



A STUDY OF HUMIDITY LEVEL CONSTRAINT FOR SPLIT-TYPE AIR CONDITIONER UNIT

The Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's Patronage

การศึกษาข้อจำกัดของระดับความชื้นสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

A STUDY OF HUMIDITY LEVEL CONSTRAINT FOR SPLIT-TYPE AIR CONDITIONER UNIT

ประกอบ สุรวัฒนาวรรณ และกรรณิการ์ สุดสม

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: fengpsw@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ระบบปรับอากาศมีหน้าที่หลัก คือสร้างความสบายพร้อมกับคุณภาพอากาศที่ดี ซึ่งในขณะเดียวกันก็ต้องมีการคำนึงถึงการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศไปพร้อมกันด้วย ความสบายของผู้อยู่อาศัยในอาคารประกอบไปด้วยช่วงอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมภายใต้การหมุนเวียนอากาศที่เพียงพอ อย่างไรก็ตามเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนโดยทั่วไป ถูกควบคุมการทำงานโดยอุปกรณ์วัดอุณหภูมิแต่เพียงอย่างเดียว การควบคุมความชื้นจึงกลายเป็นหน้าที่โดยทางอ้อมของระบบปรับอากาศ งานวิจัยนี้ได้นำเสนอผลการทดสอบและแนวทางวิเคราะห์ระบบปรับอากาศของห้องสำนักงานตัวอย่าง ผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของ Cooling load จากจำนวนคน และการระบายอากาศ ส่งผลกระทบต่อทำให้การควบคุมความชื้นมีความแตกต่างกัน ในกรณีนี้ ผลกระทบของการเปิดพัดลมระบายอากาศส่งผลมากกว่าต่อการเพิ่มจำนวนคนในห้องสำนักงาน อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการเลือกใช้พัดลมระบายอากาศแบบติดผนังที่หาได้ง่ายตามท้องตลาด แต่มีขนาดใหญ่เกินความต้องการ ของการระบายอากาศ ผลวิเคราะห์ของ Cooling load สำหรับห้องสำนักงาน ที่มีการระบายอากาศ แสดงให้เห็นถึง Cooling load จากพัดลมระบายอากาศ สูงที่สุด และรองลงมา คือ Cooling load จากโครงสร้างภายใน โครงสร้างภายนอก คน การแผ่รังสีของแสงแดดผ่านกระจก และ หลอดไฟ Fluorescent ตามลำดับ เครื่องปรับอากาศมีข้อจำกัดทางด้าน การควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จาก หลักการถ่ายเทความร้อนของ Sensible heat และ Latent heat ซึ่งจะเห็นได้จากผลต่างของอุณหภูมิ Supply air และ Room air ที่อยู่ระหว่าง 15–27 deg F จะพบว่า เครื่องปรับอากาศมีความสามารถในการควบคุม Sensible heat ratio ที่แตกต่างกัน ในช่วง 0.55–0.99 สำหรับการศึกษานี้ เครื่องปรับอากาศมี ขนาด 9,000 BTU มีอัตราการไหลของอากาศ 300 CFM ผลต่างของอุณหภูมิ Supply air และ Room air เท่ากับ 20 deg F จะมีค่า Room sensible heat ratio อยู่ที่ 0.73 เมื่อใช้เครื่องปรับอากาศพร้อมกับการเปิดพัดลมระบายอากาศทำให้ RSHR ไปอยู่ที่ 0.50 นั่นคือระบบปรับอากาศจะไม่สามารถควบคุมความชื้นได้ตามที่ต้องการ ดังนั้นการออกแบบระบบปรับอากาศ จะต้องคำนึงถึงระบบระบายอากาศที่เหมาะสม มีการหมุนเวียนอากาศที่เพียงพอ แต่จะต้องไปมากเกินจำเป็น และต้องนำค่าการหมุนเวียนอากาศมาวิเคราะห์ร่วมกับระบบปรับอากาศทุกครั้ง เพื่อทำให้เกิดความมั่นใจว่าระบบปรับอากาศสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นไปพร้อมกันได้

คำสำคัญ: ระบบปรับอากาศ, การควบคุมความชื้น, ไซโครเมตริกซ์

#### ABSTRACT

*The basic purpose of air conditioner is to provide a comfortable and sufficient indoor air quality. By the same time, the energy consumption of air conditioner must be concerned. Human comfort is defined as the appropriate range of temperature and humidity under the sufficient volume flow rate of outdoor air ventilation. However, normal split type air conditioner is controlled by temperature sensor only. The humidity control becomes indirect function of the air conditioning process. This research work proposed the test result and assessment method for the split type air conditioner for an example office room. The test result showed the influences of the number of people and amount of ventilation air flow on the room cooling load. The increment of this cooling load decreases the ability of humidity control. In this study, the amount of ventilation air flow is more significant than the number of people. The wall type ventilation fan is selected because of readily available in the market and economic reason. However, the amount of air flow is normally larger than standard requirement. Heating load calculation in this case shows the highest heating load is from ventilation. The second is from interior structure and the third is from exterior structure. The air conditioner has constraint on temperature and humidity control. This can be evaluated from the sensible heat transfer and latent heat transfer principles. Regarding the difference between the supply air temperature and the room air temperature is from 15 to 27 deg F, the air conditioner has the controllability for the sensible heat ratio from 0.55 to 0.99. In this study, the 9,000 BTU/hr with 300 CFM air flow rate air conditioner and the 20 deg F temperature difference between the supply air temperature and the room air temperature has room sensible heat ratio at 0.73. When the air conditioner works at the same time with ventilation fan, the room sensible heat ratio is at 0.50. That means that the air conditioner cannot be used to control the humidity. Therefore, for the effective design of air conditioner, the amount of airflow for ventilation must be carefully designed and selected. The volume flow rate must be sufficient and comply with standard and regulation but not too high. The volume flow rate must be accounted for cooling load calculation for the selection of the appropriate air conditioner.*

**KEYWORDS:** air conditioning, humidity control, Psychrometric chart

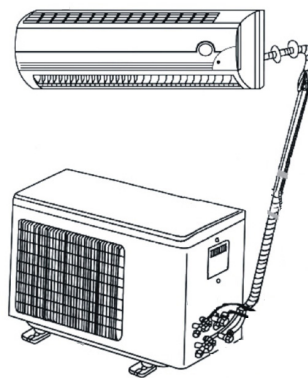
## 1. บทนำ

สภาวะความสบายของมนุษย์คือกระบวนการจัดการอากาศเพื่อควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม การกระจายตัวของอากาศ รวมถึงความสะอาดของอากาศที่ส่งเข้ามาในห้องซึ่งส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์ สภาพแวดล้อมของประเทศไทยมีสภาพอากาศร้อนชื้น อุณหภูมิโดยเฉลี่ยในเวลากลางวันอยู่ที่ 35 deg C ความชื้นสัมพัทธ์ตลอดปีอยู่ที่ระดับ 70 % RH ดังนั้นจึงทำให้มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Air Split Type) การควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนโดยทั่วไปใช้ Temperature sensor เป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัดอุณหภูมิ และส่งสัญญาณมาควบคุมการทำงานของ Compressor ซึ่งจะเห็นได้ว่าการทำงานของเครื่องปรับอากาศจะไม่ได้คำนึงถึงความชื้นในการปรับอากาศเลย หากระดับความชื้นเมื่อมีมากหรือน้อยเกินไป จะส่งผลกระทบต่อความรู้สึกไม่สบายตัว สุขภาพ ระบบหายใจ ก่อให้เกิดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียหรือเชื้อรา ทำให้การแพร่เชื้อทางอากาศ เกิดขึ้นได้โดยง่าย อีกทั้งความชื้นที่สูงมากจนถึงจุดควบแน่น (Dew point) ก็จะทำให้เกิดหยดน้ำและเกิดความเสียหายต่อพื้นที่และโครงสร้างภายในอาคาร [1, 2, 3] งานวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง Cooling load ที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่ส่งต่อสภาวะความสบายของมนุษย์ในห้องปรับอากาศโดยใช้ตัวอย่างห้องสำนักงานขนาดเล็ก และนำเสนอวิธีการประเมินเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Air Split Type) ว่าสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้เป็นปริมาณเท่าไร

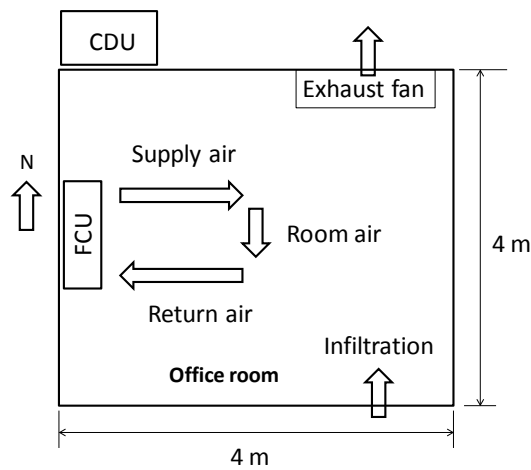
## 2. ผลดำเนินการวิจัย

### 2.1 ศึกษาผลกระทบของการระบายอากาศ (Ventilation) ต่อสภาวะความสบาย (Comfort) ภายในห้องปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการวิจัยเป็นเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type) แบบติดผนัง ใช้น้ำยา R22 ติดตั้งในห้องสำนักงานที่มีขนาดพื้นที่ 4 m x 4 m ความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดาน 2.6 เมตร ขนาดการทำความเย็น 9,000 BTU/hr ตาม Specification ของเครื่อง ซึ่งระบุจากสภาวะทดสอบที่ ทิศ าม ARI (American Refrigeration Institute) ซึ่งตรวจวัดจากสภาวะในห้องปรับอากาศที่ 80 deg F DB (26.6 deg C DB) /67 deg F WB (19.4 deg C WB) สภาวะ Ambient condition ที่ 95 deg F DB (35 deg C DB) แสดงดังรูปที่ 1



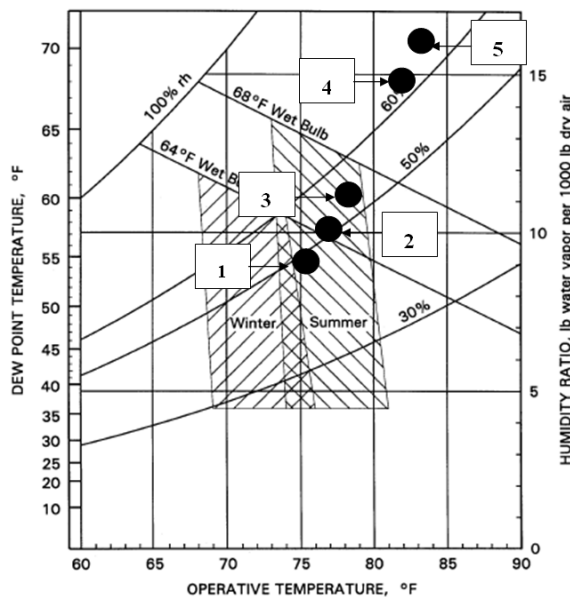
รูปที่ 1 เครื่องปรับอากาศแบบ Wall mounted split type



รูปที่ 2 การจัดวางเครื่องปรับอากาศแบบ Wall mounted split type และ Exhaust fan

แนวทางการศึกษาโดยการเปรียบเทียบสภาวะการทำงานของเครื่องปรับอากาศในห้องที่ไม่มีการระบายอากาศ และ การทำงานของเครื่องปรับอากาศในห้องที่มีการระบายอากาศ โดยนำสภาวะอากาศของห้องปรับอากาศทั้ง 2 กรณีมาเปรียบเทียบกันใน Comfort chart ซึ่งเป็นหลักเกณฑ์ที่มาจาก AHRAE standard 55 [4]

ในขั้นตอนแรก นำเครื่องปรับอากาศ ติดตั้งในห้องสำนักงาน แสดงดังรูปที่ 2 โดยที่ไม่เปิดพัดลมระบายอากาศ ปรับตั้ง Thermostat อุปกรณ์ควบคุมไปที่ 19, 22, 25, 28, 30 deg C เครื่องปรับอากาศ ถูกปรับสภาวะแวดล้อมให้ทำงานจนเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) ของอุณหภูมิในห้องและสภาวะของน้ำยา ตรวจสอบอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ จากนั้นนำมา Plot ลงใน Comfort chart

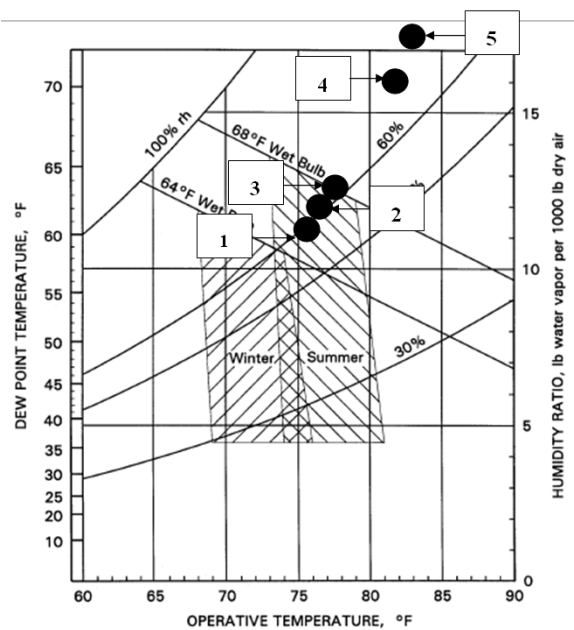


รูปที่ 3 การประเมิน Comfort Condition กรณีไม่เปิดพัดลมระบายอากาศ

จากผลการทดสอบ รูปที่ 3 จะเห็นได้ว่า ค่าอุณหภูมิปรับตั้งที่เครื่องปรับอากาศทำงานที่สูงขึ้น ส่งผลทำให้ความสามารถในการควบคุมปริมาณไอน้ำในอากาศ ลดลง ทำให้ค่า Humidity ratio สูงขึ้น ตัวอย่างเช่น ที่อุณหภูมิทำงาน 25 deg C มีค่า Humidity

ratio 0.011 lb.w/lb d.a. แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิทำงานไปที่ 30 deg C ค่า Humidity ratio ปรับเพิ่มขึ้นเป็น 0.016 lb.w/lb d.a. หรือเพิ่มขึ้น 45% ในขณะเดียวกัน ค่าอุณหภูมิปรับตั้งที่เครื่องปรับอากาศทำงานที่สูงขึ้น ส่งผลทำให้ค่า Relative humidity สูงขึ้นไปด้วย ที่อุณหภูมิทำงาน 25 deg C มีค่า Relative humidity 55 % RH แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิทำงานไปที่ 30 deg C ค่า Relative humidity ปรับเพิ่มขึ้นเป็น 65 % RH หรือเพิ่มขึ้น 18% เหตุผลเนื่องมาจากอุปกรณ์ในเครื่องปรับอากาศ พัดลมและ Cooling coil ถูกเลือกและออกแบบมา ณ สภาวะการทำงานที่เหมาะสมค่าหนึ่ง (ตาม Specification ของเครื่อง ซึ่งระบุจากสภาวะทดสอบตาม ARI (American Refrigeration Institute) ซึ่งตรวจวัดจากสภาวะในห้องปรับอากาศที่ 80 deg F DB (26.6 deg C DB) / 67 deg F WB (19.4 deg C WB) สภาวะ Ambient condition ที่ 95 deg F DB (35 deg C DB)) เมื่อมีการทำงานที่เปลี่ยนแปลงไปจากจุดที่ออกแบบเครื่องไว้ ก็จะส่งผลเปลี่ยนแปลงทั้งในด้านอุณหภูมิและความชื้นไปพร้อม ๆ กัน

ในขั้นตอนที่สอง จากเครื่องปรับอากาศจากหัวข้อที่แล้ว ติดตั้งในห้องสำนักงาน (ติดตั้งพัดลมระบายอากาศ 1 เครื่อง แบบ Exhaust fan เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว ความเร็วลม 2.8 เมตร/วินาที มีอัตราการไหลของอากาศ 186 CFM) เครื่องปรับอากาศทำงานในสภาวะเดิม โดยให้มีการเปิดพัดลมระบายอากาศ ควบคู่ไปพร้อมกับการเปิดเครื่องปรับอากาศให้ทำงาน ปรับตั้ง Thermostat อุปกรณ์ควบคุมไปที่ 19, 22, 25, 28, 30 deg C ในแต่ละสภาวะ เครื่องปรับอากาศ ถูกปรับสภาวะแวดล้อมให้ทำงานจนเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) ของอุณหภูมิในห้องและสภาวะของน้ำยา ตรวจสอบอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ จากนั้นนำมา Plot ลงใน Comfort chart



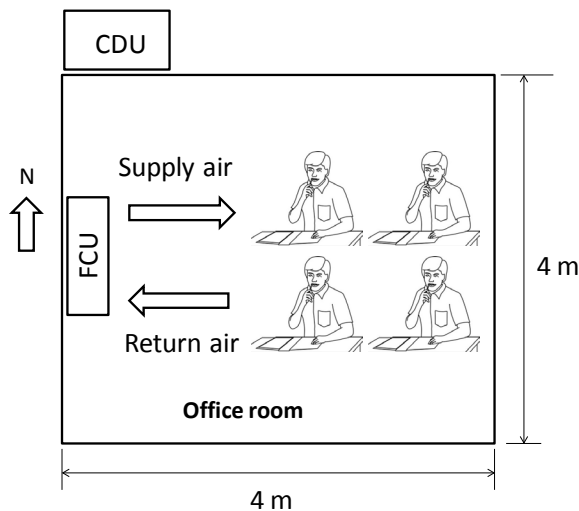
รูปที่ 4 การประเมิน Comfort Condition กรณีเปิดพัดลมระบายอากาศ

นำผลการทดสอบ รูปที่ 3 และ 4 มาเปรียบเทียบกัน จะเห็นได้ว่า ณ การทำงานที่อุณหภูมิปรับตั้งที่ 19, 22, 25 deg C อยู่ในช่วง Comfort ที่ยอมรับได้ตาม ASHRAE 55 ส่วน การทำงานที่ 28, 30 deg Cอยู่นอก Comfort zone และเมื่อมีการเปิดพัดลมระบายอากาศ ทำให้ สภาวะการทำงานของห้อง เคลื่อนออกไปจากจุดเดิม ส่งผลให้ Dry bulb temperature และ Humidity ratio สูงขึ้น ยกตัวอย่าง ณ การทำงานที่อุณหภูมิ 25 deg C เมื่อมีการเปิดพัดลมระบายอากาศ ถึงแม้ว่าจะยังอยู่ใน Comfort zone ก็จะทำให้ Dry bulb temperature สูงขึ้น 4 % และ Humidity ratio สูงขึ้น 19% ตามลำดับเมื่อเทียบกับสภาวะที่ไม่ได้เปิดพัดลมระบายอากาศ เหตุผลเนื่องมาจากระบบพัดลมดูดอากาศ ได้ทำให้เกิดการหมุนเวียนอากาศภายนอก (Ambient air) เข้ามาสู่ภายในห้อง ผ่านทางรอยต่อของประตู หน้าต่างของห้อง Ambient air ของประเทศไทยหรือกรุงเทพมหานครในงานวิจัยฉบับนี้ มีค่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ย

35 deg C และ ค่า Relative humidity โดยเฉลี่ย 65 % RH ทำให้เกิด Cooling load เพิ่มขึ้นกับระบบปรับอากาศ ส่งผลให้การ  
ความสามารถในการควบคุมความชื้น ลดน้อยลงจากเดิม

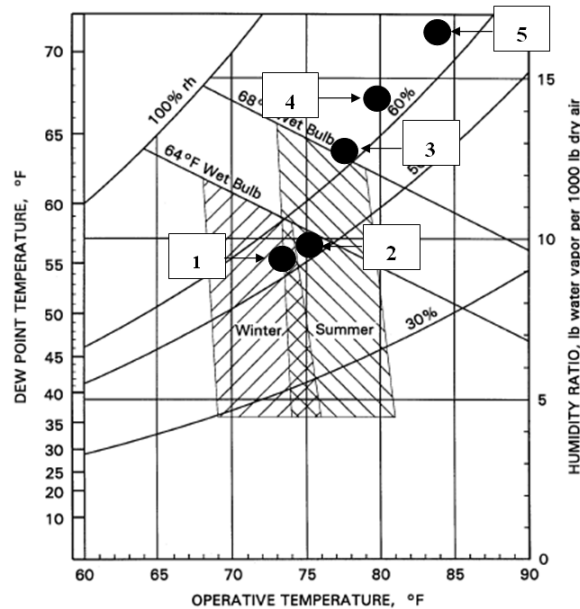
## 2.2 ศึกษาผลกระทบของจำนวนคน (Heat load) ต่อสภาวะความสบาย (Comfort) ภายในห้องปรับอากาศ

แนวทางการศึกษาโดยการเปรียบเทียบสภาวะการทำงานของเครื่องปรับอากาศในห้องที่มีจำนวนคนแตกต่างกัน ระหว่างจำนวน  
คน 1 และ 4 คน โดยนำสภาวะอากาศของห้องปรับอากาศทั้ง 2 กรณีมาเปรียบเทียบกันใน Comfort chart ซึ่งเป็นหลักเกณฑ์ที่มา  
จาก AHRAE standard 55



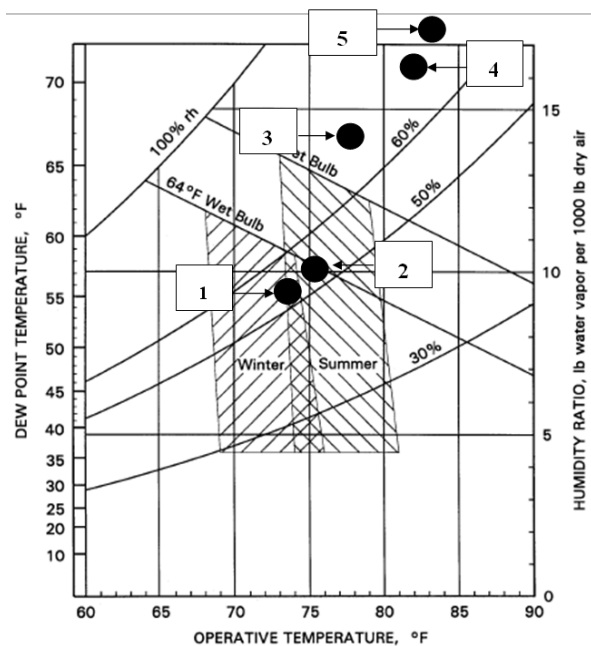
รูปที่ 5 การจัดวางเครื่องปรับอากาศแบบ Wall mounted split type, คนนั่งในสำนักงาน

ในขั้นตอนแรก จากเครื่องปรับอากาศจากหัวข้อที่แล้ว ติดตั้งในห้องสำนักงาน ทำงานในสภาวะเดิม ไม่เปิดพัดลมระบายอากาศ  
มีคนอยู่ในห้องจำนวน 1 คน ปรับตั้ง Thermostat อุปกรณ์ควบคุมไปที่ 19, 22, 25, 28, 30 deg C เครื่องปรับอากาศ ถูกปรับ  
สภาวะแวดล้อมให้ทำงานจนเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) ของอุณหภูมิในห้องและสภาวะของน้ำยา ตรวจสอบ อุณหภูมิ และ  
ความชื้นสัมพัทธ์ จากนั้นนำมา Plot ลงใน Comfort chart



รูปที่ 6 การประเมิน Comfort Condition กรณีมีคน 1 คน ไม่เปิดพัดลมระบายอากาศ

ในขั้นตอนถัดมา จากสถานะเดิมของเครื่องปรับอากาศแล้ว ติดตั้งในห้องสำนักงาน ทำงานในสภาวะเดิม ปรับเปลี่ยนจำนวนคนที่อยู่ในห้องเป็น 4 คน ปรับตั้ง Thermostat อุปกรณ์ควบคุมไปที่ 19, 22, 25, 28, 30 deg C เครื่องปรับอากาศ ถูกปรับสภาวะแวดล้อมให้ทำงานจนเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) ของอุณหภูมิในห้องและสภาวะของน้ำยามีการตรวจสอบ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ จากนั้นนำมา Plot ลงใน Comfort chart



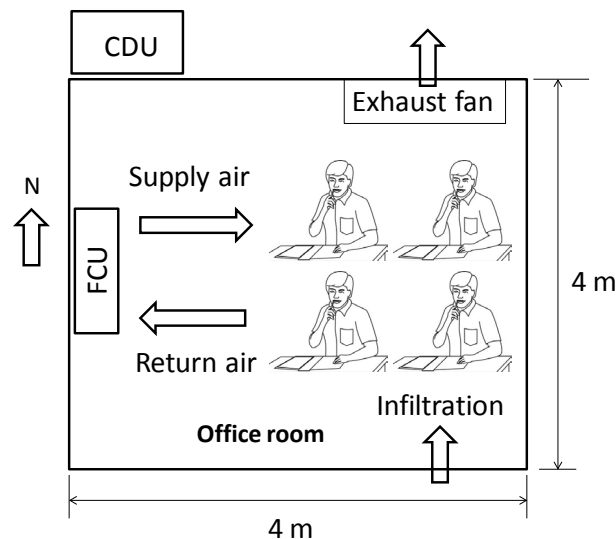
รูปที่ 7 การประเมิน Comfort Condition กรณีมีคน 4 คน ไม่เปิดพัดลมระบายอากาศ



นำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกัน จะเห็นได้ว่า กรณีที่มีคน 1 คนอยู่ในห้อง ณ การทำงานที่อุณหภูมิปรับตั้งที่ 19, 22, 25 deg C อยู่ในช่วง Comfort ที่ยอมรับได้ตาม ASHRAE 55 ส่วน การทำงานที่ 28, 30 deg Cอยู่นอก Comfort zone และเมื่อมีการเพิ่มจำนวนคนเป็น 4 คน ทำให้ สภาวะการทำงานของห้อง เคลื่อนออกไปจากจุดเดิม ส่งผลให้ Dry bulb temperature และ Humidity ratio สูงขึ้น การทำงานที่อุณหภูมิ 19, 22 deg C อยู่ในช่วง Comfort ที่ยอมรับได้ ส่วน การทำงานที่ 25, 28, 30 deg Cอยู่นอก Comfort zone โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ณ การทำงานที่อุณหภูมิ 25 deg C เมื่อมีการเปิดพัดลมระบายอากาศ ก็จะทำให้ Dry bulb temperature และ Humidity ratio สูงขึ้น จนทำให้สภาวะสมดุลของห้อง ออกจาก Comfort zone ไป เหตุผลของปรากฏการณ์นี้เกิดจาก Cooling load ที่เกิดจากคนที่เพิ่มขึ้น โดยคนหนึ่งคน ในสภาวะนั่งทำงานในสำนักงานจะมีการสร้างความร้อนเกิดขึ้นประมาณ 450 BTU/hr ต่อคน ประกอบไปด้วย Sensible heat 250 BTU/hr และ Latent heat 200 BTU/hr (อ้างอิงจาก ASHRAE) ซึ่งจาก Cooling load ที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้การความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ลดน้อยลงจากเดิม

### 2.3 ศึกษาผลกระทบของการระบายอากาศ และจำนวน คน (A number of people) ต่อสภาวะความสบาย (Comfort) ภายในห้องปรับอากาศ

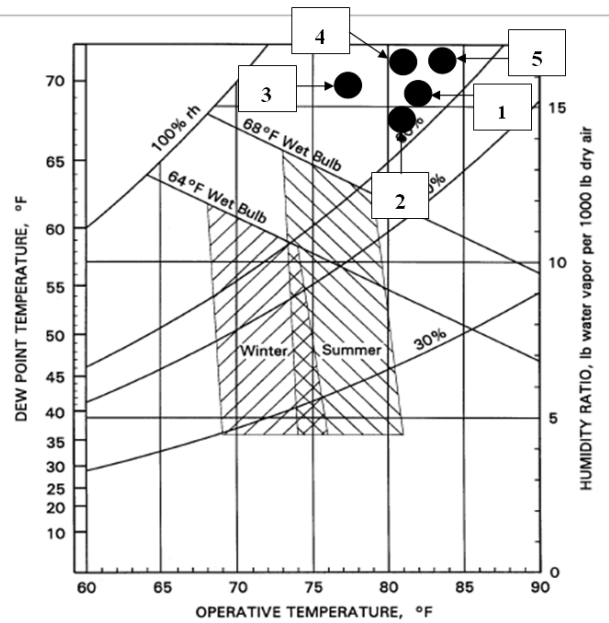
แนวทางการศึกษาโดยการเปรียบเทียบสภาวะการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่มีการระบายอากาศ ในห้องที่มีจำนวนคนแตกต่างกัน ระหว่างจำนวนคน 1 และ 4 คน โดยนำสภาวะอากาศของห้องปรับอากาศทั้ง 2 กรณีมาเปรียบเทียบกันใน Comfort chart ซึ่งเป็นหลักเกณฑ์ที่มาจาก AHRAE standard 55



รูปที่ 8 การจัดวางเครื่องปรับอากาศแบบ Wall mounted split type, คนนั่งในสำนักงาน, Exhaust fan

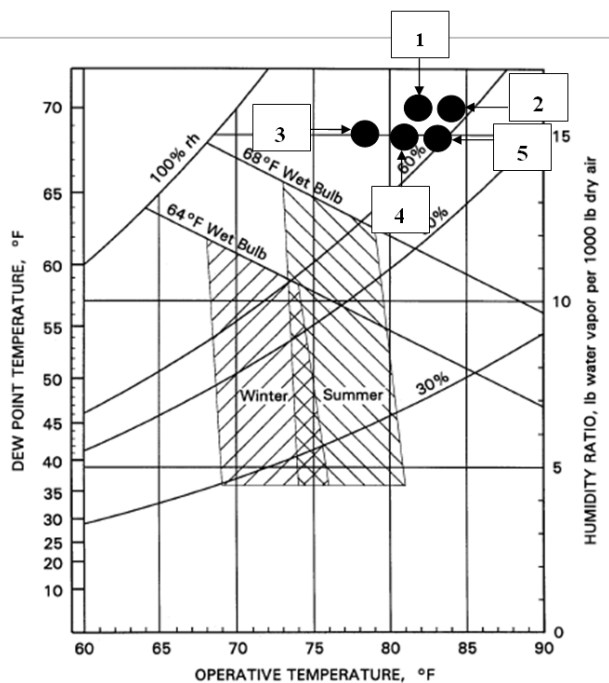
ในขั้นตอนแรก จากเครื่องปรับอากาศจากหัวข้อที่แล้ว ติดตั้งในห้องสำนักงาน ทำงานในสภาวะเดิม เปิดพัดลมระบายอากาศ มีคนอยู่ในห้องจำนวน 1 คน ปรับตั้ง Thermostat อุปกรณ์ควบคุมไปที่ 19, 22, 25, 28, 30 deg C เครื่องปรับอากาศ ถูกปรับสภาวะแวดล้อมให้ทำงานจนเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) ของอุณหภูมิในห้องและสภาวะของน้ำยา ตรวจสอบ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ จากนั้นนำมา Plot ลงใน Comfort chart





รูปที่ 9 การประเมิน Comfort Condition กรณีมีคน 1 คน เปิดพัดลมระบายอากาศ

ในขั้นตอนถัดมา จากสถานะเดิมของเครื่องปรับอากาศแล้ว ติดตั้งในห้องสำนักงาน ทำงานในสถานะเดิม ปรับเปลี่ยนจำนวนคนที่อยู่ในห้องเป็น 4 คน ปรับตั้ง Thermostat อุปกรณ์ควบคุมไปที่ 19, 22, 25, 28, 30 deg C เครื่องปรับอากาศ ถูกปรับสถานะ แวดล่อมให้ทำงานจนเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) ของอุณหภูมิในห้องและสถานะของน้ำยามีการตรวจสอบ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ จากนั้นนำมา Plot ลงใน Comfort chart



รูปที่ 10 การประเมิน Comfort Condition กรณีมีคน 4 คน เปิดพัดลมระบายอากาศ

นำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกัน จะเห็นได้ว่า กรณีที่มีคน 1 คนอยู่ในห้องปรับอากาศ ที่ทำงานพร้อมระบบระบายอากาศทำงาน ณ อุณหภูมิปรับตั้งที่ 19, 22, 25 deg C เคลื่อนที่ออกจากช่วง Comfort zone ทั้งหมด และเมื่อมีการเพิ่มจำนวนคนเป็น 4 คน ทำให้ก็ยังทำให้ สภาวะการทำงานห้อง เคลื่อนออกไปจากจุดเดิมมากยิ่งขึ้นไปอีก ส่งผลให้ Dry bulb temperature และ Humidity ratio สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จะเห็นได้ว่า การเพิ่มจำนวนคน และการมีภาระระบายอากาศ จะทำให้ Cooling load ของระบบปรับอากาศสูงขึ้น ทำให้ ในบางสภาวะการทำงาน เครื่องปรับอากาศไม่สามารถที่จะควบคุมให้อยู่ใน Comfort zone ได้ โดยที่ในกรณีนี้ การระบายอากาศส่งผลอย่างมีนัยสำคัญมากกว่าการเพิ่มจำนวนคน

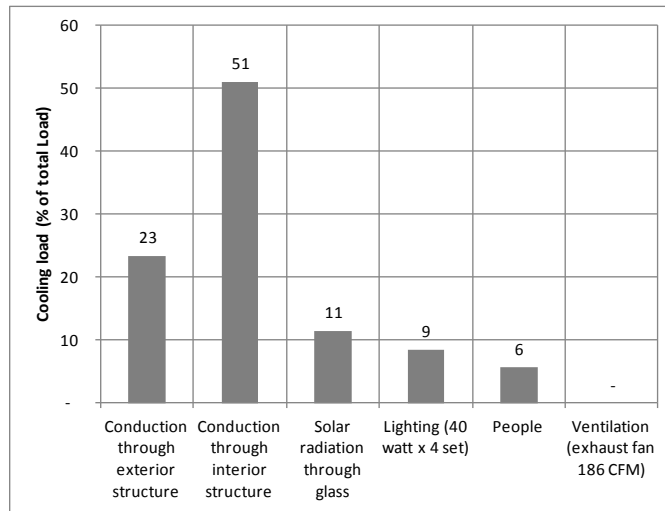
### 3. บทวิเคราะห์

การวิเคราะห์ Cooling load ของห้องสำนักงาน ที่มีขนาดพื้นที่ 4 m x 4 m ความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดาน 2.6 เมตร โดยผนังหนึ่งด้านเป็นโครงสร้างภายนอก (Exterior structure) ผนังทึบไปทางทิศเหนือ ผนังที่เหลืออีก 3 ด้าน เป็นผนังภายในอาคาร (Interior structure) ผนังทึบเหนือที่เป็นโครงสร้างภายนอก มีหน้าต่างกระจกเป็นส่วนประกอบอยู่ 25% กระจกเป็นแบบ Single clear glass หนา 6 mm ผนังทั้งหมดเป็นผนังคอนกรีตมีความหนา 4 นิ้ว หลังคาและพื้นเป็นคอนกรีตมีความหนา 4 นิ้ว ภายในห้องมีหลอดไฟ 40 watt 4 หลอด มีคนอยู่ 1 คน จากการวิเคราะห์ Heat load ตามวิธีการ CLTD (Cooling load temperature difference) โดยใช้เวลา 14:00 น ณ เดือนเมษายน ซึ่งเป็นสภาวะที่ร้อนที่สุดของประเทศไทย มีการปรับแก้ค่าของ Latitude, month, room temperature, ambient temperature ของกรุงเทพมหานคร ตามหลักการของ ASHRAE ตามข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าอ้างอิงจาก ASHRAE และค่าปรับแก้ (Correction) สำหรับกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย ในการวิเคราะห์ Cooling load

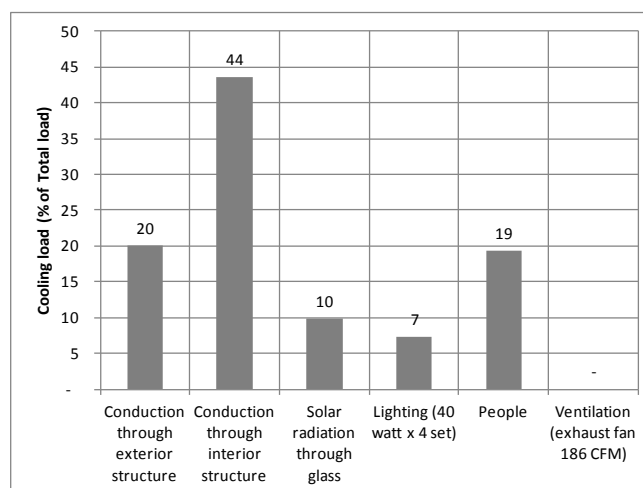
ค่าอ้างอิง (ASHRAE)	Correction สำหรับ Bangkok, Thailand
Location : 40 deg North Latitude	Location : 13.7 deg North Latitude
Date : July 21 <sup>st</sup>	Date : April 13 <sup>th</sup>
Indoor temperature = 78 F DB	Indoor temperature = 77 F DB (25 deg C)
Outdoor average temperature = 85 F DB	Outdoor average temperature = 95 F DB (35 deg C)

จากการวิเคราะห์ Cooling load โดยคำนึงถึงผลของ Time delay ของ Solar gain แล้ว สามารถแสดงค่าการเปรียบเทียบภาระความร้อนจากหมวดต่าง ๆ (ห้องที่ไม่ได้เปิดพัดลมระบายอากาศ, มีคน 1 คน) ได้ดังรูปที่ 11 และแสดงค่าการเปรียบเทียบภาระความร้อนจากหมวดต่าง ๆ (ห้องที่ไม่ได้เปิดพัดลมระบายอากาศ, มีคน 4 คน) ได้ดังรูปที่ 12



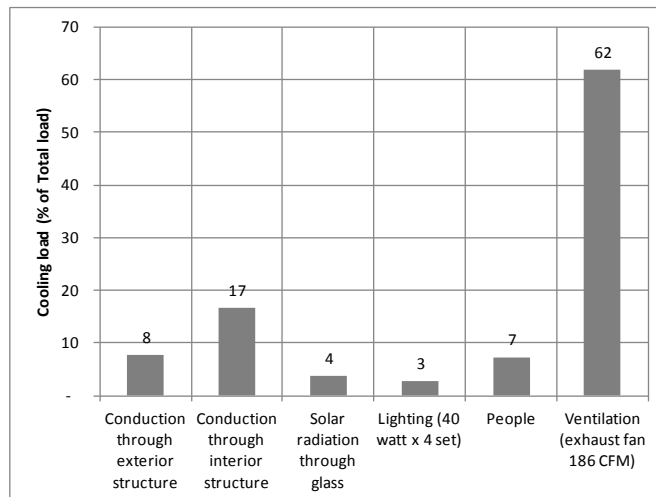
รูปที่ 11 การเปรียบเทียบภาระความร้อนจากหมวดต่างๆ (ห้องที่ไม่ได้เปิดพัดลมระบายอากาศ, มีคน 1 คน)

จากรูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบภาระความร้อนจากหมวดต่างๆ (ห้องที่ไม่ได้เปิดพัดลมระบายอากาศ, มีคน 1 คน) Cooling load จากโครงสร้างภายในสูงสุด 51% Cooling load จากโครงสร้างภายนอก 23% เหตุผลส่วนหนึ่งเนื่องจากพื้นที่ที่รับความร้อนจากแดดโดยตรง น้อยกว่าพื้นที่ของโครงสร้างภายในโดยรวม Cooling load จาก Solar radiation 11% เนื่องจากกระจก Single clear glass มีความร้อนผ่านเข้ามาสองส่วน โดยส่วนแรกมาจาก Conduction และส่วนที่สองมาจาก Radiation ส่วนแรกที่มาจก Conduction ตามหลักการ CLTD โดยใช้เวลา 14:00 น เดือนเมษายน ซึ่งเป็นสภาวะที่ร้อนที่สุดของประเทศไทย การวิเคราะห์ความร้อนจากหลอดไฟลูออเรสเซนต์ มีการคำนึงถึงความร้อนของ Ballast 25% ของความร้อนจากหลอดไฟ การวิเคราะห์ความร้อนจากคน ใช้สมมติฐานจากคนที่นั่งทำงานในสำนักงาน โดยมีความร้อน Sensible heat 250 BTU/hr ต่อคน และมีความร้อน Latent heat 200 BTU/hr ต่อคน



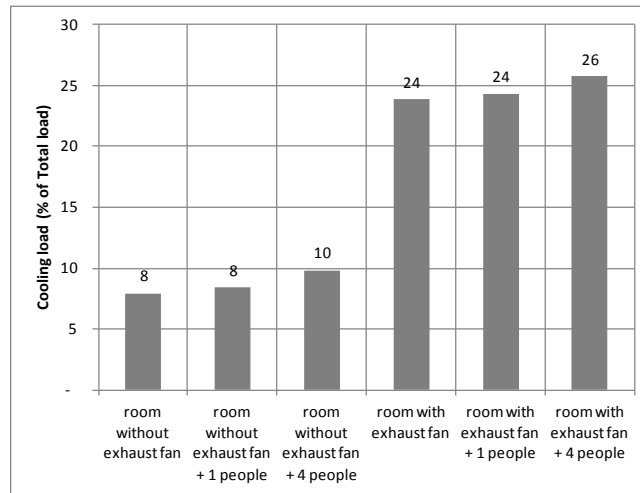
รูปที่ 12 การเปรียบเทียบภาระความร้อนจากหมวดต่างๆ (ห้องที่ไม่ได้เปิดพัดลมระบายอากาศ, มีคน 4 คน)

เมื่อมีการเพิ่มจำนวนคนเป็น 4 คน ส่งผลให้สัดส่วนของความร้อนแต่ละหมวดเปลี่ยนไป Cooling load จากโครงสร้างภายใน สูงสุด 44% Cooling load จากโครงสร้างภายนอก 20% ความร้อนจากคน 19% เปลี่ยนแปลงมาอยู่ในลำดับที่ 3 การเพิ่มคนทำให้ สัดส่วนและลำดับของ Cooling load เปลี่ยนแปลงไป แต่อย่างไรก็ตามความร้อนหลักก็ยังคงมาจากโครงสร้างภายในและภายนอก



รูปที่ 13 การเปรียบเทียบภาระความร้อนจากหมวดต่างๆ (ห้องที่เปิดพัดลมระบายอากาศ 186 CFM, มีคน 4 คน)

เมื่อมีการเปิดพัดลมระบายในห้องปรับอากาศ ทำให้เกิดการหมุนเวียนอากาศภายนอกเข้ามาในห้องปรับอากาศ 186 CFM ในงานวิจัยนี้ ทำให้ Cooling load ที่มาจากอากาศภายนอกซึ่งมีทั้ง Sensible heat และ Latent heat ส่งผลให้ภาระความร้อนจากอากาศภายนอก สูงสุด ด้วยสัดส่วน 62% ในขณะที่ Heat load จากโครงสร้างภายในกลายเป็น 17% Cooling load จากโครงสร้างภายนอก 8 % ความร้อนจากคน 7% เหตุผลที่เลือกพัดลมขนาด 186 CFM นี้เนื่องจากเป็นพัดลมติดผนัง Wall type ที่มีราคาถูกและเป็นที่ยอมรับในท้องตลาด ซึ่งค่าอัตราการไหลของอากาศเริ่มต้นโดยทั่วไป อยู่ที่ 180-190 CFM ค่าอัตราการไหลนี้ถือว่าเป็นค่าที่มากเกินไป ความต้องการของการระบายอากาศในห้องปรับอากาศขนาดเล็ก ตามมาตรฐาน ASHRAE 62 [5, 6] จะเห็นได้ว่าการเลือกพัดลม โดยเน้นที่ราคา จะส่งผลให้เป็นภาระการทำงานของหนักมากของระบบปรับอากาศ ภาระงานโดยส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากอากาศภายนอกที่หมุนเวียนเข้ามา เครื่องปรับอากาศโดยปกติจะทำงานแบบ Compressor หยุดเป็นบางครั้ง เมื่อทำงานในสภาวะนี้ เครื่องปรับอากาศจะทำงานแบบ Compressor ไม่หยุดเลย ทำให้อายุการใช้งานก็จะสั้นลง และเกิดความเสียหายได้ง่าย



รูปที่ 14 การเปรียบเทียบภาระความร้อนโดยรวมจากห้องแบบต่าง ๆ

การวิเคราะห์ Cooling load ของห้องสำนักงานในแต่ละสภาวะ แบ่งได้เป็น 6 รูปแบบของห้องสำนักงาน ประกอบไปด้วย

1. ห้องมีระบบปรับอากาศ, ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ
2. ห้องมีระบบปรับอากาศ, ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ, มีคน 1 คน
3. ห้องมีระบบปรับอากาศ, ไม่มีระบบพัดลมระบายอากาศ, มีคน 4 คน
4. ห้องมีระบบปรับอากาศ, มีระบบพัดลมระบายอากาศ
5. ห้องมีระบบปรับอากาศ, มีระบบพัดลมระบายอากาศ, มีคน 1 คน
6. ห้องมีระบบปรับอากาศ, มีระบบพัดลมระบายอากาศ, มีคน 4 คน

แต่จากสภาพในการติดตั้งจริง และสภาพในการทำงานจริง ทำให้ Cooling capacity (ความสามารถในการทำความเย็น) ของระบบลดน้อยลงกว่าที่ระบุไว้ การตรวจสอบสามารถดำเนินการได้ด้วยการใช้การวัดพารามิเตอร์พื้นฐานของอากาศ เช่น อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ และนำมาวิเคราะห์ใน Psychrometric chart ก็จะสามารถประเมิน Cooling capacity (ความสามารถในการทำความเย็น) ของเครื่องได้ อีกทั้งองค์ความรู้ของ Sensible heat (ความร้อนสัมผัส) และ Latent heat (ความร้อนแฝง) ก็จะทำให้สามารถประเมินความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของเครื่องปรับอากาศแยกออกจากกันได้ [7-10]

การทำงานของเครื่องปรับอากาศ เป็นกระบวนการที่เรียกว่า Cooling and Dehumidification ซึ่งเป็นการทำความเย็นและลดความชื้นไปพร้อมกัน ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อการถ่ายเท Sensible heat (ความร้อนสัมผัส) และ Latent heat (ความร้อนแฝง) ในเวลาเดียวกัน การวิเคราะห์สามารถแยกวิเคราะห์ได้ดังนี้

$$Q_s = 1.1 \times \text{CFM} \times \text{TC} \quad (1)$$

$$Q_l = 0.68 \times \text{CFM} \times (W_2' - W_1') \quad (2)$$

เมื่อ

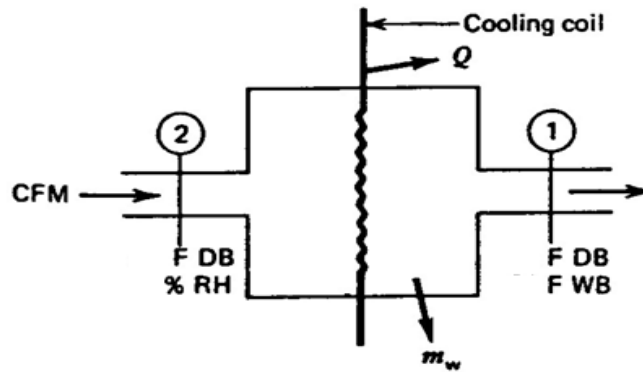
$Q_s$  = Sensible heat load หน่วยเป็น BTU/hr

$Q_l$  = Latent heat load หน่วยเป็น BTU/hr

CFM = อัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องปรับอากาศ หน่วยเป็น CFM

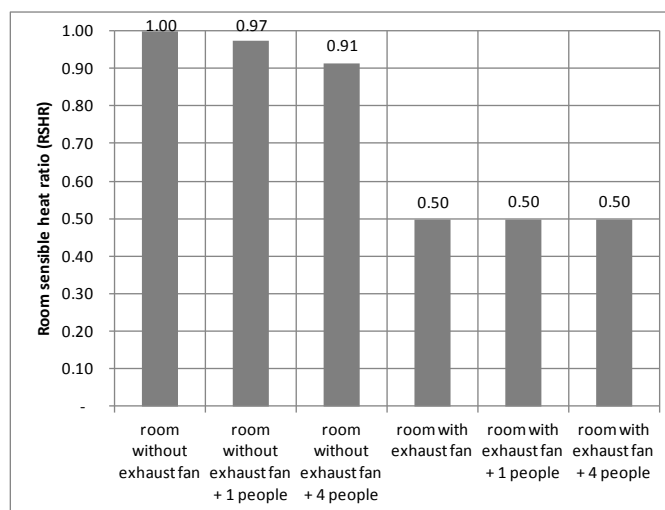
TC = ผลต่างของอุณหภูมิ ณ ด้านเข้าและด้านออกจากเครื่องปรับอากาศ หน่วยเป็น deg F

$W_2' - W_1'$  = ผลต่างของ Humidity ratio (ความชื้นสัมบูรณ์) ณ ด้านเข้าและด้านออกจากเครื่องปรับอากาศ หน่วยเป็น lb.w / lb.da (lb of water vapor / lb of dry air)



รูปที่ 15 กระบวนการ Cooling and Dehumidification ของระบบปรับอากาศ

เมื่อนำผลการวิเคราะห์ Cooling load โดยรวมในแต่ละกรณี พบว่า ในกรณีที่ห้องที่ไม่มีพัดลม Exhaust fan การเพิ่มจำนวนคนจาก 1 คน เป็น 4 คน ทำให้ Cooling load เพิ่มขึ้น 25% แต่เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับห้องที่มีพัดลม Exhaust fan การเพิ่มจำนวนคนจาก 1 คน เป็น 4 คน ทำให้ Cooling load เพิ่มขึ้น 8% เนื่องจากผล Cooling load จาก Exhaust fan ส่งผลต่อผลรวมของ Cooling load มากกว่า



รูปที่ 16 การเปรียบเทียบ RSHR จากห้องแบบต่างๆ

เมื่อนำผลการวิเคราะห์ Room sensible heat ratio (RSHR) ในแต่ละกรณี พบว่า ในกรณีที่ห้องที่ไม่มีพัดลม Exhaust fan ค่า RSHR มีค่าที่สูงมากกว่า 0.9 ทั้ง 3 กรณี ในขณะที่ห้องที่มีพัดลม Exhaust fan ค่า RSHR มีค่าอยู่ 0.5 ทั้ง 3 กรณี เนื่องจาก กรณีห้องที่ไม่มีพัดลม Exhaust fan จะไม่มี Latent heat load จากอากาศภายนอก ทำให้ Sensible heat load มีค่าใกล้เคียงกับ Total heat load ทำให้ค่าโดยรวมของ RSHR มากกว่า 0.90 กรณีห้องที่มีพัดลม มี Latent heat load จากอากาศภายนอก ทำให้ Sensible heat load มีค่าน้อยกว่า Total heat load ทำให้ค่าโดยรวมของ RSHR อยู่ที่ประมาณ 0.50

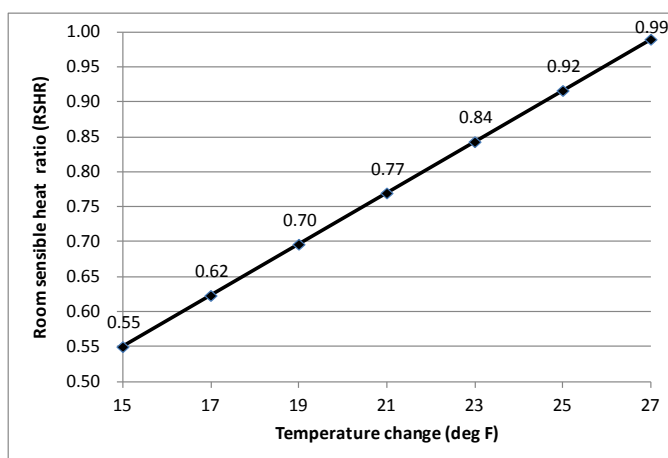
โดยทั่วไป เครื่องปรับอากาศแบบ Split type ที่มีอุณหภูมิแตกต่างระหว่าง Supply air และ Room air ที่ 20 deg F และเมื่อประเมินจาก 300 CFM ต่อ 1 ตันความเย็นจาก Specification ของเครื่องปรับอากาศรุ่นนี้ จากสมการ Room sensible heat ratio และสมการ Sensible heat

$$Q_{total} \times RSHR = Q_s \quad (3)$$

$$Q_s = 1.1 \times CFM \times TC \quad (4)$$

$Q_{total}$  หรือ Cooling capacity โดยรวมอยู่ที่ 9,000 BTU/hr at 300 CFM และจาก Temperature change (อุณหภูมิแตกต่างระหว่าง supply air และ room air) = 20 deg F, Return air temperature = 25 deg C = 77 deg F, Supply air temperature = 14 deg C = 57 deg F จะวิเคราะห์ได้ว่า RSHR = 0.73 n

เมื่อนำวิธีวิเคราะห์ดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับ Temperature change (อุณหภูมิแตกต่างระหว่าง supply air และ room air) ที่แตกต่างกัน ซึ่ง ASHRAE guideline ได้นำเสนอค่า Temperature change ไว้ที่ 15-30 deg F แต่จากการวิเคราะห์พบว่าสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบ Split type ที่ออกแบบ ณ สภาวะ 300 CFM และ 9,000 BTU/hr จะออกแบบได้อยู่ในช่วง 15-27 deg F เท่านั้น โดยพิจารณาจากค่า RSHR ที่เท่ากับ 0.99 หรือ ประมาณ 1.0 ที่ Temperature change ไม่เกิน 27 deg F



รูปที่ 17 ผลกระทบของ Temperature change (อุณหภูมิแตกต่างระหว่าง supply air และ room air) ต่อ Room sensible heat ratio (RSHR)

สำหรับเครื่องปรับอากาศ ในกรณีนี้ ทำงาน ณ สภาวะ 300 CFM และ 9,000 BTU/hr Temperature change (อุณหภูมิแตกต่างระหว่าง supply air และ room air) เท่ากับ 20 deg F จะมีค่า RSHR อยู่ที่ 0.73 ดังนั้นเมื่อนำมาใช้กับห้องที่มีการติดตั้งพัดลมระบายอากาศที่มีขนาดใหญ่มากเกินไป ส่งผลให้ค่า RSHR ต่ำหรือปริมาณความชื้นสูง เครื่องปรับอากาศก็จะไม่สามารถควบคุมความชื้นได้ตามต้องการ

#### 4. บทสรุป

การเปิดพัดลมระบายอากาศ ทำให้สภาวะการทำงานของห้อง เคลื่อนออกไปจากจุดเดิม ส่งผลให้ Dry bulb temperature และ Humidity ratio สูงขึ้น เนื่องมาจากระบบพัดลมดูดอากาศ ได้ทำให้เกิดการหมุนเวียนอากาศภายนอก (Ambient air) ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าและมีปริมาณไอน้ำสูงกว่า เข้ามาสู่ภายในห้อง ผ่านทางรอยต่อของประตู ทำให้เกิด Heat load เพิ่มขึ้นกับระบบปรับอากาศ



ส่งผลให้การความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ลดน้อยลงจากเดิม

การเพิ่มจำนวนคนส่งผลไปในทางเดียวกัน ทำให้ Dry bulb temperature และ Humidity ratio สูงขึ้น เนื่องจากคนเป็นแหล่งของความร้อนทั้ง sensible heat และ latent heat ส่งผลให้การความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ลดน้อยลงจากเดิม ในกรณีนี้ ผลกระทบของการเปิดพัดลมระบายอากาศส่งผลมากกว่าต่อการเพิ่มจำนวนคนในห้องสำนักงาน อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการเลือกใช้พัดลมระบายอากาศแบบติดผนังที่หาได้ง่ายตามท้องตลาด แต่มีขนาดใหญ่เกินความต้องการ ของการระบายอากาศ

ผลวิเคราะห์ของ Heating load สำหรับห้องสำนักงาน ที่มีการระบายอากาศ แสดงให้เห็นถึงภาระความร้อนจากพัดลมระบายอากาศ สูงที่สุด และรองลงมา คือภาระความร้อน จากโครงสร้างภายใน โครงสร้างภายนอก คน การแผ่รังสีของแสงแดดผ่านกระจก และ หลอดไฟ fluorescent ตามลำดับ

เครื่องปรับอากาศมีข้อจำกัดทางด้าน การควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จาก หลักการถ่ายเทความร้อนของ Sensible heat และ Latent heat ซึ่งจะเห็นได้จากผลต่างของอุณหภูมิ Supply air และ Room air ที่อยู่ระหว่าง 15-30 deg F ตามข้อแนะนำของ ASHRAE จะพบว่า เครื่องปรับอากาศมีความสามารถในการควบคุม Sensible heat ratio ที่แตกต่างกัน ในช่วง 0.55 - 1.00 ในกรณีนี้ เครื่องปรับอากาศมี ขนาด 9,000 BTU มีอัตราการไหลของอากาศ 300 CFM ผลต่างของอุณหภูมิ Supply air และ Room air เท่ากับ 20 deg F จะมีความสามารถในการควบคุม RSHR อยู่ที่ 0.73 เมื่อใช้เครื่องปรับอากาศพร้อมกับการเปิดพัดลมระบายอากาศทำให้ RSHR ไปอยู่ที่ 0.50 นั่นคือระบบปรับอากาศจะไม่สามารถควบคุมความชื้นได้ตามที่ต้องการ ดังนั้นการออกแบบระบบปรับอากาศ จะต้องคำนึงถึงระบบระบายอากาศที่เหมาะสม มีการหมุนเวียนอากาศที่เพียงพอ แต่จะต้องไปมากเกินจำเป็น และต้องนำค่าการหมุนเวียนอากาศมาวิเคราะห์ร่วมกับระบบปรับอากาศทุกครั้ง เพื่อทำให้เกิดความมั่นใจว่าระบบปรับอากาศสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นไปพร้อมกันได้

### เอกสารอ้างอิง

- [1] John C. Fischer and Charlene W. Bayer, Humidity Control in School Facilities, ASHRAE Journal, 2002
- [2] John Murphy, Temperature & Humidity Control In Surgery Rooms, ASHRAE Journal, June 2006
- [3] Mark Hydeman and David E. Swenson, Humidity Controls For Data Centers, ASHRAE Journal, March 2010
- [4] ASHRAE Standard 62.1-2013, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality
- [5] ASHRAE Standard 62.2-2013, Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings
- [6] ASHRAE Standard 55-2013, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy
- [7] Taeyeon Kim, , Shinsuke Kato, Shuzo Murakami, Indoor cooling/heating load analysis based on coupled simulation of convection, radiation and HVAC control, Building and Environment, Volume 36, Issue 7, August 2001, Pages 901-908
- [8] Xiaohua Liu, , Zhen Li, Yi Jiang, Borong Lin, Annual performance of liquid desiccant based independent humidity control HVAC system, Applied Thermal Engineering, Volume 26, Issues 11-12, August 2006, Pages 1198-1207
- [9] Kang Zhao, Xiao-Hua Liu, , Tao Zhang, Yi Jiang, Performance of temperature and humidity independent control air-conditioning system in an office building, Energy and Buildings, Volume 43, Issue 8, August 2011, Pages 1895-1903
- [10] Tarun Kumar Das and Yudhajit Das, Design of A Room Temperature And Humidity Controller Using Fuzzy Logic, American Journal of Engineering Research (AJER), e-ISSN : 2320-0847 p-ISSN : 2320-0936, Volume-02, Issue-11, pp-86-97, 2013