+PDHC) และภายในโซนโรงแรม



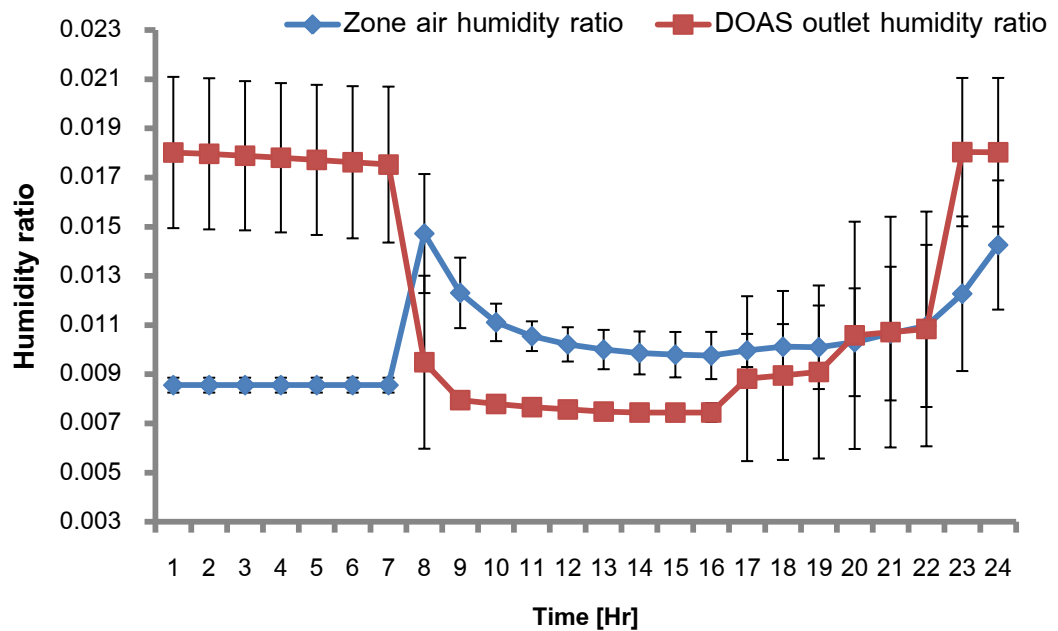
ภาพที่ ค.27 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 9 (CC+AdesW) และภายในโซนของโรงแรม



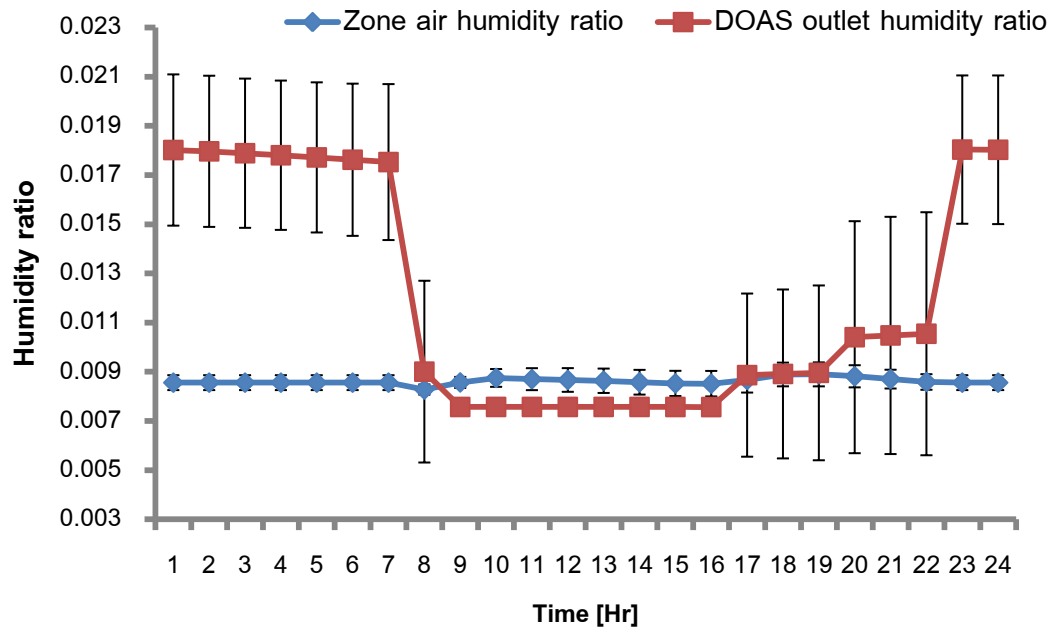
ภาพที่ ค.28 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 (CC) และภายในโซนของโรงพยาบาล



ภาพที่ ค.29 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 (HxCoil) และภายในโซนของโรงพยาบาล



ภาพที่ ค.30 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 6 (CC+PDHC) และภายในโซนของโรงพยาบาล



ภาพที่ ค.31 อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 9 (CC+AdesW) และภายในโซนของโรงพยาบาล

ภาคผนวก ง

ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน

ง.1 ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน

ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน อ้างอิงจากแบบจำลองของอาคารสำนักงานที่มีรูปแบบเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 (CC) รายละเอียดแสดงดังตารางที่ ง.1

ค่าใช้จ่ายอาคารสำนักงานที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 (CC) ซึ่งมีการใช้เครื่องเติมอากาศจำนวน 4 เครื่อง ประกอบด้วยเครื่องเติมอากาศ 1 เครื่องจ่ายอากาศภายนอกสำหรับอาคาร 5 ชั้น และมีเครื่องเป่าลมเย็น 2 ขนาด ได้แก่ เครื่องเป่าลมเย็นสำหรับตึกชั้นที่ 1 (AHU 01) จำนวน 1 เครื่อง และเครื่องเป่าลมเย็นสำหรับตึกชั้นที่ 2 – 20 (AHU 02) ซึ่งมีขนาดทำความเย็นใกล้เคียงกัน จำนวน 19 เครื่อง โดยกำหนดให้

- เครื่องเติมอากาศภายนอก (DOAS) มีราคาต้นทุนเครื่องละ 115,000 บาท ราคาค่าดำเนินงานต่อปีเครื่องละ 1,688,000 บาทต่อปี และมีค่าบำรุงรักษาต่อปีเครื่องละ 40,000 บาทต่อปี
- เครื่องเป่าลมเย็นสำหรับตึกชั้นที่ 1 (AHU 01) มีราคาต้นทุนเครื่องละ 52,000 บาท ราคาค่าดำเนินงานต่อปีเครื่องละ 308,000 บาทต่อปี และมีค่าบำรุงรักษาต่อปีเครื่องละ 20,000 บาทต่อปี
- เครื่องเป่าลมเย็นสำหรับตึกชั้นที่ 2 – 20 (AHU 02) มีราคาต้นทุนเครื่องละ 39,000 บาท ราคาค่าดำเนินงานต่อปีเครื่องละ 231,000 บาทต่อปี และมีค่าบำรุงรักษาต่อปีเครื่องละ 20,000 บาทต่อปี
- ดอกเบี้ยเงินกู้ 7% คงที่ตลอดช่วงการดำเนินงาน โดยระยะเวลาการดำเนินงาน 15 ปี

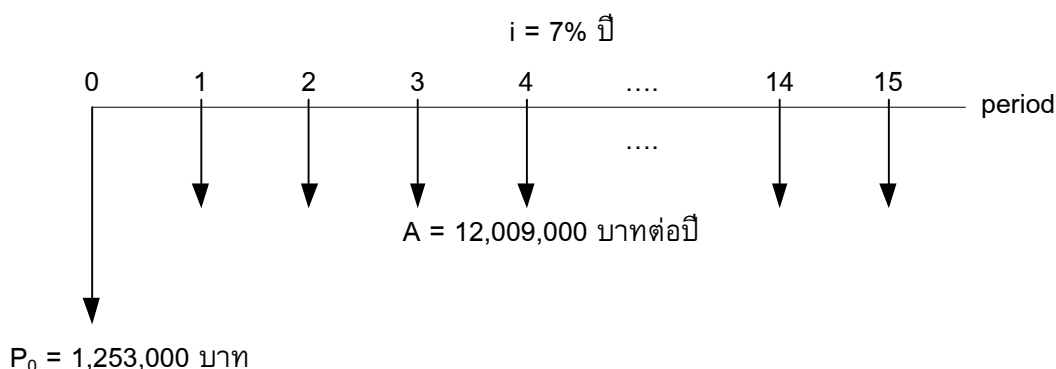
จากข้อกำหนดข้างต้นสามารถคำนวณค่าเงินลงทุน (P_0) ได้จากผลรวมของค่าต้นทุนเครื่องเติมอากาศภายนอกและเครื่องเป่าลมเย็นรวมทุกเครื่อง

$$\begin{aligned} P_0 &= (DOAS \times 4) + (AHU 01) + (AHU 02 \times 19) \\ &= (115,000 \times 4) + (52,000) + (39,000 \times 19) \\ &= 1,253,000 \end{aligned}$$

ค่าเทียบเท่ารายปีที่เท่ากัน (A) คำนวณได้จากผลรวมค่าดำเนินงานและค่าบำรุงรักษาของเครื่องเติมอากาศและเครื่องเป่าลมเย็นรวมทุกเครื่อง

$$\begin{aligned}
 A &= \text{Operating Cost} + \text{Maintenance Cost} \\
 &= [(DOAS \times 4) + (AHU 01) + (AHU 02 \times 19)] + [(DOAS \times 4) + (AHU 01) + (AHU 02 \times 19)] \\
 &= [(1,688,000 \times 4) + (308,000) + (231,000 \times 19)] + [(40,000 \times 4) + (20,000) + (20,000 \times 19)] \\
 &= 12,009,000
 \end{aligned}$$

จากค่า P และ A ที่ได้ สามารถเขียนแผนผังกระแสเงินสดได้ดังภาพที่ ง.1 ...



ภาพที่ ง. 1 แผนผังกระแสเงินสดแบบจำลองของอาคารสำนักงานที่มีรูปแบบเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 (CC)

ค่าเทียบเท่าปัจจุบัน (Present value) ของค่าเทียบเท่ารายปีที่เท่ากันคำนวณจากสมการที่ 3.54 ดังนั้นค่าเทียบเท่าปัจจุบันสุทธิ (Net – Present Value) หรือ NPV ของแบบจำลองของอาคารสำนักงานที่มีรูปแบบเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 (CC) สามารถคำนวณได้จากผลรวมระหว่างเงินลงทุนและค่าเทียบเท่าปัจจุบันของค่าดำเนินงานและค่าบำรุงรักษา

$$P = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (3.54)$$

แทนค่าได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 NPV &= P_0 + P \\
 &= P_0 + A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \\
 &= 1,253,000 + (12,009,000) \left[\frac{(1+0.07)^{15} - 1}{0.07(1+0.07)^{15}} \right] \\
 &= 110,629,939
 \end{aligned}$$

สรุป ค่าเทียบเท่าปัจจุบันสุทธิของแบบจำลองอาคารสำนักงานที่มีรูปแบบเครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 (CC) มีค่าเท่ากับ 110,630,000 บาท

ง.2 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารสำนักงาน

รายละเอียดค่าใช้จ่ายของอาคารสำนักงานที่ใช้เครื่องเติมอากาศทั้ง 9 รูปแบบแสดงอยู่ในตารางที่ ง.1 - ตารางที่ ง.9 ส่วนการคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารสำนักงานที่ติดตั้งเครื่องเติมอากาศแต่ละรูปแบบแสดงอยู่ในตารางที่ ง.10 โดยคิดอัตราดอกเบี้ย 7% ระยะเวลาการดำเนินงาน 15 ปี

ตารางที่ ง.1 ค่าใช้จ่ายอาคารสำนักงานที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 (CC)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS	4	115,000	460,000	1,688,000	6,752,000	40,000	160,000
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	52,000	52,000	308,000	308,000	20,000	20,000
- AHU 02	19	39,000	741,000	231,000	4,389,000	20,000	380,000
รวม			1,253,000		11,449,000		560,000

ตารางที่ ง.2 ค่าใช้จ่ายอาคารสำนักงานที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 (HxCoil)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS	4	109,000	436,000	1,497,000	5,988,000	60,000	240,000
- Run around coil	4	40,000	160,000	22,500	90,000		
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	55,000	55,000	349,000	349,000	20,000	20,000
- AHU 02	19	43,000	817,000	270,000	5,130,000	20,000	380,000
รวม			1,468,000		11,557,000		640,000

ตารางที่ ง.3 ค่าใช้จ่ายอาคารสำนักงานที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 3 (EW+CC)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS	4	83,000	332,000	1,020,000	4,080,000	80,000	320,000
- Enthalpy wheel	4	240,000	960,000	25,500	102,000		
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	52,000	52,000	311,000	311,000	20,000	20,000
- AHU 02	19	39,000	741,000	234,000	4,446,000	20,000	380,000
รวม			2,085,000		8,939,000		720,000

ตารางที่ ง.4 ค่าใช้จ่ายอาคารสำนักงานที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 4 (EW+HxCoil)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS	4	77,000	308,000	882,000	3,528,000	120,000	480,000
- Enthalpy wheel	4	240,000	960,000	25,500	102,000		
- Run around coil	4	40,000	160,000	22,500	90,000		
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	54,000	54,000	334,000	334,000	20,000	20,000
- AHU 02	19	42,000	798,000	262,000	4,978,000	20,000	380,000
รวม			2,280,000		9,032,000		880,000

ตารางที่ ง.5 ค่าใช้จ่ายอาคารสำนักงานที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 5 (EW+CC+SW)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS	4	77,000	308,000	856,000	3,424,000	120,000	480,000
- Enthalpy wheel	4	240,000	960,000	25,500	102,000		
- Run around coil	4	40,000	160,000	22,500	90,000		
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	55,000	55,000	335,000	335,000	20,000	20,000
- AHU 02	19	42,000	798,000	277,000	5,263,000	20,000	380,000
รวม			2,281,000		9,234,000		880,000

ตารางที่ ง.6 ค่าใช้จ่ายอาคารสำนักงานที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 6 (CC+PDHC)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS	4	110,000	440,000	1,503,000	6,012,000	80,000	320,000
- PDHC	4	288,000	1,152,000	25,500	102,000		
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	55,000	55,000	357,000	357,000	20,000	20,000
- AHU 02	19	42,000	798,000	271,000	5,149,000	20,000	380,000
รวม			2,245,000		11,620,000		720,000

ตารางที่ ง.7 ค่าใช้จ่ายอาคารสำนักงานที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 7 (EW+PDHC+CC)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS	4	84,000	336,000	995,000	3,980,000	120,000	480,000
- Enthalpy wheel	4	240,000	960,000	25,500	102,000		
- PDHC	4	288,000	1,152,000	25,500	102,000		
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	54,000	54,000	351,000	351,000	20,000	20,000
- AHU 02	19	41,000	779,000	267,000	5,073,000	20,000	380,000
รวม			3,281,000		9,608,000		880,000

ตารางที่ ง.8 ค่าใช้จ่ายอาคารสำนักงานที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 8 (EW+CC+PDHC)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS	4	80,000	320,000	915,000	3,660,000	120,000	480,000
- Enthalpy wheel	4	240,000	960,000	25,500	102,000		
- PDHC	4	288,000	1,152,000	25,500	102,000		
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	55,000	55,000	364,000	364,000	20,000	20,000
- AHU 02	19	42,000	798,000	279,000	5,301,000	20,000	380,000
รวม			3,285,000		9,529,000		880,000

ตารางที่ ง.9 ค่าใช้จ่ายอาคารสำนักงานที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 9 (CC+ADesW)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS	4	89,000	356,000	890,000	3,560,000	150,000	600,000
- ADesW	4	300,000	1,200,000	693,000	2,772,000		
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	56,000	56,000	486,000	486,000	20,000	20,000
- AHU 02	19	45,000	855,000	407,000	7,733,000	20,000	380,000
รวม			2,467,000		14,551,000		880,000

ตารางที่ ง.10 รายละเอียดเงินลงทุน ค่าเงินเทียบเท่ารายปีที่เท่ากัน และค่าเทียบเท่าปัจจุบันของอาคารสำนักงานที่ติดตั้งเครื่องเติมอากาศ 9 รูปแบบ

รูปแบบของเครื่องเติมอากาศ	เงินลงทุน, P_0 (บาท)	ค่าเงินเทียบเท่ารายปีที่เท่ากัน, A (บาท)	ค่าเทียบเท่าปัจจุบันสุทธิ, NPV (บาท)
1) CC	1,253,000	12,009,000	110,630,000
2) HxCoil	1,468,000	12,197,000	112,557,000
3) EW+CC	2,085,000	9,659,000	90,058,000
4) EW+HxCoil	2,280,000	9,912,000	92,558,000
5) EW+CC+SW	2,281,000	10,114,000	94,398,000
6) CC+PDHC	2,445,000	12,340,000	114,837,000
7) EW+PDHC+CC	3,281,000	10,488,000	98,805,000
8) EW+CC+PDHC	3,285,000	10,409,000	98,089,000
9) CC+ADesW	2,467,000	15,551,000	144,104,000

ง.3 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของห้างสรรพสินค้า

รายละเอียดค่าใช้จ่ายของห้างสรรพสินค้าที่ใช้เครื่องเติมอากาศทั้ง 9 รูปแบบแสดงอยู่ในตารางที่ ง.11 - ตารางที่ ง.19 ส่วนการคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารสำนักงานที่ติดตั้งเครื่องเติมอากาศแต่ละรูปแบบแสดงอยู่ในตารางที่ ง.20 โดยคิดอัตราดอกเบี้ย 7% ระยะเวลาการดำเนินงาน 15 ปี

ตารางที่ ง.11 ค่าใช้จ่ายห้างสรรพสินค้าที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 (CC)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS	5	131,000	655,000	2,542,000	12,710,000	50,000	250,000
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	86,000	86,000	650,000	650,000	30,000	30,000
- AHU 02	4	65,000	260,000	622,000	2,488,000	30,000	120,000
รวม			1,001,000		15,848,000		400,000

ตารางที่ ง.12 ค่าใช้จ่ายห้างสรรพสินค้าที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 (HxCoil)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS	5	132,000	660,000	2,252,000	11,260,000	70,000	350,000
- Run around coil	5	50,000	250,000	51,000	255,000		
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	106,000	106,000	955,000	955,000	30,000	30,000
- AHU 02	4	93,000	372,000	930,000	3,720,000	30,000	120,000
รวม			1,388,000		16,190,000		500,000

ตารางที่ ง.13 ค่าใช้จ่ายห้างสรรพสินค้าที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 3 (EW+CC)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS	5	122,000	610,000	1,870,000	9,350,000	100,000	500,000
- Enthalpy wheel	5	390,000	1,950,000	54,400	272,000		
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	86,000	52,000	650,000	650,000	30,000	30,000
- AHU 02	4	65,000	260,000	622,000	2,488,000	30,000	120,000
รวม			2,872,000		12,760,000		650,000

ตารางที่ ง.14 ค่าใช้จ่ายห้างสรรพสินค้าที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 4 (EW+HxCoil)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS	5	115,000	575,000	1,629,000	8,145,000	120,000	600,000
- Enthalpy wheel	5	390,000	1,950,000	54,400	272,000		
- Run around coil	5	50,000	250,000	51,000	255,000		
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	102,000	102,000	894,000	894,000	30,000	30,000
- AHU 02	4	84,000	336,000	868,000	3,472,000	30,000	120,000
รวม			3,213,000		13,038,000		750,000

ตารางที่ ง.15 ค่าใช้จ่ายห้างสรรพสินค้าที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 5 (EW+CC+SW)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS	5	115,000	575,000	1,584,000	7,920,000	120,000	600,000
- Enthalpy wheel	5	390,000	1,950,000	54,400	272,000		
- Run around coil	5	50,000	250,000	51,000	255,000		
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	107,000	107,000	1,017,000	1,017,000	30,000	30,000
- AHU 02	4	90,000	360,000	995,000	3,980,000	30,000	120,000
รวม			3,242,000		13,444,000		750,000

ตารางที่ ง.16 ค่าใช้จ่ายห้างสรรพสินค้าที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 6 (CC+PDHC)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS	5	132,000	660,000	2,256,000	11,280,000	120,000	600,000
- PDHC	5	468,000	2,340,000	54,400	272,000		
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	105,000	105,000	940,000	940,000	30,000	30,000
- AHU 02	4	99,000	396,000	905,000	3,620,000	30,000	120,000
รวม			3,501,000		16,112,000		750,000

ตารางที่ ง.17 ค่าใช้จ่ายห้างสรรพสินค้าที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 7 (EW+PDHC+CC)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS	5	119,000	595,000	1,744,000	8,720,000	150,000	750,000
- Enthalpy wheel	5	390,000	1,950,000	54,400	272,000		
- PDHC	5	468,000	2,340,000	54,400	272,000		
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	103,000	103,000	886,000	886,000	30,000	30,000
- AHU 02	4	98,000	392,000	856,000	3,424,000	30,000	120,000
รวม			5,380,000		13,574,000		900,000

ตารางที่ ง.18 ค่าใช้จ่ายห้างสรรพสินค้าที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 8 (EW+CC+PDHC)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS	5	119,000	595,000	1,749,000	8,745,000	150,000	750,000
- Enthalpy wheel	5	390,000	1,950,000	54,400	272,000		
- PDHC	5	468,000	2,340,000	54,400	272,000		
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	102,000	102,000	886,000	886,000	30,000	30,000
- AHU 02	4	98,000	392,000	859,000	3,436,000	30,000	120,000
รวม			5,379,000		13,611,000		900,000

ตารางที่ ง.19 ค่าใช้จ่ายห้างสรรพสินค้าที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 9 (CC+ADesW)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อปี (บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS	5	103,000	515,000	1,152,000	5,760,000	200,000	1,000,000
- ADesW	5	600,000	3,000,000	1,216,000	6,080,000		
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	132,000	132,000	2,430,000	2,430,000	30,000	30,000
- AHU 02	4	128,000	512,000	2,449,000	9,796,000	30,000	120,000
รวม			4,159,000		24,066,000		1,150,000

ตารางที่ ง.20 รายละเอียดเงินลงทุน ค่าเงินเทียบเท่ารายปีที่เท่ากัน และค่าเทียบเท่าปัจจุบันของห้างสรรพสินค้าที่ติดตั้งเครื่องเติมอากาศ 9 รูปแบบ

รูปแบบของเครื่องเติมอากาศ	เงินลงทุน, P_0 (บาท)	ค่าเงินเทียบเท่ารายปีที่เท่ากัน, A (บาท)	ค่าเทียบเท่าปัจจุบันสุทธิ, NPV (บาท)
1) CC	1,001,000	16,248,000	149,986,000
2) HxCoil	1,388,000	16,690,000	153,399,000
3) EW+CC	2,872,000	13,410,000	125,009,000
4) EW+HxCoil	3,213,000	13,788,000	128,793,000
5) EW+CC+SW	3,242,000	14,194,000	132,520,000
6) CC+PDHC	3,501,000	16,862,000	157,078,000
7) EW+PDHC+CC	5,380,000	14,474,000	137,208,000
8) EW+CC+PDHC	5,379,000	14,511,000	137,544,000
9) CC+ADesW	4,159,000	25,216,000	233,824,000

ง.4 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของโรงแรม

รายละเอียดค่าใช้จ่ายของโรงแรมที่ใช้เครื่องเติมอากาศทั้ง 9 รูปแบบแสดงอยู่ในตารางที่ ง.21 - ตารางที่ ง.29 ส่วนการคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารสำนักงานที่ติดตั้งเครื่องเติมอากาศแต่ละรูปแบบแสดงอยู่ในตารางที่ ง.30 โดยคิดอัตราดอกเบี้ย 7% ระยะเวลาการดำเนินงาน 15 ปี

ตารางที่ ง.21 ค่าใช้จ่ายของโรงแรมที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 (CC)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS 01	1	72,000	72,000	1,422,000	1,422,000	40,000	40,000
- DOAS 02	3	97,000	291,000	2,264,000	6,792,000	40,000	120,000
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	42,000	42,000	344,000	344,000	20,000	20,000
- AHU 02	9	28,000	252,000	177,000	1,593,000	20,000	180,000
รวม			657,000		10,151,000		360,000

ตารางที่ ง.22 ค่าใช้จ่ายของโรงแรมที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 (HxCoil)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS 01	1	69,000	69,000	1,277,000	1,277,000	60,000	60,000
- DOAS 02	3	93,000	279,000	2,033,000	6,099,000	60,000	180,000
- Run around coil 01	1	38,000	38,000	33,000	33,000		
- Run around coil 02	3	39,000	117,000	34,000	102,000		
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	48,000	48,000	489,000	489,000	20,000	20,000
- AHU 02	9	30,000	270,000	254,000	2,286,000	20,000	180,000
รวม			821,000		10,286,000		440,000

ตารางที่ ง.23 ค่าใช้จ่ายของโรงแรมที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 3 (EW+CC)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS 01	1	51,000	51,000	915,000	915,000	80,000	80,000
- DOAS 02	3	68,000	204,000	1,458,000	4,374,000	80,000	240,000
- EW 01	1	110,000	110,000	36,000	36,000		
- EW 02	3	174,000	522,000	39,000	117,000		
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	42,000	52,000	344,000	344,000	20,000	20,000
- AHU 02	9	28,000	252,000	177,000	1,593,000	20,000	180,000
รวม			1,191,000		7,379,000		520,000

ตารางที่ ง.24 ค่าใช้จ่ายของโรงแรมที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 4 (EW+HxCoil)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS 01	1	47,000	47,000	791,000	791,000	100,000	100,000
- DOAS 02	3	63,000	189,000	1,261,000	3,783,000	100,000	300,000
- EW 01	1	110,000	110,000	36,000	36,000		
- EW 02	3	174,000	522,000	39,000	117,000		
- Run around coil 01	1	38,000	38,000	33,000	33,000		
- Run around coil 02	3	39,000	117,000	34,000	102,000		
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	46,000	46,000	468,000	468,000	20,000	20,000
- AHU 02	9	30,000	270,000	243,000	2,187,000	20,000	180,000
รวม			1,339,000		7,517,000		600,000

ตารางที่ ง.25 ค่าใช้จ่ายของโรงแรมที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 5 (EW+CC+SW)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS 01	1	47,000	47,000	776,000	776,000	100,000	100,000
- DOAS 02	3	63,000	189,000	1,236,000	3,708,000	100,000	300,000
- EW 01	1	110,000	110,000	36,000	36,000		
- EW 02	3	174,000	522,000	39,000	117,000		
- Run around coil 01	1	38,000	38,000	19,000	19,000		
- Run around coil 02	3	39,000	117,000	34,000	102,000		
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	47,000	47,000	530,000	530,000	20,000	20,000
- AHU 02	9	31,000	279,000	276,000	2,484,000	20,000	180,000
รวม			1,349,000		7,772,000		600,000

ตารางที่ ง.26 ค่าใช้จ่ายของโรงแรมที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 6 (CC+PDHC)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS 01	1	69,000	69,000	1,270,000	1,270,000	80,000	80,000
- DOAS 02	3	92,000	276,000	2,022,000	6,066,000	80,000	240,000
- PDHC 01	1	132,000	132,000	36,000	36,000		
- PDHC 02	3	208,000	624,000	39,000	117,000		
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	47,000	47,000	475,000	475,000	20,000	20,000
- AHU 02	9	30,000	270,000	247,000	2,223,000	20,000	180,000
รวม			1,418,000		10,187,000		520,000

ตารางที่ ง.27 ค่าใช้จ่ายของโรงแรมที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 7 (EW+PDHC+CC)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS 01	1	47,000	47,000	793,000	793,000	120,000	120,000
- DOAS 02	3	63,000	189,000	1,261,000	3,783,000	120,000	360,000
- EW 01	1	110,000	110,000	36,000	36,000		
- EW 02	3	174,000	522,000	39,000	117,000		
- PDHC 01	1	132,000	132,000	36,000	36,000		
- PDHC 02	3	208,000	624,000	39,000	117,000		
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	46,000	46,000	482,000	482,000	20,000	20,000
- AHU 02	9	30,000	270,000	251,000	2,259,000	20,000	180,000
รวม			1,940,000		7,623,000		680,000

ตารางที่ ง.28 ค่าใช้จ่ายของโรงแรมที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 8 (EW+CC+PDHC)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS 01	1	46,000	46,000	727,000	727,000	120,000	120,000
- DOAS 02	3	61,000	183,000	1,157,000	3,471,000	120,000	360,000
- EW 01	1	110,000	110,000	36,000	36,000		
- EW 02	3	174,000	522,000	39,000	117,000		
- PDHC 01	1	132,000	132,000	36,000	36,000		
- PDHC 02	3	208,000	624,000	39,000	117,000		
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	47,000	47,000	534,000	534,000	20,000	20,000
- AHU 02	9	31,000	279,000	278,000	2,502,000	20,000	180,000
รวม			1,943,000		7,540,000		680,000

ตารางที่ ง.29 ค่าใช้จ่ายของโรงแรมที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 9 (CC+ADesW)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS 01	1	53,000	53,000	610,000	610,000	150,000	150,000
- DOAS 02	3	72,000	216,000	972,000	2,916,000	150,000	450,000
- ADesW 01	1	132,000	132,000	499,000	499,000		
- ADesW 02	3	210,000	630,000	795,000	2,385,000		
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	65,000	65,000	1,033,000	1,033,000	20,000	20,000
- AHU 02	9	42,000	378,000	558,000	5,022,000	20,000	180,000
รวม			1,474,000		11,855,000		800,000

ตารางที่ ง.30 รายละเอียดเงินลงทุน ค่าเงินเทียบเท่ารายปีที่เท่ากัน และค่าเทียบเท่าปัจจุบันของโรงแรมที่ติดตั้งเครื่องเติมอากาศ 9 รูปแบบ

รูปแบบของเครื่องเติมอากาศ	เงินลงทุน, P_0 (บาท)	ค่าเงินเทียบเท่ารายปีที่เท่ากัน, A (บาท)	ค่าเทียบเท่าปัจจุบันสุทธิ, NPV (บาท)
1) CC	657,000	10,511,000	96,390,000
2) HxCoil	821,000	10,726,000	98,512,000
3) EW+CC	1,191,000	7,899,000	73,134,000
4) EW+HxCoil	1,339,000	8,117,000	73,929,000
5) EW+CC+SW	1,349,000	8,372,000	77,600,000
6) CC+PDHC	1,418,000	10,707,000	98,936,000
7) EW+PDHC+CC	1,940,000	8,303,000	77,563,000
8) EW+CC+PDHC	1,943,000	8,220,000	76,810,000
9) CC+ADesW	1,474,000	12,655,000	116,735,000

ง.5 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของโรงพยาบาล

รายละเอียดค่าใช้จ่ายของโรงพยาบาลที่ใช้เครื่องเติมอากาศทั้ง 9 รูปแบบแสดงอยู่ในตารางที่ ง.31 - ตารางที่ ง.34 ส่วนการคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารสำนักงานที่ติดตั้งเครื่องเติมอากาศแต่ละรูปแบบแสดงอยู่ในตารางที่ ง.35 โดยคิดอัตราดอกเบี้ย 7% ระยะเวลาการดำเนินงาน 15 ปี

ตารางที่ ง.31 ค่าใช้จ่ายของโรงพยาบาลที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 1 (CC)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS 01	1	125,000	125,000	3,165,000	3,165,000	50,000	50,000
- DOAS 02	2	131,000	262,000	2,762,000	5,524,000	50,000	100,000
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	57,000	57,000	220,000	220,000	30,000	30,000
- AHU 02	6	31,000	186,000	107,000	642,000	20,000	120,000
รวม			630,000	9,551,000			300,000

ตารางที่ ง.32 ค่าใช้จ่ายของโรงพยาบาลที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 2 (HxCoil)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS 01	1	130,000	130,000	2,814,000	2,814,000	70,000	70,000
- DOAS 02	2	132,000	264,000	2,456,000	4,912,000	70,000	140,000
- Run around coil 01	1	56,000	56,000	51,000	51,000		
- Run around coil 02	2	50,000	100,000	42,500	85,000		
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	79,000	79,000	493,000	493,000	30,000	30,000
- AHU 02	6	39,000	234,000	208,000	1,248,000	20,000	120,000
รวม			863,000		9,603,000		360,000

ตารางที่ ง.33 ค่าใช้จ่ายของโรงพยาบาลที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 6 (CC+PDHC)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS 01	1	130,000	130,000	2,839,000	2,839,000	100,000	100,000
- DOAS 02	2	132,000	264,000	2,477,000	4,945,000	100,000	200,000
- PDHC 01	1	582,000	582,000	54,000	54,000		
- PDHC 02	2	500,000	1,000,000	53,000	106,000		
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	80,000	80,000	476,000	476,000	30,000	30,000
- AHU 02	6	40,000	240,000	198,000	1,188,000	20,000	120,000
รวม			2,296,000		9,617,000		450,000

ตารางที่ ง.34 ค่าใช้จ่ายของโรงพยาบาลที่ใช้เครื่องเติมอากาศรูปแบบที่ 9 (CC+ADesW)

รายการ	จำนวน	ต้นทุนเครื่อง (บาท)		ค่าดำเนินงานต่อปี (บาท)		ค่าบำรุงรักษาต่อ ปี(บาท)	
		ราคา	รวม	ราคา	รวม	ราคา	รวม
เครื่องเติมอากาศภายนอก							
- DOAS 01	1	127,000	127,000	1,685,000	1,685,000	120,000	120,000
- DOAS 02	2	121,000	242,000	1,471,000	2,942,000	120,000	240,000
- ADesW 01	1	132,000	132,000	1,294,000	1,294,000		
- ADesW 02	2	210,000	420,000	1,129,000	2,258,000		
เครื่องเป่าลมเย็น							
- AHU 01	1	124,000	124,000	1,784,000	1,784,000	40,000	40,000
- AHU 02	6	63,000	378,000	600,000	3,600,000	30,000	180,000
รวม			1,423,000		11,878,000		580,000

ตารางที่ ง.35 รายละเอียดเงินลงทุน ค่าเงินเทียบเท่ารายปีที่เท่ากัน และค่าเทียบเท่าปัจจุบัน
ของโรงพยาบาลที่ติดตั้งเครื่องเติมอากาศ 9 รูปแบบ

รูปแบบของเครื่องเติมอากาศ	เงินลงทุน, P_0 (บาท)	ค่าเงินเทียบเท่ารายปี ที่เท่ากัน, A (บาท)	ค่าเทียบเท่าปัจจุบัน สุทธิ, NPV (บาท)
1) CC	630,000	9,851,000	90,353,000
2) HxCoil	863,000	9,963,000	91,605,000
6) CC+PDHC	2,296,000	10,067,000	93,985,000
9) CC+ADesW	1,423,000	12,458,000	114,889,000

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเชาวนพันธ์ เหล็กขำ เกิดเมื่อวันอังคาร ที่ 3 ธันวาคม พ.ศ. 2528 ที่จังหวัดสุโขทัย สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551