สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

# สภาวะความสบายจากการใช้พัดลมโคจร กระจายความเย็นเพื่อลดภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศ กรณีศึกษา อาคารเรียนรวม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สจล.

โดย

รองศาสตราจารย์ กฤษฎา อินทรสถิตย์

RCH
TH
7687
ก374ร

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....70734
วัน,เดือน,ปี.....20 ส.ค. 2550

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2547

ISBN 974-9700-53-8

b.....
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| หัวข้อโครงการวิจัย | สภาวะความสบายจากการใช้พัดลมโคจร กระจายความเย็นเพื่อลดภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศ กรณีศึกษาอาคารเรียนรวม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สจล. |
| ผู้วิจัย | รองศาสตรจารย์ กฤษฎา อินทรสถิตย์ |
| ปีที่ทำวิจัย | ตุลาคม. 2545 – เมษายน 2547 |

## บทคัดย่อ

การเปิดพัดลมช่วยในการทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของอากาศ โดยที่เป็นอากาศเย็นจากการที่เปิดเครื่องปรับอากาศจะทำให้สภาวะความรู้สึกของผู้ใช้รู้สึกว่าอากาศเย็นสบายพอเหมาะโดยที่ไม่จำเป็นต้องให้เครื่องปรับ อากาศทำความเย็นลงมาที่อุณหภูมิประมาณ 25 องศาหรือต่ำกว่า ผลที่ได้คือคอมเพรสเซอร์ก็จะทำงานน้อยลง ทำให้เพิ่มอายุการใช้งานและเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้า

การวิจัยนี้เป็นการหาระดับความเย็นและความเร็วลมที่เหมาะสมที่สร้างความรู้สึกสภาวะความสบายเชิงความร้อน (Thermal Comfort) ต่อกิจกรรมการนั่งเรียนหรือฟังบรรยาย และเปรียบเทียบหาอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างการที่เปิดเครื่องปรับอากาศเพียงอย่างเดียวกับการเปิดเครื่องปรับอากาศร่วมกับพัดลม

จากการวิจัยพบว่าการตั้งระดับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศที่ 27 – 28 องศาเซลเซียส และเปิดพัดลมโคจรติดฝ้าเพดาน ระดับความเร็วลมเฉลี่ยระหว่าง 0.44 - 0.62 เมตรต่อวินาที หรือระดับความเร็วลมเฉลี่ยของพัดลมโคจรติดเพดานทั้ง 3 ระดับ ให้เกิดกระแสลมพัดผ่านผิวกาย ก็จะทำให้เกิดความรู้สึกเย็นสบายขึ้น ทำให้ไม่ต้องปรับตั้งระดับอุณหภูมิที่ต่ำกว่า เป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าการเปิดเพียงเครื่องปรับอากาศแต่เพียงอย่างเดียวที่ตั้งระดับอุณหภูมิต่ำๆ

ซึ่งเมื่อนำหลักการดังกล่าวมาใช้กับห้องเรียนหรือห้องบรรยาย สำหรับห้องเรียนที่ติดเครื่องปรับอากาศ ก็จะทำให้สามารถประหยัดการใช้พลังงานลงได้ คือที่ระดับอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส จะประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง 12.88 เปอร์เซ็นต์ และที่ระดับอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ก็จะประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง 18.84 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title A Study of thermal comfort from combination of fan and air-condition unit to reduce energy, Case study : Multipurpose Building, Faculty of Architecture, KMITL

Name Associate Professor. Krisda Indrasthitya

## ABSTRACT

In order to reduce air conditioner energy consumption, the combined system between an electric fan and an air conditioner could be apply to lower the cooling load of the air conditioner. The additional air movement from electric fans also affects human thermal comfort especially when the air is cooled; consequently, there is no need to set the air conditioner to cool the environment at typical level--like 25 Celsius.

The aims of this research are 1) to examine the optimization of the electric fan's air speed and the air conditioner's cooling level--in term of degree Celsius--to provide thermal comfort in classroom condition 2) to compare the energy consumption between conventional air conditioner system and the electric-fan-and-air-conditioner-combined system.

The research found that if the ceiling circulated electric fan provided the air speed at 0.44-0.62 m/s, the cooling level of the air conditioner in the combined system could be set to 27-28 Celsius to gain thermal comfort. Consequently, when compare to cooling level of conventional air conditioner system, the electric-fan-and-air-conditioner-combined system consumed less energy than did the conventional air conditioner system.

These results can apply to reduce energy consumption in air-conditioned classrooms. That is, if the air conditioner of the combined system is set to 27 Celsius, the energy will be saved to 12.88 percent. On the one hand, if it is set to 28 Celsius, the power energy will eventually be saved up to 18.84 percent.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้เกิดขึ้นได้ ด้วยการจัดสรรงบประมาณสนับสนุนการวิจัยจากคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ 2545 ในวงเงิน 30,000.- บาท

ผู้วิจัยขอขอบคุณนักศึกษาภาควิชาสถาปัตยกรรมภายใน ชั้นปีที่ 4 และปีที่ 5 ปีการศึกษา 2545 ที่ช่วยเป็นผู้รับการทดสอบ และขอขอบคุณภาควิชาสถาปัตยกรรมภายในที่ให้ บริการเครื่องมือใช้ในการทดลอง ตลอดจนอำนวยความสะดวกในการให้ใช้ห้องบรรยาย 409 และเครื่องปรับอากาศเป็นหน่วยทดลอง และเจ้าหน้าที่ภาควิชาฯ ที่ช่วยเปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศตามเวลาที่กำหนดในการทดลอง

ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ สุนทร บุญญาธิการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ติกะ บุนนาค มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต และ อาจารย์ นุภาพ แย้มไตรพัฒน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ที่กรุณาให้คำแนะนำและปรึกษาในบางเรื่องของการทำวิจัยนี้

รองศาสตราจารย์ กฤษฎา อินทรสถิตย์
แขนงวิชาวิจัยสภาพแวดล้อมภายใน
ภาควิชาสถาปัตยกรรมภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คำนำ

เอกสารวิจัยเรื่อง **สภาวะความสบายจากการใช้พัดลมโคจร กระจายความเย็นเพื่อลดภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศ กรณีศึกษา อาคารเรียนรวม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สจล.** เล่มนี้ ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ 2545 เป็นทุนวิจัยระยะเวลา 1 ปี

ความคิดในการวิจัยศึกษาเรื่องนี้เกิดจาก ทางภาควิชาได้เชิญ ศาสตราจารย์ สุนทร บุญญาธิการ จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มาบรรยายเรื่องการประหยัดพลังงานให้กับนักศึกษาระดับปริญญาโท แขนงวิชา วิจัยสภาพแวดล้อมภายใน และใช้ห้องบรรยายของภาควิชา ที่เดิมติดพัดลมเพดานและต่อมาติดเครื่องปรับอากาศเพิ่ม จึงทำให้มีทั้งสองระบบ และระหว่างบรรยายเครื่องปรับอากาศหยุดการทำงานโดยไม่ทราบสาเหตุ จึงเปิดพัดลมแทน ซึ่งในขณะนั้นอากาศในห้องยังคงเย็นอยู่ ศาสตราจารย์สุนทร ได้กล่าวกับผู้ทำวิจัยว่า ลมที่พัดผ่านผิวกายถ้าเป็นลมที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิโดยรอบ ก็จะทำให้รู้สึกเย็นลงไปอีก

จากการสนทนานั้นทำให้ผู้ทำวิจัยนำมาคิดต่อว่า ถ้าเรานำประโยชน์จากการทำงานทั้งของเครื่องปรับอากาศและพัดลมโคจรติดเพดานมาใช้ร่วมกัน ก็ย่อมที่จะทำให้ไม่ต้องเปิดเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิต่ำๆ แต่จะตั้งระดับอุณหภูมิเท่าไร ความเร็วลมของพัดลมเท่าไรจึงจะสัมพันธ์กัน อีกทั้งจะทำให้ประหยัดพลังงานลงเท่าไร สิ่งเหล่านี้จึงทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะทำการศึกษา แต่ด้วยจากการที่ไม่มีห้องที่สร้างขึ้นมาสำหรับการวิจัยที่สามารถควบคุมเรื่องอุณหภูมิหรือสภาพแวดล้อมได้ จึงต้องอาศัยห้องบรรยายของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ เป็นสถานที่ทดลอง และต้องใช้พัดลมและเครื่องปรับอากาศที่มีประจำห้อง ซึ่งใช้งานมานานก่อนหน้าที่จะทำวิจัยครั้งนี้ สภาพของเครื่องปรับอากาศก็ต้องคอยปรับคอยซ่อมกันตลอดเพื่อให้ใช้งานและใช้ทำวิจัยได้ อีกทั้งต้องคอยสภาพอากาศตามฤดูกาลที่เหมาะสมกับการทดลองด้วย จึงทำให้การวิจัยนี้ใช้เวลาที่นานกว่าระยะเวลาที่กำหนด

รองศาสตรจารย์ กฤษฎา อินทรสถิตย์
แขนงวิชาวิจัยสภาพแวดล้อมภายใน
ภาควิชาสถาปัตยกรรมภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | II |
| กิตติกรรมประกาศ | III |
| คำนำ | IV |
| สารบัญ | V |
| สารบัญตาราง | VII |
| สารบัญภาพ | IX |
| บทที่ 1 บทนำ | |
| ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย | 1 |
| วัตถุประสงค์ของการทำงานวิจัย | 5 |
| ขอบเขตของการทำงานวิจัย | 5 |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย | 6 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | |
| 2.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาวะความสบายเชิงความร้อน | 7 |
| 2.2 ความสมดุลทางความร้อนของร่างกายกับสภาพแวดล้อม | 8 |
| 2.3 การระบายอากาศเพื่อความสบาย | 12 |
| 2.4 การหาระดับสภาวะความสบาย | 15 |
| 2.5 อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า | 19 |
| บทที่ 3 วิธีการวิจัย | |
| 3.1 ขั้นตอนในการวิจัย | 20 |
| 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ | 20 |
| 3.3 การทดลอง | 30 |
| บทที่ 4 ผลการทดสอบ | |
| 4.1 อัตราความเร็วลมเฉลี่ยที่เกิดขึ้น | 36 |
| 4.2 ระดับความรู้สึกที่มีต่อความเร็วลม | 37 |
| 4.3 การหาระดับสภาวะความสบาย | 38 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การประเมินผลที่ได้จากความรู้สึกด้วยการทดสอบ 39
4.5 การใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศและพัดลมโคจร 42
บทที่ 5 สรุปผล และเสนอแนะ
5.1 สรุปผล 46
5.2 เสนอแนะ 47
บรรณานุกรม 48
ภาคผนวก 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


| | | หน้า |
|---|---|---|
| ตารางที่ 1 | แสดงค่า Metabolic rate of different activities | 10 |
| ตารางที่ 2 | แสดงค่า ค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า (clo) | 11 |
| ตารางที่ 3 | แสดงค่า ค่าสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนของร่างกาย | 11 |
| ตารางที่ 4 | ช่วงอัตราเร็วของอากาศภายในกับผลกระทบต่อมนุษย์ | 13 |
| ตารางที่ 5 | ความเร็วลมภายในอาคารกับสภาวะความน่าสบาย | 14 |
| ตารางที่ 6 | ระดับคะแนนความรู้สึกให้ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ | 16 |
| ตารางที่ 7 | เปรียบเทียบระดับคะแนนความรู้สึกให้ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ | 16 |
| ตารางที่ 8 | เปรียบเทียบความสัมพันธ์ ระหว่าง PMV และ PPD | 18 |
| ตารางที่ 9 | แบบสอบถามความรู้สึกที่มีต่อสภาพอากาศ | 29 |
| ตารางที่ 10 | แสดงความเร็วลมเฉลี่ยของแต่ละระดับความเร็วของพัดลมโคจร | 37 |
| ตารางที่ 11 | แสดงระดับความรู้สึกเย็นลงเมื่อมีกระแสลมพัดผ่าน | 37 |
| ตารางที่ 12 | แสดงผลการวิเคราะห์ค่า PMV จากโปรแกรม Human heat balance | 38 |
| ตารางที่ 13 | ระดับคะแนนความรู้สึกให้ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ | 40 |
| ตารางที่ 14 | แสดงระดับคะแนนความรู้สึกที่ระดับอุณหภูมิ 24°C กับความเร็วลม 3 ระดับ | 40 |
| ตารางที่ 15 | แสดงระดับคะแนนความรู้สึกที่ระดับอุณหภูมิ 25°C กับความเร็วลม 3 ระดับ | 41 |
| ตารางที่ 16 | แสดงระดับคะแนนความรู้สึกที่ระดับอุณหภูมิ 26°C กับความเร็วลม 3 ระดับ | 41 |
| ตารางที่ 17 | แสดงระดับคะแนนความรู้สึกที่ระดับอุณหภูมิ 27°C กับความเร็วลม 3 ระดับ | 41 |
| ตารางที่ 18 | แสดงระดับคะแนนความรู้สึกที่ระดับอุณหภูมิ 28°C กับความเร็วลม 3 ระดับ | 42 |
| ตารางที่ 19 | แสดงระดับคะแนนความรู้สึกที่ระดับอุณหภูมิ 29°C กับความเร็วลม 3 ระดับ | 42 |
| ตารางที่ 20 | แสดงระยะเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์และพัดลมระบายความร้อนในช่วงเวลา 1.5 ชั่วโมง | 44 |
| ตารางที่ 21 | แสดงจำนวนหน่วยการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลา 1.5 ชั่วโมง ของแต่ละระดับอุณหภูมิ | 44 |
| ตารางที่ 22 | แสดงจำนวนหน่วยการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศและพัดลมเพดาน จำนวน 6 ตัว ในช่วงระยะเวลา 1.5 ชั่วโมง ของแต่ละระดับอุณหภูมิ | 45 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 23 แสดงจำนวนหน่วยการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศและพัดลม เพดาน ในช่วงระยะเวลา 1.5 ชั่วโมง ของแต่ละระดับอุณหภูมิ 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ


หน้า

รูปที่ 1 ช่วงระดับความสบายเชิงความร้อน ที่กำหนดโดย ASHRAE 2

รูปที่ 2 แผนภูมิไซโครเมตริกชาร์ต ระดับอากาศของกรุงเทพฯ 3

รูปที่ 3 แผนภูมิ ไบโอไครเมตริกชาร์ต ระดับอากาศของกรุงเทพฯ 4

รูปที่ 4 ช่วงระดับความสบายเชิงความร้อนที่เหมาะสม กำหนดโดย ASHRAE 8

รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง PMV และ PPD 18

รูปที่ 6 ห้องบรรยาย 409 ใช้เป็นห้องทดลอง มองจากด้านหน้าห้อง 21

รูปที่ 7 ห้องบรรยาย 409 ใช้เป็นห้องทดลอง มองจากด้านหลังห้อง 22

รูปที่ 8 ผังห้องทดลอง ห้องบรรยาย 409 22

รูปที่ 9 เครื่องปรับอากาศขนาด 48,000 Btu./hr 4528 watt/hr 23

รูปที่ 10 ผังแสดงตำแหน่งเครื่องปรับอากาศ และพัดลมโคจร ห้องบรรยาย 409 23

รูปที่ 11 เครื่องวัดความเร็วลมชนิดหัวกระเปาะความร้อน Robust hot bulb Anemometer 24

รูปที่ 12 เครื่องบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และชนิดแสดงตัวเลขดิจิตอล 25

รูปที่ 13 โกลบ เทอร์โมมิเตอร์ (Globe Thermometer) พ่วงต่อเครื่องบันทึกข้อมูล HOBO 26

รูปที่ 14 ผังแสดงตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิภายใน และ อุณหภูมิเฉลี่ยการแผ่รังสี MRT 26

รูปที่ 15 เครื่องบันทึกการปิดเปิดของคอมเพรสเซอร์ Hobo state ต่อพ่วงกับ รีเลย์ 27

รูปที่ 16 โปรแกรมหาค่า Human Heat Balance โดย Dr Richard de Dear
แสดงช่องใส่ค่าตัวแปรเพื่อการคำนวณ 28

รูปที่ 17 ตัวอย่างผลจากการคำนวณและประเมินผลของโปรแกรม Human Heat Balance 29

รูปที่ 18 ผังแสดงตำแหน่งพัดลม และจุดวัดความเร็วลม 30

รูปที่ 19 ผังการตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิ, อุณหภูมิแผ่รังสีคว่ามร้อน และความชื้นสัมพัทธ์ 32

รูปที่ 20 การวางเครื่องบันทึกอุณหภูมิในหลายๆจุดที่ระดับความสูง 0.90 ม.แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย 32

รูปที่ 21 แสดงตำแหน่งติดตั้งเครื่องควบคุมอุณหภูมิห้อง (Room thermostat)
ของเครื่องปรับอากาศ 33

รูปที่ 22 ผังแสดงตำแหน่งพัดลม และจุดวัดความเร็วลม 36

รูปที่ 23 กราฟแสดงระดับอุณหภูมิภายนอกเพื่อหาช่วงเวลา และอุณหภูมิที่คงที่ 43


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

การเปลี่ยนแปลงหรือการพัฒนาในด้านการเรียนการสอนจากสมัยก่อน ที่มีแต่การใช้ชอลค์และกระดานดำมาเป็นมีอุปกรณ์ช่วยในการสอน เช่นเครื่องฉายสไลด์ เครื่องฉายภาพข้ามศีรษะ หรือแม้แต่เครื่องฉายภาพที่นำสัญญาณจากคอมพิวเตอร์ การใช้อุปกรณ์เหล่านั้นจะต้องใช้ในห้องที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะเรื่องแสงสว่าง ทั้งนี้เมื่อมีการควบคุมแสงสว่างก็ต้องมีการปิดประตูและหน้าต่างเพื่อควบคุมแสงให้อยู่ในปริมาณที่พอเหมาะ ซึ่งเป็นผลให้การระบายอากาศถูกปิดกั้น อีกทั้งสภาพอากาศตามธรรมชาติในปัจจุบันอุณหภูมิเฉลี่ยมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงขึ้น จึงทำให้ห้องเรียนที่ต้องใช้อุปกรณ์การสอนเหล่านั้นจำเป็นที่จะต้องติดตั้งเครื่องปรับอากาศเพื่อสร้างเย็นสบายให้กับผู้เรียนและผู้สอน สามารถใช้ทำการเรียนการสอนได้ การติดตั้งเครื่องปรับอากาศนั้นจึงกลายเป็นปัจจัยประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งของห้องเรียน ซึ่งปัจจัยนั้นก็คือความต้องการในด้านสภาวะความสบาย

ความต้องการในเรื่องความสบายในบริบทของความรู้สึกต่อสภาพความร้อน ก็คือไม่ต้องการอากาศที่ร้อนเกินไป หรือเย็นเกินไป ซึ่งองค์ประกอบที่ทำให้คนเรารู้สึกร้อน-เย็นมีหลายประการ แบ่งง่ายๆออกเป็นสองอย่างคือ ความร้อนจากภายในร่างกาย และความร้อนจากบรรยากาศหรือสภาพแวดล้อมโดยรอบ ซึ่งทั้งสองอย่างนั้นมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน และก่อให้เกิดความรู้สึกด้านความร้อน-เย็นกับร่างกายคนเรา

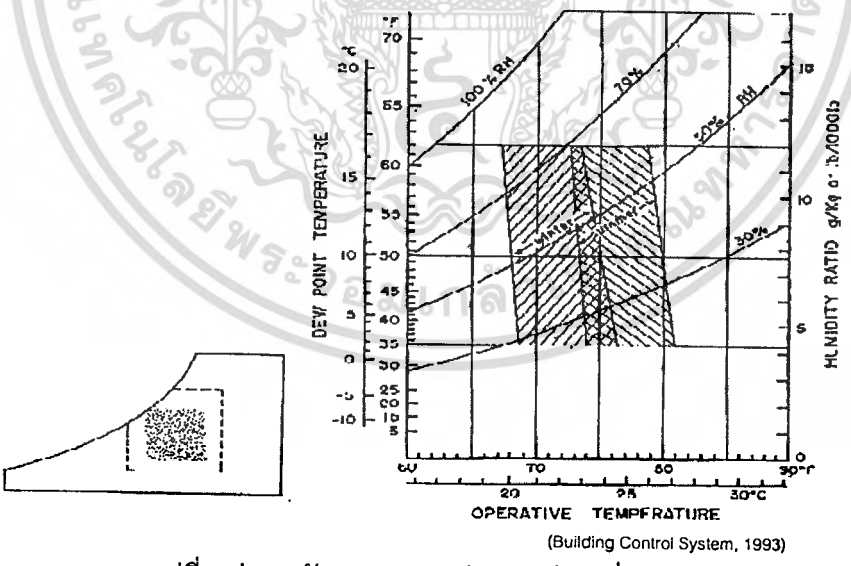
ปัจจัยที่ทำให้คนเรารู้สึกร้อน-เย็น หรือรู้สึกสบายเชิงความร้อนได้แก่ อุณหภูมิแวดล้อม, ความชื้นในอากาศ, ความเร็วลมที่พัดผ่านร่างกาย, การแผ่รังสีความร้อนของสิ่งที่อยู่รอบตัว, กิจกรรมที่บุคคลนั้นกำลังกระทำอยู่, ความเคยชินต่อสภาพอากาศ, ความหนาบางของเสื้อผ้าที่สวมใส่, เพศ, และ อายุของบุคคลนั้นๆ

กิจกรรมที่คนเรากระทำไม่ว่าจะเป็นกิจกรรมอะไรก็ตามย่อมก่อให้เกิดความร้อนขึ้นในร่างกาย และด้วยระบบอัตโนมัติของร่างกาย ร่างกายจะระบายความร้อนจากภายในออกมาเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับบรรยากาศหรือสิ่งแวดล้อมภายนอกเพื่อให้ร่างกายเย็นลง โดยเฉพาะถ้าอยู่ในบริเวณที่มีความร้อนสูง ร่างกายคนเราซึ่งปกติจะมีระดับความร้อนหรืออุณหภูมิภายในร่างกายที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศโดยรอบ จะพยายามปรับรักษาสมดุลความร้อนของร่างกายอยู่ตลอดเวลาด้วยกลไกทางธรรมชาติ โดยการระบายความร้อนออกมาในรูปของเหงื่อ เพื่อให้เกิดการนำพาและระเหยสู่บรรยากาศภายนอก แต่เมื่อระดับความร้อนที่เกิดขึ้นเกินกว่าระดับความรู้สึกที่สบาย คนเราก็จะหาวิธีการต่างๆมาใช้เพื่อช่วยในการลดความร้อนนั้นๆ โดยการควบคุมสภาวะอากาศในบริเวณนั้นให้อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสภาวะที่รู้สึกสบายที่สุดคือต้องการสภาพอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมที่อยู่ในสภาวะความสบาย (Comfort Zone) แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดต่างๆมากมาย เช่นสภาพทางกายภาพของที่ตั้งตลอดจนสภาพแวดล้อมของอาคารไม่เอื้ออำนวยต่อการใช้ระบบธรรมชาติ (Passive System) ได้อย่างเพียงพอ จึงได้มีการพิจารณาหาแนวทางแก้ไขโดยพึ่งพาเทคโนโลยีและระบบเครื่องกล (Active System) ที่เหมาะสมเพื่อปรับสภาวะแวดล้อมรอบตัวเราให้เป็นไปตามที่ร่างกายต้องการและง่ายต่อการควบคุมเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีที่สุด สิ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันซึ่งควบคุมได้ง่ายก็โดยการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ หรือนำเอาพัดลมมาทำให้เกิดกระแสลมพัดผ่านร่างกาย

ในหลายๆประเทศมีการวิจัยและทดลองหาสภาวะความสบายเชิงความร้อน(Thermal Comfort) ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับคนเรา พบว่าในแต่ละประเทศอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยที่คนรู้สึกสบายจะแตกต่างกับไป แต่กระนั้นก็ตาม สมาคมวิศวกรการปรับอากาศ การทำความเย็นและการทำความร้อนแห่งสหรัฐอเมริกา หรือ ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Condition Engineers) ได้ทำการทดสอบหาช่วงขอบเขตความสบายเชิงความร้อน พบว่าอุณหภูมิในช่วง 21.1 – 26.7 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณความชื้นสัมผัสในอากาศที่ระดับ 20-60% (ASHRAE, 1993) เป็นช่วงระดับความสบายเชิงความร้อนที่เหมาะสมที่สุดและได้กำหนดลงในแผนภูมิไซโครเมติกชาร์ต (Psychometric Chart) (รูปที่1) จากช่วงกำหนดอุณหภูมิดังกล่าวได้มีการนำไปใช้เป็นมาตรฐานและอ้างถึงในการกำหนดสภาวะอุณหภูมิขอบเขตความสบายต่างๆ

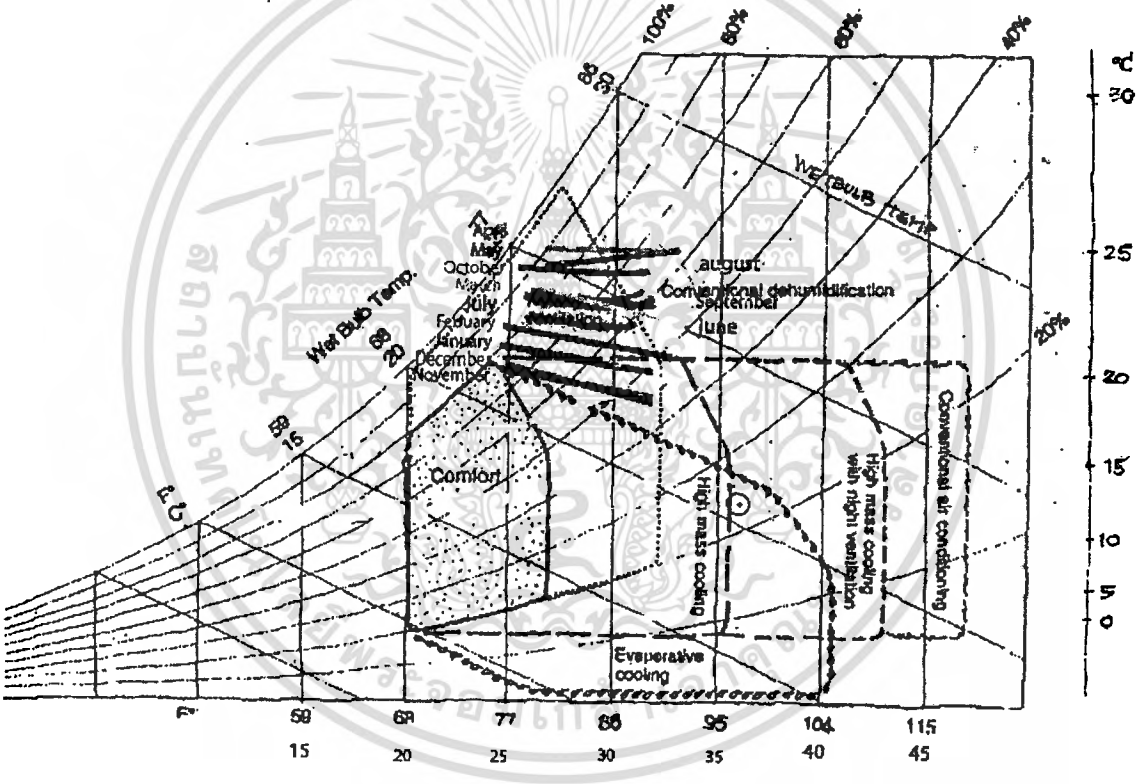



รูปที่ 1 ช่วงระดับความสบายเชิงความร้อน ที่กำหนดโดย ASHRAE

แต่ด้วยตำแหน่งทางสภาพภูมิศาสตร์ที่แตกต่างกันไปของแต่ละประเทศ จึงทำให้ช่วงขอบเขตอุณหภูมิและความชื้นประจำถิ่นของแต่ละประเทศแตกต่างกันไป สำหรับประเทศไทยโดยเฉพาะในเขต

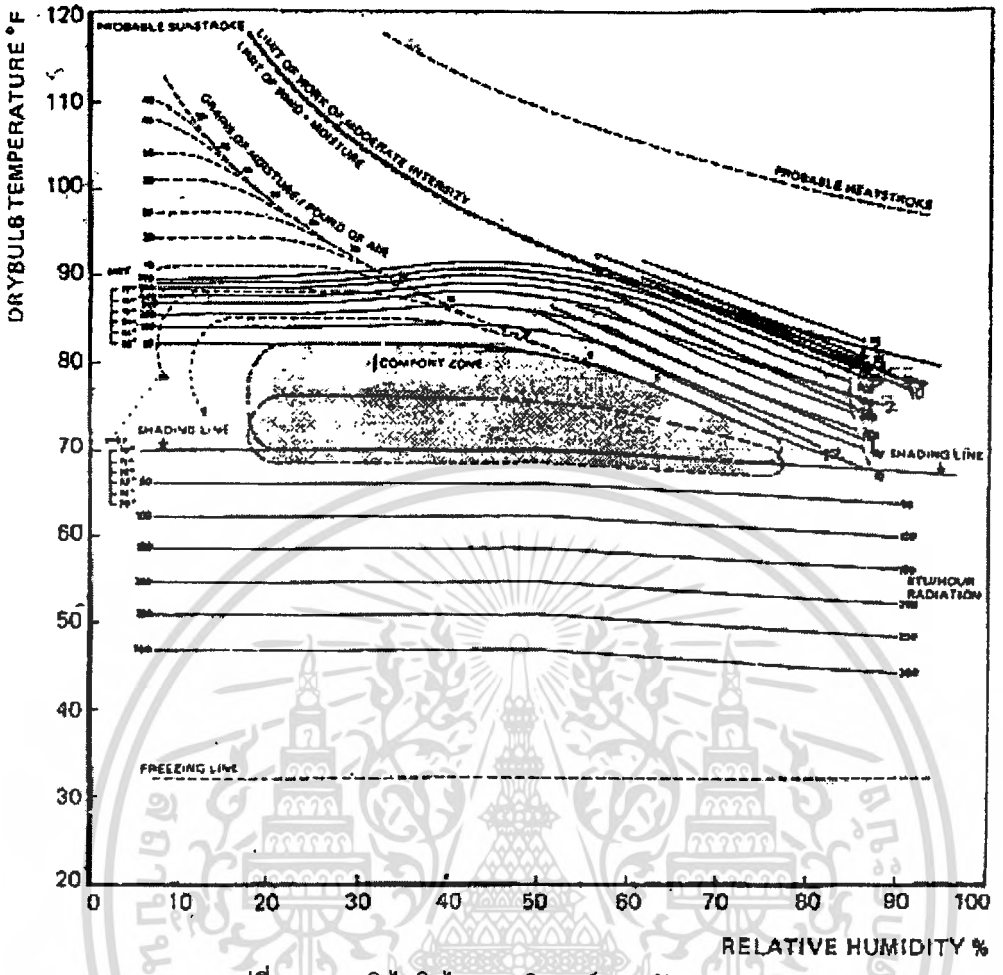
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรุงเทพมหานคร จากข้อมูลสะสมทางด้านอุณหภูมิและความชื้นของกองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา แสดงให้เห็นว่า ค่าเฉลี่ยระยะเวลา 30 ปีล่าสุดในช่วง จากปี พ.ศ.2514 – 2543 (ทำการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยทุกรอบ 15,30 ปี) ค่าอุณหภูมิแวดล้อม (อุณหภูมิกระเปาะแห้ง) และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของแต่ละเดือน ทั้ง 12 เดือนช่วงระยะเวลาตั้งแต่ 7.00 – 13.00 น. ค่าเฉลี่ยที่ได้เมื่อนำมาเขียนลงบนแผนภูมิไซโครเมตริกชาร์ต (Psychometric Chart) หรือบนแผนภูมิ ไบโอไครมตริกชาร์ต (Bioclimatic Chart)(Olgyay, 1973) แล้วเปรียบเทียบกับเขตความสบาย (Comfort Zone) ของ ASHRAE 55-92 (รูปที่ 2,3) จะเห็นได้ว่าสภาวะอากาศของกรุงเทพฯไม่ได้อยู่ในเขตความสบายของการปรับอากาศของ ASHRAE




รูปที่ 2 แผนภูมิไซโครเมตริกชาร์ต ระดับอากาศของกรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 3 แผนภูมิ ไบโอไครเมตริกชาร์ต ระดับอากาศของกรุงเทพฯ

หนึ่งในปัจจัยทางด้านความสบายเชิงความร้อนที่ทำให้รู้สึกเย็นสบายคือ การเคลื่อนที่ของอากาศหรือกระแสลม ซึ่งเมื่อลมพัดผ่านผิวกายก็จะทำให้เกิดความรู้สึกที่เย็นเป็นการช่วยลดอุณหภูมิของร่างกาย โดยอากาศที่พัดผ่านจะนำเอาความร้อนที่ออกมาจากร่างกาย ทั้งในรูปของการแผ่รังสีความร้อนและในรูปของเหงื่อออกไปทำให้คนเรารู้สึกเย็นสบาย แต่ถ้าเป็นอากาศเย็นความรู้สึกที่เย็นลงก็จะลดลงไปอีก

จากการที่ต้องพึ่งพาเทคโนโลยีและระบบเครื่องกล (Active System) ที่เหมาะสมเพื่อปรับสภาวะแวดล้อมรอบตัวเราให้เป็นไปตามที่ร่างกายต้องการ ตามที่กล่าวมาแล้ว สิ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายก็โดยการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ หรือนำเอาพัดลมมาทำให้เกิดกระแสลมพัดผ่านร่างกาย ทั้งสองอย่างล้วนใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งการใช้พลังงานดังกล่าวนั้นในปัจจุบันกำลังเป็นปัญหาสำคัญของประเทศชาติ เพราะในการที่จะผลิตไฟฟ้าขึ้นมาได้จะต้องสูญเสียทั้งงบประมาณ และทรัพยากรจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่กล่าวมาแล้วว่าระดับอุณหภูมิของกรุงเทพฯมีระดับเฉลี่ยที่ไม่ได้อยู่ในช่วงเขตความสบายตามที่กล่าวมาแล้วและแสดงในแผนภูมิไซโครเมตริกชาร์ต (Psychometric Chart) หรือบนแผนภูมิ ไบโอไครเมตริกชาร์ต (Bioclimatic Chart) และเมื่อนำเอาหลักการใช้การเคลื่อนที่ของอากาศที่สร้างความรู้สึกเย็นลงนั้น จะต้องใช้การเคลื่อนที่ของอากาศหรือกระแสลมที่ช่วงความเร็วระหว่าง 0.2 –3.0 เมตร/วินาที จึงจะสร้างความรู้สึกสบายสำหรับเขตกรุงเทพฯ (Khedari, 2000) ซึ่งถ้าสภาวะความชื้นในอากาศต่ำ ก็ใช้ความเร็วลมต่ำ แต่ถ้าความชื้นในอากาศสูงก็จะต้องใช้ความเร็วลมสูง ซึ่งก็แปรผันไปตามระดับอุณหภูมิอากาศด้วย ดังนั้นหลักการดังกล่าวถ้านำมาใช้ภายในห้องเรียน ความเร็วลมที่มากก็จะไม่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานของห้องเรียนขึ้นได้ เช่นกระดาษหรือสมุดปลิวได้ อีกทั้งเสียงรบกวนของพัดลมที่นำมาสร้างการเคลื่อนที่ของอากาศก็จะรบกวนสมาธิในการเรียน ดังนั้นก็ไม่สามารถหลีกหนีการใช้เครื่องปรับอากาศไปได้ ซึ่งให้ความเย็นที่ดีกว่า เงียบกว่า อีกทั้งควบคุมอุณหภูมิก็ง่าย ผลกระทบต่อการเรียนการสอนน้อย แต่ก็เป็นการใช้พลังงานที่สิ้นเปลืองมาก โดยเฉพาะเมื่อต้องตั้งระดับอุณหภูมิต่ำๆเพื่อความสบาย ก็ยิ่งใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมาก

ดังนั้นถ้านำพัดลมมาช่วยในการทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของอากาศในความเร็วระดับหนึ่งภายในห้องโดยที่เป็นอากาศเย็นจากเครื่องปรับอากาศ จะทำให้สภาวะความรู้สึกของผู้ใช้รู้สึกว่าอากาศเย็นสบายพอเหมาะ โดยอาศัยเรื่องความรู้สึกว่าเย็นลง ไม่จำเป็นต้องให้เครื่องปรับอากาศทำความเย็นลงมาที่อุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส ก็จะสามารถที่จะกำหนดให้เครื่องปรับอากาศทำความเย็น ณ.อุณหภูมิที่สูงกว่า 27 องศาเซลเซียสได้ ผลที่ได้คือคอมเพรสเซอร์ก็จะทำงานน้อยลง ทำให้เพิ่มอายุการใช้งานและเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้า ทั้งนี้เพราะว่าอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศกับพัดลมไฟฟ้ามีความต่างกันมาก ช่วงที่คอมเพรสเซอร์หยุดทำงาน และพัดลมไฟฟ้าทำงานนั้น การใช้พลังงานไฟฟ้าก็ไม่เท่ากับคอมเพรสเซอร์ทำงาน จึงใช้พลังงานที่ต่ำกว่า

วัตถุประสงค์ของการทำงานวิจัย

เพื่อหาอัตราทำความเย็นที่พอเหมาะของเครื่องปรับอากาศเมื่อใช้ร่วมกับพัดลมโคจรและอัตราความเร็วลมที่พอเหมาะของพัดลมโคจรติดฝ้าเพดาน เพื่อการกระจายความเย็นต่อพื้นที่ และเปรียบเทียบหาอัตราการการทำงานและใช้พลังงานของคอมเพรสเซอร์เครื่องปรับอากาศในความเย็นที่พอเหมาะกับระดับความเย็นต่างๆ

ขอบเขตการทำงานวิจัย

ทำการทดสอบหาภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศในช่วงระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมที่อยู่ในระดับช่วงภาวะความสบาย ภายใต้อุณหภูมิที่ควบคุมโดยเครื่องปรับอากาศ และความเร็วลมจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัดลมในระดับต่างๆ การทดลองจะกระทำในห้องเรียนของอาคารเรียนรวมของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง โดยมีขอบเขตการวิจัยคือ

1. ทำการศึกษาถึงอุณหภูมิความเย็นที่พอเหมาะจากการทำงานของเครื่องปรับอากาศ
2. เมื่อนำพัดลมโคจรมาช่วยกระจายความเย็นจะใช้อัตราความเร็วลมเท่าใดจึงจะพอเหมาะต่อความรู้สึกสบายและพอเหมาะกับห้องเรียน
3. หาอัตราการใช้พลังงานของคอมเพรสเซอร์เครื่องปรับอากาศ และพัดลมที่ใช้ร่วมกัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

สามารถกำหนดอัตราการตั้งระดับความเย็นและความเร็วของพัดลมที่สัมพันธ์กัน และนำผลที่ได้จากการวิจัยมาเป็นต้นแบบปรับใช้กับอาคารเรียนรวมของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ เพื่อลดภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศเพื่อยืดอายุการใช้งานและพลังงานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาวะความสบายเชิงความร้อน

ในสภาวะความสบายเชิงความร้อน มีปัจจัยที่ทำให้มนุษย์รู้สึกสบายอยู่ 7-องค์ประกอบด้วยกันซึ่งแต่ละองค์ประกอบก็มีความสัมพันธ์กันที่จะทำให้รู้สึกสบาย-จะมีเพียงอย่างเดียวหรือบางอย่างไม่ได้-ปัจจัยเหล่านี้แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

2.1.1 ปัจจัยทางฟิสิกส์ ได้แก่ระดับอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม ซึ่งจะอิงได้จากอุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิของการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ความเร็วลมหรือการเคลื่อนไหวของอากาศ และระดับความกดหรือความดันอากาศ

2.1.2 ปัจจัยทางธรรมชาติของร่างกาย ได้แก่ อายุ เพศ เชื้อชาติ และความเคยชินต่อสภาพอากาศและภูมิประเทศ

2.1.3 ปัจจัยที่อยู่ภายนอก ได้แก่ลักษณะและระดับของกิจกรรมที่กระทำ ระดับการทำงาน ลักษณะของเสื้อผ้าที่สวมใส่

ซึ่งปัจจัยทั้ง 3 กลุ่มนี้ ถ้าจำแนกออกมาสามากำหนดตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสภาวะความสบายเชิงความร้อนได้ดังนี้

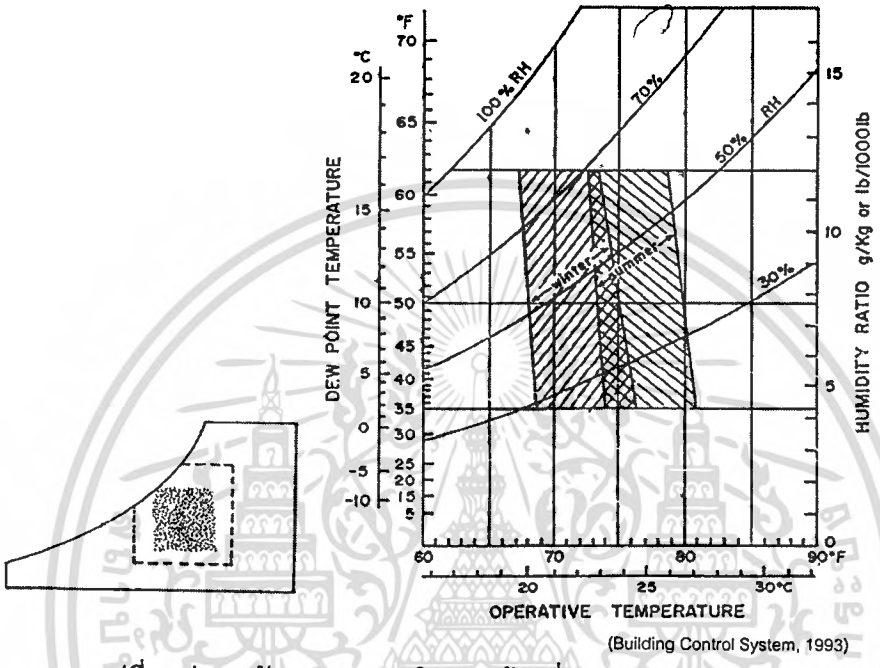
- อุณหภูมิกระเปาะแห้ง
- ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ
- ความเร็วลมหรือความเร็วของอากาศที่พัดผ่าน
- อุณหภูมิของการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย
- ความกดหรือความดันอากาศ
- ลักษณะของเสื้อผ้าที่สวมใส่
- ลักษณะและระดับของกิจกรรมที่กระทำ

ตัวแปรทั้งหมดนี้ ถ้าสามารถควบคุมให้เหมาะสมได้ ก็จะทำให้เกิดความสบายเชิงความร้อน ค่าหรือระดับต่างๆของตัวแปรแต่ละตัวจะมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ถ้าตัวใดเพิ่มตังอื่นๆก็อาจจะลดหรือเพิ่มตามความสัมพันธ์ร่วมกัน

ASHRAE ได้ทำการทดสอบและสร้างแผนภูมิความสบายขึ้นบนไซโครเมติกชาร์ต ซึ่งผลการทดลองหาสภาวะความสบายของ ASHRAE นั้น กำหนดเงื่อนไขไว้ในการทดลองคือ กลุ่มคนที่ทดสอบอยู่ในท่านั่ง สวมใส่เสื้อผ้าปกติ (ค่าความต้านทานเสื้อผ้า เท่ากับ 0.06 clo) ความเร็วลมทดสอบไม่เกิน 0.15 ms สภาพห้องมีการปรับอากาศ นำผลที่ได้จากการทดลองมาบันทึกลงบนกราฟ ได้ค่าระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสบายจะอยู่ในช่วง 21.1 ถึง 26.7 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่ระดับ 20 – 60 % และนำผลที่ได้นี้มาลงบนแผนภูมิไซโครเมติก (รูปที่ 2.1) (ASHRAE,1993) และแผนภูมินี้มีการนำมาอ้างอิงสำหรับระดับสภาวะความสบายเชิงความร้อนและใช้ในกำหนดค่าสำหรับการปรับอากาศ และถือเป็นมาตรฐานที่ใช้กันทั่วโลก




รูปที่ 4 ช่วงระดับความสบายเชิงความร้อนที่เหมาะสม กำหนดโดย ASHRAE

2.2 ความสมดุลทางความร้อนของร่างกายกับสภาพแวดล้อม

ร่างกายมนุษย์จะพยายามรักษาสมดุลความร้อนของร่างกายกับสภาพแวดล้อมตลอดเวลา หากร่างกายไม่สามารถรักษาสมดุลทางความร้อนกับสิ่งแวดล้อมได้ ก็จะทำให้เกิดผลกระทบทั้งด้านร่างกายและจิตใจ โดยเฉพาะถ้าเป็นอากาศร้อนสภาพอุณหภูมิสูงและมีความชื้นสัมพัทธ์สูงด้วย ก็จะทำให้ระบบภายในร่างกายทำการขับเหงื่อออกมาเพื่อเป็นการระบายความร้อนจากภายในที่เกิดจากการเผาผลานพลังงาน เมื่อเหงื่อซึมออกมาที่ผิวหนังแล้วจะเกิดการระเหย เป็นการดึงความร้อนแฝงออกจากร่างกาย ซึ่งเป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างคนกับสภาพแวดล้อม สามารถเขียนในรูปของสมการสมดุลเชิงความร้อนของร่างกายที่ร่างกายผลิตออกมาจากการเผาผลานอาหาร กับการถ่ายเทความร้อนออกจากร่างกายโดยการ พาความร้อน การนำความร้อน การแผ่รังสีความร้อน และการระเหยของน้ำจากผิวหนังสู่สภาพแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่างกายจะอยู่ในลักษณะที่สมดุลทางความร้อนกับสภาพแวดล้อมโดยรอบ เมื่อมีการสูญเสียความร้อนก็จะมีอัตราการสะสมหรือการรับความร้อนในอัตราเดียวกัน ดังสมการการคำนวณด้านความร้อนที่ว่า

**ความร้อนที่เกิดขึ้น = ความร้อนที่สูญเสีย**

$$M = E \pm R \pm C \pm S \qquad [1]$$

เมื่อ M = อัตราการเผาผลานพลังงานในร่างกาย

E = อัตราการสูญเสียความร้อนโดยการระเหย และการหายใจเข้าออก

R = อัตราการแผ่รังสีความร้อน

C = อัตราการนำความร้อนและพาความร้อน

S = อัตราการสะสมความร้อนของร่างกาย

ร่างกายจะสร้างความร้อนอยู่ตลอดเวลา อย่างไรก็ตามอัตราการเผาผลานพลังงาน (M) จะแปรเปลี่ยนตามลักษณะระดับของกิจกรรม

ถ้าสถานะของสภาพแวดล้อมซึ่งได้แก่ผลรวมของการสูญเสียความร้อน จากการแผ่รังสีความร้อน การนำ การพา และการระเหยนั้นน้อยกว่าอัตราการเกิดความร้อนของร่างกาย ความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นจะสะสมในเนื้อเยื่อของร่างกายเป็นการสะสมความร้อน

แต่การสะสมความร้อนของร่างกาย (S) ย่อมน้อยกว่าเพราะว่าร่างกายมีขีดจำกัดในการสะสมความร้อน ดังนั้นก็จะกลายมาเป็นความอบอุ่นในร่างกาย แต่ถ้ามากเกินกว่าระดับที่ร่างกายจะรับได้ ร่างกายจะเกิดการต่อต้านโดยจะเพิ่มการสูบฉีดเลือดสู่ผิวหนัง เส้นเลือดและผิวหนังมีการขยายตัวและเพิ่มการขับเหงื่อ ผลลัพธ์ก็คือร่างกายจะระบายความร้อนเพิ่มขึ้นเพื่อคงความสมดุล และรักษาระดับอุณหภูมิร่างกาย ตามสมการ $M = E \pm R \pm C \pm S$

ในกรณีถ้าระดับอัตราเฉลี่ยการแผ่รังสีความร้อน (MRT) ต่ำกว่าอุณหภูมิร่างกาย ค่าตัวแปรในสมการจะเป็นบวก (+) และร่างกายจะสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีไปสู่บรรยากาศโดยรอบ และถ้าระดับอัตราเฉลี่ยการแผ่รังสีความร้อน (MRT) สูงกว่าอุณหภูมิร่างกาย ค่าตัวแปรแปรในสมการจะเป็นลบ (-) และร่างกายก็จะดูดซึมความร้อนจากการแผ่รังสีของบรรยากาศโดยรอบ

และถ้าอุณหภูมิโดยรอบต่ำกว่าระดับอุณหภูมิผิวหนัง (และเสื้อผ้า) ค่าตัวแปรของการนำการพาจะเป็นบวก (+) และร่างกายจะสูญเสียความร้อน แต่ถ้าอุณหภูมิโดยรอบสูงกว่าระดับอุณหภูมิผิวหนัง ค่าตัวแปรจะเป็นลบ (-) ร่างกายจะดูดซับความร้อนจากอุณหภูมิโดยรอบ

นอกจากนี้ยังมีสมการสมดุลความร้อนของร่างกายมนุษย์ พัฒนาโดย Fanger P.O. (Fanger P.O.,1970) เป็นสมการที่แสดงให้เห็นถึงตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่างกายกับสภาพแวดล้อม เช่น เสื้อผ้า ระดับการทำงาน และตัวแปรของสภาพอากาศ สามารถนำไปใช้ในทางปฏิบัติได้ ดังสมการ

$$M/A_{du}(1-\eta)-2.6*10^{-3}(256t_{sk}-3370-P_v)-E_{rsw}/A_{du}-1.72*10^{-5}[M/A_{du}](5800-P_v)-0.0014[M/A_{du}](34-t_a)$$
$$= (t_{sk}-t_{cl}) / 0.155\, I_{cl}$$
$$= 3.96*10^{-8} f_{cl} [(t_{cl}+273)^4 - (t_{mrt}+273)^4] + f_{cl}\, h_c\, (t_{cl} - t_a) \qquad [2]$$

โดย $M$ = พลังงานความร้อนที่ร่างกายปล่อยออกมาโดนกระบวนการ Metbolism ($kcal.h^{-1}$)

$A_{du}$ = พื้นที่ผิวร่างกายคนเฉลี่ยระหว่าง 1.65 ถึง 2.0 $m^2$

$M/A_{du}$ = Metabolic rate ($kcal.h^{-1}.m^2$) (หาค่าได้จากตาราง )

$\eta$ = สัมประสิทธิ์ภาพเชิงกล (หาค่าได้จากตาราง )

$t_{sk}$ = อุณหภูมิผิวหนัง ($^oC$)

$P_v$ = ความดันไอน้ำในบรรยากาศ (mmHg)

$E_{rsw}$ = ความร้อนที่สูญเสียโดยการระเหยของเหงื่อจากผิวหนัง ($kcal.h^{-1}$)

$t_a$ = อุณหภูมิแวดล้อม ($^oC$)

$t_{cl}$ = อุณหภูมิผิวเสื้อผ้า ($^oC$)

$I_{cl}$ = ค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า (clo) (หาค่าได้จากตาราง )

$f_{cl}$ = Clothing factor คือค่าอัตราส่วนของพื้นผิวรูปร่างเสื้อผ้ากับพื้นผิวคน(เปลือย) (หาค่าได้จากตาราง )

$h_c$ = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W.m^2.^oC$) ขึ้นอยู่กับลักษณะกิจกรรมหรืองานที่ทำ (หาค่าได้จากตาราง )

$t_{mrt}$ = อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย ($^oC$)

**Metabolic Rates for Typical Tasks**

| Activity | Metabolic Rate met | units W/m2 | (BTU/h·ft2) |
|---|---|---|---|
| **Resting** | | | |
| Sleeping | 0.7 | 40 | (13) |
| Reclining | 0.8 | 45 | (15) |
| Seated, quiet | 1.0 | 60 | (18) |
| Standing, relaxed | 1.2 | 70 | (22) |
| **Office Activities** | | | |
| Seated, reading or writing | 1.0 | 60 | (18) |
| Typing | 1.1 | 65 | (20) |
| Filing, seated | 1.2 | 70 | (22) |
| Filing, standing | 1.4 | 80 | (26) |
| Walking about | 1.7 | 100 | (31) |
| Lifting/packing | 2.1 | 120 | (39) |

(ASHRAE Standard 55-1992)

ตารางที่ 1 แสดงค่า Metabolic rate of different activities

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*Data for Different Clothing Ensembles*

| Clothing Ensemble | $I_{cl}$ clo | $f_{cl}$ |
|---|---|---|
| Nude | 0 | 1.0 |
| Shorts | 0.1 | 1.0 |
| Typical Tropical Clothing Ensemble: Shorts, open-neck shirt with short sleeves, light socks and sandals | 0.3–0.4 | 1.05 |

(Fanger P.O.,1970)

ตารางที่ 2 แสดงค่า ค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า (clo)

**Equations for Convection Heat Transfer Coefficients**

| Equation | Limits | Condition | Remarks/Sources |
|---|---|---|---|
| $h_c = 8.3V^{0.6}$ | $0.2 < V < 4.0$ | Seated with moving air | Mitchell (1974) |
| $h_c = 3.1$ | $0 < V < 0.2$ | | |
| $h_c = 2.7 + 8.7V^{0.67}$ | $0.15 < V < 1.5$ | Reclining with moving air | Colin and Houdas (1967) |
| $h_c = 5.1$ | $0 < V < 0.15$ | | |
| $h_c = 8.6V^{0.53}$ | $0.5 < V < 2.0$ | Walking in still air | $V$ is walking speed (Nishi and Gagge 1970) |

*Note:* $h_c$ in W/(m$^2$· K), $V$ in m/s, and $M$ in mets, where 1 met = 58.1 W/m$^2$.

(ASHRAE Fundamentals Hanbook,2001)

$h_c$ = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพา (Btu / h. sq.ft $^{o}$F)

V = ค่าความเร็วลม (fpm)

M = MET unit ; 1MET = 18.43 Btu / h sq.ft

ตารางที่ 3 แสดงค่า ค่าสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนของร่างกาย

ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย (Mean radial temperature, MRT)หาได้จากการใช้โกลบเทอร์โมมิเตอร์ ซึ่งเป็นลูกทองแดงทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร และมีเทอร์โมมิเตอร์อยู่ภายใน การวัดจะวัดหลังจากเวลาผ่านไปประมาณ 15 – 20 นาที เพื่อให้การถ่ายเมความร้อนอยู่ในสภาวะสมดุล และจะวัดในระดับที่โกลบเทอร์โมมิเตอร์อยู่สูงจากพื้น 1.50 เมตร เมื่อได้ค่าอุณหภูมิแล้ว จะใช้สมการหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย โดยใช้สมการ

$$T_{mrt} = [t_g^{\ 4} + 0.213 * 10^9 (t_g - t_a) V^{0.5}]^{1/4} \qquad [3]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย $t_g$ = อุณหภูมิที่อ่านจากโกลบเทอร์โมมิเตอร์ (K)

$T_a$ = อุณหภูมิอากาศ (K)

V = ความเร็วลม (M/S)

พื้นที่เฉลี่ยผิวร่างกายคน คิดจากการวัดพื้นที่ผิวหนังทั้งหมดในลักษณะเปลือย DuBois ได้กำหนดสมการในการคิดพื้นที่ผิวหนังออกมา ได้แก่

$$AD = 0.202m^{0.425} l^{0.725} \quad \text{(ASHRAE 55-1992)} \quad [4]$$

โดย AD = พื้นที่ผิวหนัง หรือเรียกว่า DuBois surface area, ($m^2$)

m = มวล หรือน้ำหนัก (kg.)

l = ความสูง (m.)

2.3 การระบายอากาศเพื่อความสบาย

จากการเคลื่อนไหวของกระแสอากาศที่พัดผ่านร่างกาย แล้วรู้สึกเย็นสบายทั้งนี้เพราะเกิดการพาความร้อนออกจากร่างกาย เกิดการระเหยของเหงื่อทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสภาพแวดล้อม จึงเป็นการสร้างสภาวะน่าสบายด้านอุณหภูมิ คือใช้ความเร็วลมทำให้รู้สึกสบายและเย็นลงกว่าอุณหภูมิอากาศ โดยเฉพาะอุณหภูมิของอากาศที่ต่ำ ลมและอากาศที่เย็นจะช่วยในการพาความร้อนจากร่างกายดีขึ้นด้วย นอกจากนี้ผู้อยู่อาศัยก็จะรู้สึกเย็นได้อีก จากการแผ่รังสีความร้อนจากผิวร่างกายไปสู่สิ่งแวดล้อมโดยรอบที่เย็นกว่า ได้แก่ บริเวณพื้น ผนัง และเพดาน ที่อยู่รอบตัว แต่ทั้งนี้สำหรับในบางกิจกรรมที่กระทำในพื้นที่นั้นๆก็อาจมีข้อจำกัดของระดับความเร็วลมที่เกิดขึ้น ที่มีผลต่อระดับความรู้สึกและกิจกรรมที่กระทำ

จากการศึกษา (Olgyay, 1973) พบว่าเมื่อกระแสลมที่พัดผ่านมีความเร็วเพิ่มขึ้น มนุษย์เราจะมีความรู้สึกเย็นลงกว่าอุณหภูมิอากาศที่วัดได้จริง ซึ่งความรู้สึกเย็นลงกว่าอุณหภูมิอากาศนี้เป็นเพราะอัตราการระบายความร้อนออกจากผิวกายแปรผันตามความเร็วของกระแสลม กล่าวคือถ้ากระแสลมมีความเร็วสูงขึ้นร่างกายจะระบายความร้อนจากผิวกายได้เร็วขึ้น จึงทำให้มีความรู้สึกเย็นลงกว่าอุณหภูมิอากาศที่วัดได้จริง ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้จริงกับความรู้สึกเมื่อมีลมพัดผ่านผิวกายนี้ (ในที่นี้เรียกว่าความรู้สึกเย็นลง) เมื่อนำมาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์โดยใช้สมการถดถอย (Regression Analysis) พบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ความรู้สึกเย็นลง** ($^{o}$F) = 0.381V + 0.016 RH (Olgyay,1973) [5]

โดย V = ความเร็วลม (Km/h)

RH = ความชื้นสัมพัทธ์ (%)

จากวิเคราะห์สมการข้างต้น พบว่ามีระดับของความเชื่อถือได้ (R2) = 0.94 และค่าความผิดพลาดมาตรฐาน (Standard Error,SE) = 0.457 (สุนทร บุญญาธิการ,2542) โดยจากสมการอาจสรุปโดยเคร่าๆได้ว่า มนุษย์จะรู้สึกเย็นลงกว่าอุณหภูมิอากาศจริงประมาณ 0.4 องศาเซลเซียส เมื่อความ เร็วลมเพิ่มขึ้น 1 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (สุนทร บุญญาธิการ,2542)

ความเร็วลมในแต่ละระดับจะมีผลต่อความรู้สึกทั้งทางด้านจิตใจ และสภาวะร่างกายโดยแบ่งระดับออกตามความเร็วลม และสามารถเทียบเคียงกับลักษณะที่อ้างอิงได้ตามตาราง

**ช่วงอัตราเร็วของอากาศภายในกับผลกระทบต่อมนุษย์** (Evan M.., 1980)

| อัตราเร็ว (ม./วินาที) | ผลกระทบด้านกลไก | ผลกระทบต่อมนุษย์ |
|---|---|---|
| 0.10 | น้อยมาก สภาพเหมือนที่อยู่อาศัยทั่วไป | อาจรู้สึกอบอ้าว |
| 0.25 | สังเกตเห็นการเคลื่อนไหวของควันบุหรี่ได้ | คนจะไม่รู้สึกว่ามีอากาศเคลื่อนที่ยกเว้นอากาศนั้นเย็น |
| 0.50 | เปลว เทียนขยับ | รู้สึกสดชื่นถ้าอากาศนั้นไม่เย็นหรือร้อนไป แต่ถ้าอากาศเย็นจะรู้สึกหนาวสะท้าน |
| 1.00 | กระดาษอาจจะปลิว, มีอัตราเร็วของอากาศเท่ากับเวลาเราเดิน | ถ้าอุณหภูมิพอดีหรืออุ่นไปบ้างจะยังรู้สึกดี แต่คนจะรู้สึกว่ามีอากาศผ่านตลอดเวลา โดยไม่ควรมีอัตราเร็วมากกว่านี้(สำหรับการอยู่อาศัยภายในอาคาร) |
| 1.50 | แรงเกินไปกว่าจะทำงานบนโต๊ะได้ กระดาษจะปลิวไปทั่ว | จะรู้สึกหนาวสะท้านแม้อากาศจะมีอุณหภูมิที่สบาย ซึ่งไม่ควรมีอัตราเร็วมากกว่านี้ |
| 2.00 | อัตราเท่ากับเวลาเราเดินเร็วๆ | ใช้ได้เฉพาะพื้นที่ที่ร้อนและชื้นมากๆ โดยที่ไม่วิธีช่วยอื่นเลย |

(Evan M.., 1980)

**ตารางที่ 4 ช่วงอัตราเร็วของอากาศภายในกับผลกระทบต่อมนุษย์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ความเร็วลม | ความเป็นไปได้ของความรู้สึกอุณหภูมิลดลง (ระหว่าง 80-90 $^{o}$F) ตัวเลขที่มาก สนองกับบริเวณที่มีความชื้นสูงขึ้น | ผลที่เกิดขึ้น |
|---|---|---|
| 0-50 fpm. | ไม่มีความเปลี่ยนแปลงในความรู้สึกน่าสบาย | ไม่สามารถสังเกตได้ |
| 50-100 fpm. | ต่ำลง 2-3 $^{o}$F | สบาย |
| 100-200 fpm. | ต่ำลง 4-5 $^{o}$F | โดยทั่วไปรู้สึกสบายแต่รับรู้ว่ามีการเคลื่อนไหวของอากาศ |
| 200-300 fpm. | ต่ำลง 5-7 $^{o}$F | รู้สึกมีลมพัดเล็กน้อย จนรู้สึกถูกรบกวนได้ |
| สูงกว่า 300 fpm. | ต่ำลงมากกว่า 5-7 $^{o}$F | ต้องการแก้ไขที่ถูกต้อง ถ้าจะให้การทำงานมีประสิทธิภาพและถูกสุขลักษณะ |

(Stein, Reynold;1999)

**ตารางที่ 5 ความเร็วลมภายในอาคารกับสภาวะความน่าสบาย**

นอกจากนี้ยังมีผลการวิจัยของ Arens E. และคณะ (Arens E., 1998) ที่ได้ทำการทดลองกับนักศึกษาอเมริกัน เพื่อหาภาวะความสบายทางความร้อนจากการที่มีกระแสลมพัดผ่านร่างกาย โดยใช้พัดลมเพดาน โดยมรเงื่อนไขการทดลองคือผู้ทดสอบอยู่ในท่านั่ง มีค่ากิจกรรม 1.3 met ค่าความต้านทานทางความร้อนของเสื้อผ้า 0.4 clo โดยใช้ความเร็วลมทดสอบ 2 ระดับ คือ 1 เมตร/วินาที และ 2 เมตร/วินาที ผลจากการทดลองได้สร้างขอบเขตความสบายบนไซโครเมตริกชาร์ตจากการใช้พัดลมเพดาน และยังพบว่าความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดความสบายทางความร้อนมากขึ้นด้วย และยังมีการทดลองของ Rohles F.H. และคณะ (Rohles F.H.,1971) ซึ่งทำการทดลองในลักษณะเช่นเดียวกับการทดลองของ Arens E. และคณะ แต่มีเงื่อนไขในการทดลองคือ ผู้ทดสอบอยู่ในท่านั่ง มีค่ากิจกรรม 1.2 met ค่าความต้านทานทางความร้อนของเสื้อผ้า 0.5 clo ความเร็วลมทดสอบเฉลี่ย 1 เมตร/วินาที ได้ผลสรุปคือ ความเร็วลมนี้ทำให้รู้สึกสบายที่อุณหภูมิห้องประมาณ 29 $^{o}$C ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และระดับความเร็วลมสูงสุดที่ไม่ทำให้เกิดความรำคาญในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การหาระดับสภาวะความสบาย

**ในการที่จะหาความพึงพอใจต่อระดับอุณหภูมิของแต่ละที่นั้น จะใช้การสำรวจทดลอง และวัดระดับหาค่าเฉลี่ยของความพึงพอใจต่อระดับความ รู้สึก วิธีการนี้เรียกว่า การหาดัชนีทำนายมติเฉลี่ย (Predicted Mean Vote หรือ PMV) โดยดัชนีนี้จะเป็นค่าตัวเลขที่กำหนดขึ้นเพื่อบอกถึงระดับความรู้สึกที่มีต่อสภาวะอากาศในขณะนั้น เนื่องจากคนเรามีความรู้สึกที่แตกต่างกัน ระดับความพึงพอใจต่อสภาพแวดล้อมย่อมไม่เท่ากัน จึงต้องมีค่าดัชนีที่ใช้บอกระดับความรู้สึกของคนเราว่าเป็นอย่างไรกับสภาพแวดล้อมนั้น การวัดค่าความพึงพอใจ ในช่วงแรกมีการแบ่งระดับคะแนน ที่ใช้ในการถามถึงความพอใจออกเป็น 3 ระดับคือ 1.เย็นเกินไป, 2.กำลังสบาย, 3.อุ่นเกินไป**

ต่อมา พี โอ แฟรงเกอร์ (P.O. Fanger,1970) ได้กำหนดสมการสำหรับหาค่าทำนายมติเฉลี่ย (PMV) ซึ่งเป็นการนำค่าตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวกับองค์ประกอบทางสภาวะความสบาย ซึ่งได้แก่ MET, CLO, TEMP, RH, ประสิทธิภาพเชิงกล, ความดันไอน้ำในอากาศ, อุณหภูมิแวดล้อม, อุณหภูมิรังสีความร้อนเฉลี่ย เป็นต้น โดยมีรายละเอียดสมการดังนี้

$$PMV = [0.352\exp[-0.0429(M/A_{du})] + 0.032] \quad [6]$$
$$*[(M/A_{du})(1-\eta)-0.35[43-0.61(M/A_{du})(1-\eta) - P_v$$
$$-0.42[(M/A_{du})(1-\eta) - 50]$$
$$-0.0023(M/A_{du})(44 - P) - 0.0014(M/A_{du})(34 - t_a)$$
$$-3.4*10^{-8}f_{cl}[(t_{cl}+273)^4-(t_{mrt}+273)^4] - f_{cl}h_c(t_{cl} - t_a)]$$

เมื่อ $M/A_{du}$ = Metabolic rate, $kcal.h^{-1}.m^{-2}$

$\eta$ = ประสิทธิภาพเชิงกล

$P_v$ = ความดันไอน้ำในอากาศ, mmHg

$t_a$ = อุณหภูมิแวดล้อม, $^oC$

$f_{cl}$ = Clothing factor

$t_{cl}$ = อุณหภูมิผิวเสื้อผ้า, $^oC$

$t_{mrt}$ = อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย

hc = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, $W.m^{-2}.^oC$

นอกจากนี้ พี โอ แฟรงเกอร์ (P.O. Fanger,1970) ยังแบ่งช่วงระดับการวัดความรู้สึกให้ละเอียดขึ้น กำหนดระดับการวัดความรู้สึกออกเป็น 7 ระดับ และ ASHRAE ก็ได้ใช้ค่าระดับคะแนนนี้เป็นบรรทัดฐานด้วยเช่นกัน และในการหาค่าระดับเฉลี่ยสภาวะความสบายในหลายๆที่ก็มักจะอ้างถึงหนังสือเล่มนี้ ซึ่งระดับความรู้สึกดังกล่าวทั้ง 7 ก็คือ +3 = ร้อน, +2 = อุ่น, +1 = อุ่นเล็กน้อย, 0 = สบาย,ปกติ, -1 = เย็นเล็กน้อย, -2 = เย็น, -3 = หนาว

นอกจากนี้ยังมีการให้ความหมายของความรู้สึกที่รับรู้ได้ง่ายขึ้น แต่ก็ยังใช้ช่วงการวัดที่แบ่งออกเป็น 7 ระดับเช่นเดิม และเรียกว่ามาตราเบดฟอร์ด (Bed Ford Scale) ระดับความรู้สึกที่จัดใหม่ดังกล่าว คือ +3 = ร้อนเกินไป, +2 = อุ่นมาก, +1 = อุ่นอย่างสบายๆ, 0 = สบาย, ปกติ, -1 = เย็นอย่างสบายๆ, -2 = เย็นมาก, -3 =เย็นจัดหรือหนาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ระดับคะแนน | ASHRAE Scale | Bed Ford Scale |
|---|---|---|
| + 3 | ร้อน | ร้อนเกินไป |
| + 2 | อุ่น | อุ่นมาก |
| + 1 | อุ่นเล็กน้อย | อุ่นอย่างสบายๆ |
| 0 | สบาย,ปกติ | สบาย,ปกติ |
| - 1 | เย็นเล็กน้อย | เย็นอย่างสบายๆ |
| - 2 | เย็น | เย็นมาก |
| - 3 | หนาว | เย็นจัดหรือหนาว |

(Thermal Comfort : V.Szokolay, 1997)

**ตารางที่ 6 ระดับคะแนนความรู้สึกให้ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ**

จากดัชนีระดับคะแนนความรู้สึกที่กล่าวมา เมื่อนำมาใช้กับเขตภูมิอากาศเช่นประเทศไทย ซึ่งมีความแตกต่างในด้านอุณหภูมิกันในแถบยุโรปและอเมริกา คือมีช่วงความร้อนที่มากกว่า กลุ่มภูมิภาคแถบนั้น Rohles และ Nevens จึงได้กำหนดดัชนีระดับคะแนนความรู้สึกที่ระเอียดขึ้นเป็น 10 ระดับ (Markus and Morris, 1969) โดยแบ่งระดับคะแนนออกเป็น จาก 0 ถึง +5 และจาก 0 ถึง –4 ดังรายละเอียดเปรียบเทียบกับการแบ่งระดับของ ASHRAE ในตาราง

| ASHRAE, Bed Ford | | Rohles และ Nevens | |
|---|---|---|---|
| คะแนน | ความหมาย | คะแนน | ความหมาย |
| | | + 5 | ร้อนจัด |
| | | + 4 | ร้อนมาก |
| + 3 | ร้อน | + 3 | ร้อน |
| + 2 | อุ่น | + 2 | อุ่น |
| + 1 | อุ่นเล็กน้อย | + 1 | อุ่นเล็กน้อย |
| 0 | สบาย,ปกติ | 0 | สบาย,ปกติ |
| - 1 | เย็นเล็กน้อย | - 1 | เย็นเล็กน้อย |
| - 2 | เย็น | - 2 | เย็นมาก |
| - 3 | หนาว | - 3 | หนาว |
| | | - 4 | หนาวมาก |

**ตารางที่ 7 เปรียบเทียบระดับคะแนนความรู้สึกให้ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังได้มีการพยายามสร้างสมการระหว่างค่าความรู้สึกทางความร้อนในเทอมของตัวแปรสามตัวหลักที่มีอิทธิพลกับความรู้สึกทางความร้อน โดย Berger X. ซึ่งสมการนี้สามารถใช้ทำนายได้ดีในช่วงอุณหภูมิห้องระหว่าง 24°C ถึง 30°C โดยมีรูปแบบสมการคือ

$$PMV = 0.251T_{amb} + 0.013RH - 3.0(V_{air} - 0.2) - 7.244 \quad [7]$$

โดย $T_{amb}$ = อุณหภูมิแวดล้อม °C

RH = เปอร์เซนต์ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ

$V_{air}$ = ความเร็วลมที่พัดผ่านร่างกาย, เมตรต่อวินาที

ในการหาค่าระดับอุณหภูมิที่พึงพอใจ จะใช้วิธีทำการทดสอบโดยการสร้างสภาพแวดล้อมจำลอง ที่ควบคุมสภาพแวดล้อมต่างๆได้ ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิในระดับต่างๆ ระดับความชื้น และระดับความเร็วของการเคลื่อนที่ของอากาศ หรือกระแสลม แล้วให้ผู้รับการทดสอบเข้าไปในสถานที่จำลองสภาพแวดล้อมนั้น โดยผู้รับการทดสอบจะต้องมีสภาพร่างกายที่ปกติ องค์ประกอบต่างๆที่เกี่ยวข้อง เช่น อัตราการเผาผลานพลังงาน (Met) อยู่ในอัตราปกติคือกิจกรรมในลักษณะนั่งพักสบาย, อัตราค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clo) ในลักษณะชุดสบายๆปกติ (กางเกงขายาว, เสื้อเชิ้ตแขนสั้น) จากนั้นทำการปรับระดับของตัวแปรปัจจัยสภาพแวดล้อมต่างๆ แล้วให้ผู้รับการทดสอบให้คะแนนความพึงพอใจในระดับต่างๆตามความพึงพอใจต่อสภาพแวดล้อมจำลองที่สร้างขึ้น เมื่อได้ระดับคะแนนความพึงพอใจมาแล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ยตามขบวนการทางสถิติ จะได้ระดับความพึงพอใจต่อระดับอุณหภูมิตามแต่ตัวแปรทางด้านปัจจัยประกอบของความสบายที่กำหนดหรือตั้งสมมุติฐานขึ้น เช่นที่ระดับอุณหภูมิ x°c ความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับ y % และความเร็วลมที่ระดับ z m/s ก็จะเป็นระดับอุณหภูมิที่พึงพอใจ ถือเป็นระดับความสบายระดับหนึ่ง แต่ถ้าค่าตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งแปลเปลี่ยนไปค่าตัวอื่นๆก็จะแปรผันตามไปด้วย ซึ่งก็จะสามารถหาระดับความสบายของท้องถิ่นได้

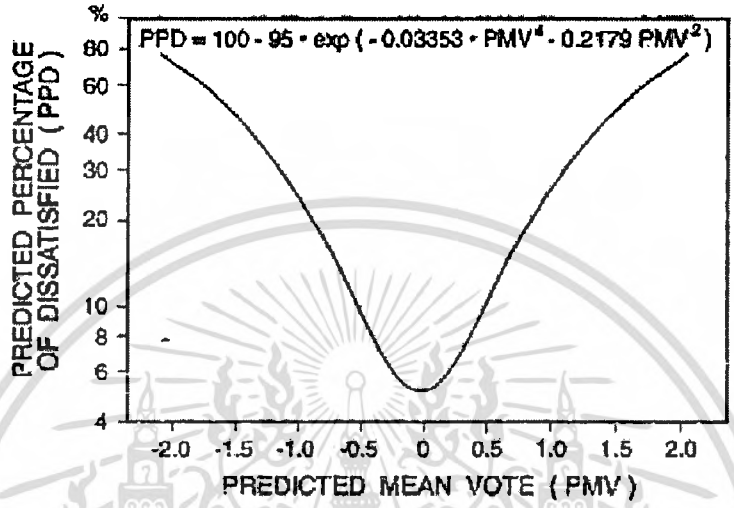
โดยปกติระดับอุณหภูมิที่เป็นระดับความสบายของผู้คนในแต่ละกลุ่มจะมีมาตราฐานแตกต่างกัน แม้แต่คนในกลุ่มเดียวกันความรู้สึกที่ได้ก็ไม่ได้เหมือนกันทุกคน ดังนั้นค่าระดับอุณหภูมิที่เป็นระดับความสบายนั้นจึงกำหนดเฉพาะคนส่วนใหญ่ในกลุ่มเท่านั้น ไม่ใช่สำหรับทุกคน อย่างมากได้ผลเพียง 80 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ซึ่งค่าเฉลี่ยในส่วนความพึงพอใจนี้จะเรียกว่า Predicted Mean Vote (PMV) และในส่วนที่ไม่พึงพอใจจะมีค่าที่เรียกว่า Predicted Percentage Dissatisfied (PPD) ความต่างระหว่าง PMV และ PPD ที่เกิดขึ้นนี้ แฟรงเกอร์ (Fanger,1970) ได้เขียนกราฟความสัมพันธ์ของ PMV กับ PPD และให้ค่า PPD ต่ำสุดที่ระดับ 5 เปอร์เซนต์เท่านั้น เนื่องจากในระดับความพึงพอใจที่ยอมรับได้นั้นย่อมมีบางส่วนที่ไม่พอใจกับระดับผลที่ได้นั้นๆ โดยมีสมการคำนวณค่า PPD ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
70734

$$PPD = 100 - 95\exp[-(0.03353\ PMV^4 + 0.1297\ PMV^2)] \quad [8]$$

โดย PPD = เปอร์เซนต์ทำนายความรู้สึกไม่สบาย

PMV = ดัชนีทำนายโหวตเฉลี่ย




(Fanger,1970)

รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง PMV และ PPD

| PMV | Predicted Percentage of Dissatisfied | | |
|---|---|---|---|
| | Cold | Warm | Total |
| − 2.0 | 76.4 | – | 76.4 |
| − 1.5 | 52.0 | – | 52.0 |
| − 1.0 | 26.8 | – | 26.8 |
| − 0.9 | 22.5 | – | 22.5 |
| − 0.8 | 18.7 | 0.1 | 18.8 |
| − 0.7 | 15.3 | 0.2 | 15.5 |
| − 0.6 | 12.4 | 0.3 | 12.7 |
| − 0.5 | 9.9 | 0.4 | 10.3 |
| − 0.4 | 7.7 | 0.6 | 8.3 |
| − 0.3 | 6.0 | 0.9 | 6.9 |
| − 0.2 | 4.5 | 1.3 | 5.8 |
| − 0.1 | 3.4 | 1.8 | 5.2 |
| 0 | 2.5 | 2.5 | 5.0 |
| + 0.1 | 1.8 | 3.4 | 5.2 |
| + 0.2 | 1.3 | 4.5 | 5.8 |
| + 0.3 | 0.9 | 5.9 | 6.8 |
| + 0.4 | 0.6 | 7.7 | 8.3 |
| + 0.5 | 0.4 | 9.8 | 10.2 |
| + 0.6 | 0.3 | 12.2 | 12.5 |
| + 0.7 | 0.2 | 15.2 | 15.4 |
| + 0.8 | 0.1 | 18.5 | 18.6 |
| + 0.9 | – | 22.2 | 22.2 |
| + 1.0 | – | 26.4 | 26.4 |
| + 1.5 | – | 51.4 | 51.4 |
| + 2.0 | – | 75.7 | 75.7 |

(Fanger,1970)

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ ระหว่าง PMV และ PPD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า

เครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เท่ากัน หน่วยการวัดปริมาณพลังงานจะวัดเป็นจำนวน"วัตต์" (watt) แต่เครื่องใช้ไฟฟ้าบางชนิดก็บอกหน่วยเป็นแอมแปร์ (ampere) ก็ต้องแปลงหน่วยให้เป็นวัตต์เสียก่อน โดยใช้สูตร

**วัตต์ = แอมแปร์** x **โวลต์** x **เพาเวอร์แฟตเตอร์** (ประมาณ 0.95) [9]

ซึ่งในการใช้งานแต่ละครั้งจะมีหน่วยนับของระยะเวลาประกอบด้วยจึงจะทราบว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าใช้ปริมาณไฟฟ้าไปเท่าไรในช่วงระยะเวลานั้นๆ ในการหาปริมาณการใช้ไฟฟ้าจะต้องทราบ ขนาดของการใช้กำลังไฟฟ้า และช่วงเวลาการใช้งาน โดย

**พลังงานไฟฟ้า 1 หน่วย = กำลังไฟฟ้า 1,000 วัตต์** x **เวลา 1 ชั่วโมง** [10]

และเมื่อต้องการคิดอัตราการใช้ไฟฟ้าจะใช้สูตร

**จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้** = (**จำนวนวัตต์** x **จำนวนชั่วโมงที่ใช้**) / 1000 [11]

โดย หน่วยนับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปจะเป็นหน่วย กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง หรือที่นิยมเรียกว่า "หน่วย" หรือ "ยูนิต"(กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2542)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# วิธีการวิจัย

3.1 ขั้นตอนในการวิจัย

ในการวิจัยเพื่อหาสภาวะระดับความสบายจากการใช้พัดลมโคจร กระจายความเย็นที่ได้จากเครื่องปรับอากาศ เพื่อลดภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศ โดยอาศัยหลักการของความรู้สึกเย็นลงเมื่อมีกระแสลมพัดผ่านผิวกาย มีขั้นตอนดำเนินการดังนี้

3.1.1 วัดความเร็วของกระแสลมที่เกิดจากพัดลมโคจรในอัตราความเร็วต่างๆทั้ง 3 ระดับ ในจุดต่างๆของห้องทดลอง แล้วหาค่าเฉลี่ยของความเร็วลมในแต่ละระดับ

3.1.2 วัดระดับอุณหภูมิ ระดับความชื้นสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้นจากเครื่องปรับอากาศ และระยะเวลาของการทำงานของเครื่องปรับอากาศในส่วนของคอมเพรสเซอร์ ว่าในช่วงระยะเวลาที่กำหนดในการทดลอง คอมเพรสเซอร์ทำงานเป็นระยะเวลาเท่าไร เพื่อนำมาคำนวณหาอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า

3.1.3 หาอัตราการแผ่รังสีความร้อนที่เกิดขึ้นของห้องทดลองในช่วงเวลาที่กำหนดที่ได้รับอิทธิพลจากสิ่งแวดล้อมโดยรอบ

3.1.4 หาค่าอัตราการเผาผลานพลังงานในร่างกายจากลักษณะกิจกรรมที่เกิดขึ้น และอัตราการเป็นฉนวนของเครื่องนุ่งห่มของผู้ทำกิจกรรม เพื่อใช้ในการคำนวณหาความรู้สึกพึงพอใจต่อสภาวะอากาศที่กำหนด

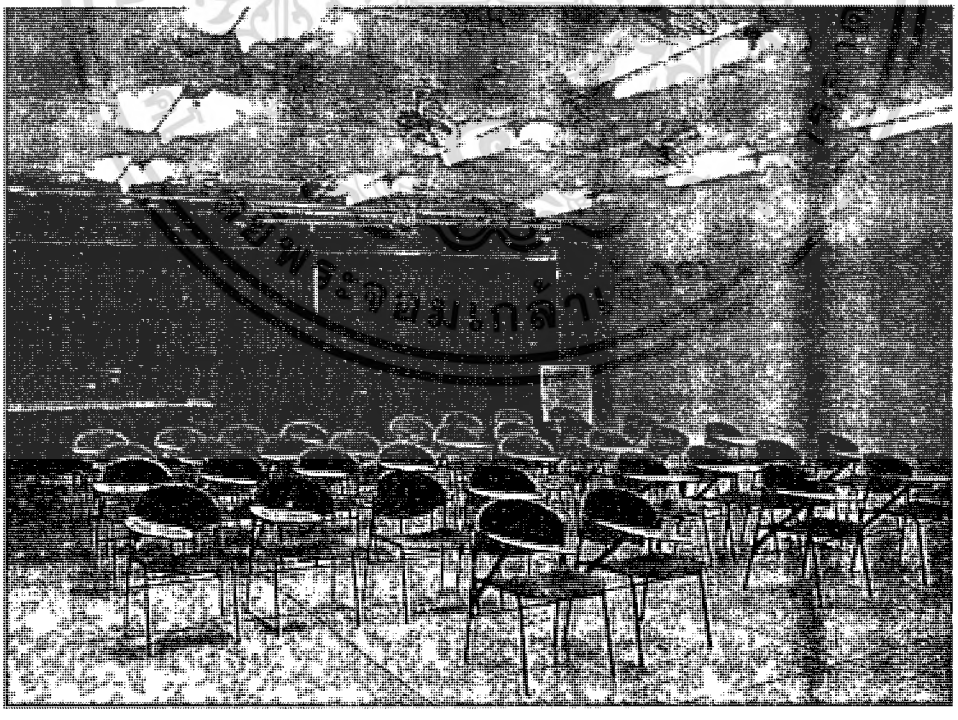
3.1.5 นำอัตราค่าเฉลี่ยต่างๆที่เกิดขึ้น ได้แก่ ค่าเฉลี่ยความเร็วลม ระดับอุณหภูมิ ค่าเฉลี่ยการแผ่รังสีความร้อน ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้น อัตราการเผาผลานพลังงานที่เกิดจากลักษณะของกิจกรรม และอัตราการเป็นฉนวนของเครื่องนุ่งห่มที่สวมใส่ มาคำนวณหาค่าความพึงพอใจ หรือค่า PMV (Predicted Mean Vote) ต่อระดับสภาวะความสบายทางด้านอุณหภูมิ

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.1 ห้องทดสอบสภาวะประสิทธิภาพของอุณหภูมิจากเครื่องปรับอากาศและประสิทธิภาพของกระแสลมจากพัดลมโคจร การวิจัยใช้การทดลองจากสถานที่ซึ่งกำหนดปัจจัยและสภาวะอากาศ ณ สถานที่จริง คือห้องบรรยาย409 ของอาคารเรียนรวม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เป็นอาคาร 5 ชั้น ห้องบรรยายนี้อยู่ที่ชั้น 4 มีขนาด กว้าง 7.80 เมตร ยาว 12.00 เมตร และสูง 3.25 เมตร ติดเครื่องปรับอากาศขนาด 48,000 บีทียู/ชั่วโมง ซึ่งคอมเพรสเซอร์ใช้ไฟฟ้าชนิด 3 เฟส กำลังไฟฟ้า 4528 วัตต์/ชั่วโมง และแฟนคอยล์กับพัดลม

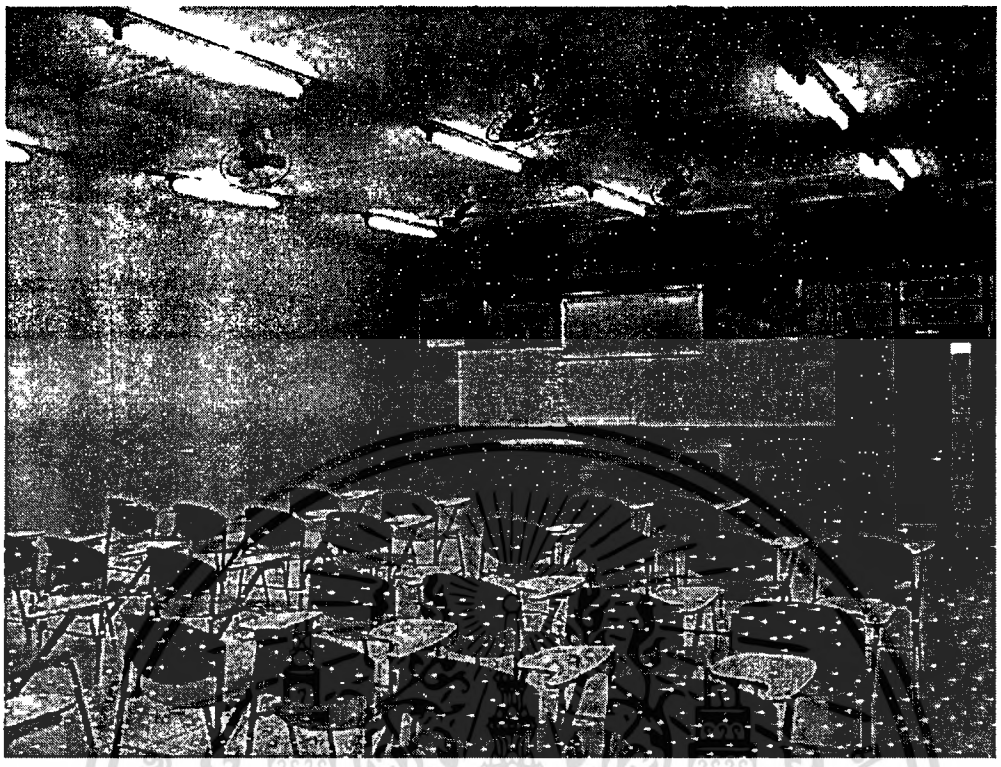
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบายความร้อนคอมเพรสเซอร์ จะใช้กำลังไฟฟ้า 313.5 วัตต์ ลักษณะของห้องเป็นห้องที่มีด้านหน้าติดทางเดินภายในอาคารและมีประตูเข้าห้อง ด้านข้างทั้งสองติดกันห้องอื่นๆ ส่วนด้านหลังเป็นผนังกระจกหน้าต่างกรอบอลูมิเนียม ติดม่านบังแสง เพดานติดพัดลมโคจร จำนวน 10 ตัว ขนาดใช้กำลังไฟฟ้า ตัวละ 57 วัตต์ (กำลังไฟฟ้าที่ความเร็วพัดลมสูงสุด) ติดตั้งในลักษณะเป็นแถวยาวตามความยาวห้อง 2 แถว ห่างจากผนังห้องเข้ามากลางห้องข้างละ 3.00 เมตร และในแต่ละแถวติดพัดลมแถวละ 5 ตัว ซึ่งจุดตำแหน่งกึ่งกลางห้องติดพัดลมตัวที่ 3 ส่วนตัวอื่นๆจะติดตั้งถัดออกไปโดยแบ่งระยะห่างออกเท่าๆกัน เป็นเช่นเดียวกันทั้ง 2 แถว แต่ในการทดสอบหาประสิทธิภาพของพัดลมโคจรนี้จะใช้พัดลมกลุ่มที่อยู่กลางห้อง จำนวน 6 ตัว โดยตัดตัวที่อยู่ติดผนังด้านหน้าห้อง เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่อยู่บริเวณผู้บรรยายและติดผนังห้องเกินไปเมื่อเวลาเปิดจะนำพาความร้อนจากผนังลงมาหรือจากช่องทางเดินนอกห้องเข้ามาในห้องซึ่งจะทำให้ระดับอุณหภูมิที่ได้จากเครื่องปรับอากาศแปรเปลี่ยนได้ นอกจากนี้พัดลมที่อยู่ในแถวสุดท้าย ท้ายห้องซึ่งอยู่ติดกับเครื่องปรับอากาศก็จะไม่ใช้ในการทดลองเนื่องจากอยู่ติดกับช่องจ่ายลมของเครื่องปรับอากาศมากเกินไป เมื่อเวลาเครื่องปรับอากาศทำงานพัดลมตัวนี้จะพัดพาลมเย็นที่ออกมาจากเครื่องปรับอากาศทำให้กำลังความเย็นที่ส่งออกมาแตกกระจาย กระแสลมเย็นจากเครื่องปรับอากาศจะพุ่งไปไม่ถึงกลางห้อง และช่องลมกลับของเครื่องปรับอากาศจะดูดลมเย็นนั้นกลับเข้าเครื่องไปเสีย ทำให้ความเย็นไปไม่ทั่วพื้นที่ห้อง

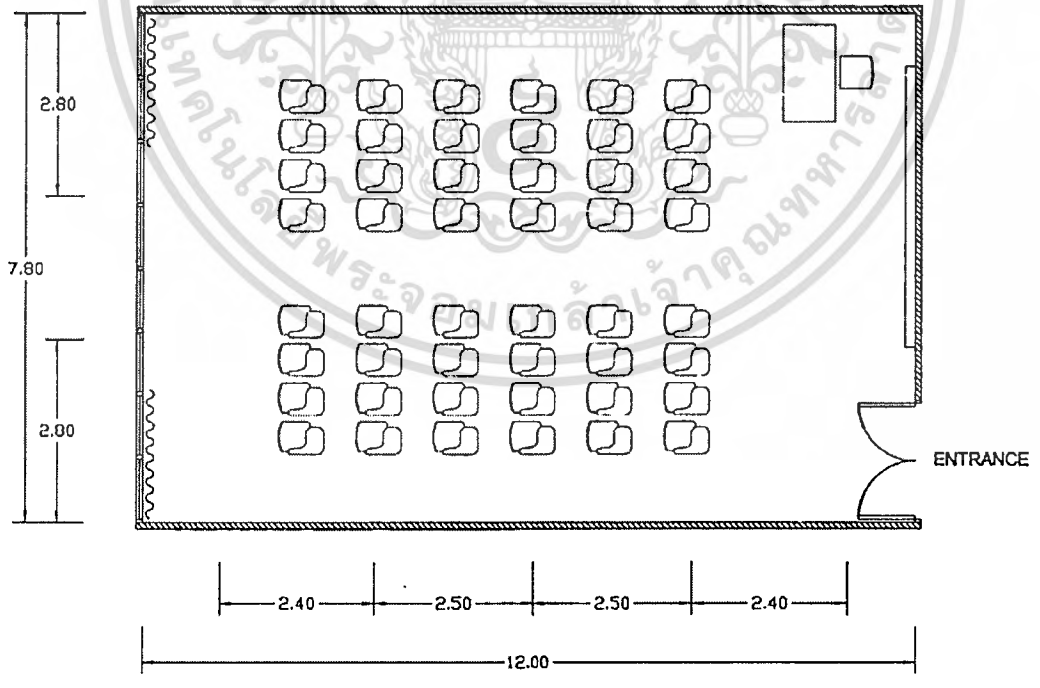


รูปที่ 6 ห้องบรรยาย 409 ใช้เป็นห้องทดลอง มองจากด้านหน้าห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

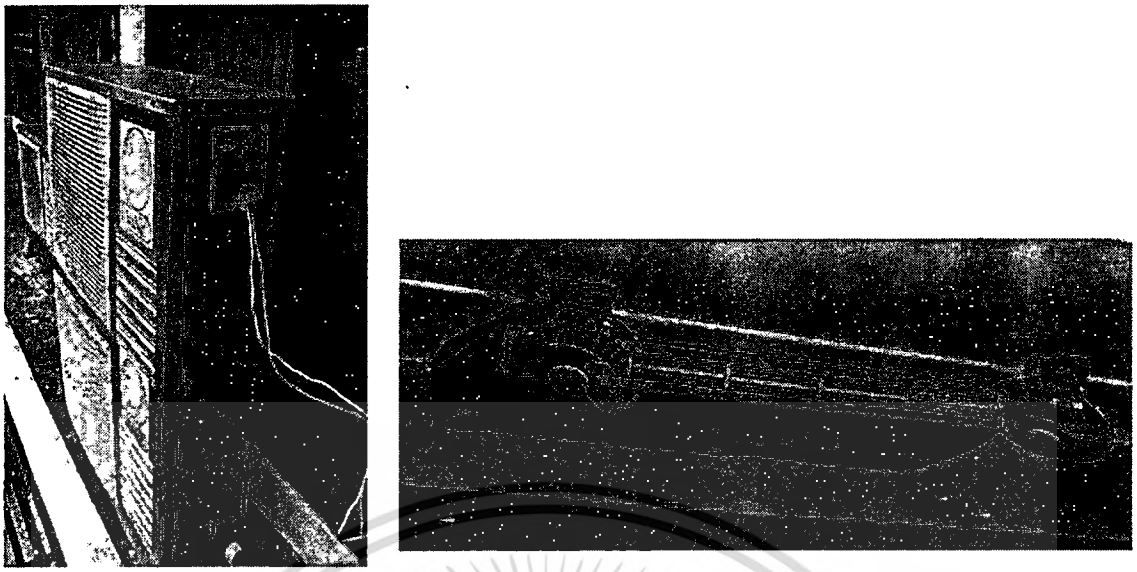


รูปที่ 7 ห้องบรรยาย 409 ใช้เป็นห้องทดลอง มองจากด้านหลังห้อง

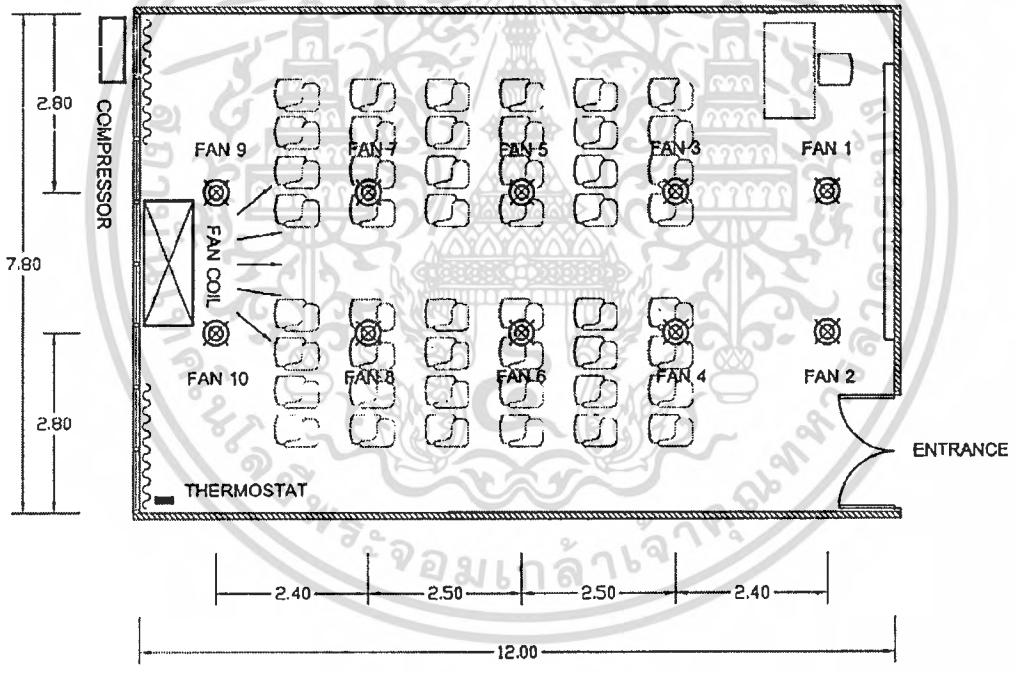



รูปที่ 8 ผังห้องทดลอง ห้องบรรยาย 409

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 เครื่องปรับอากาศขนาด 48,000 Btu./hr 4528 watt/hr

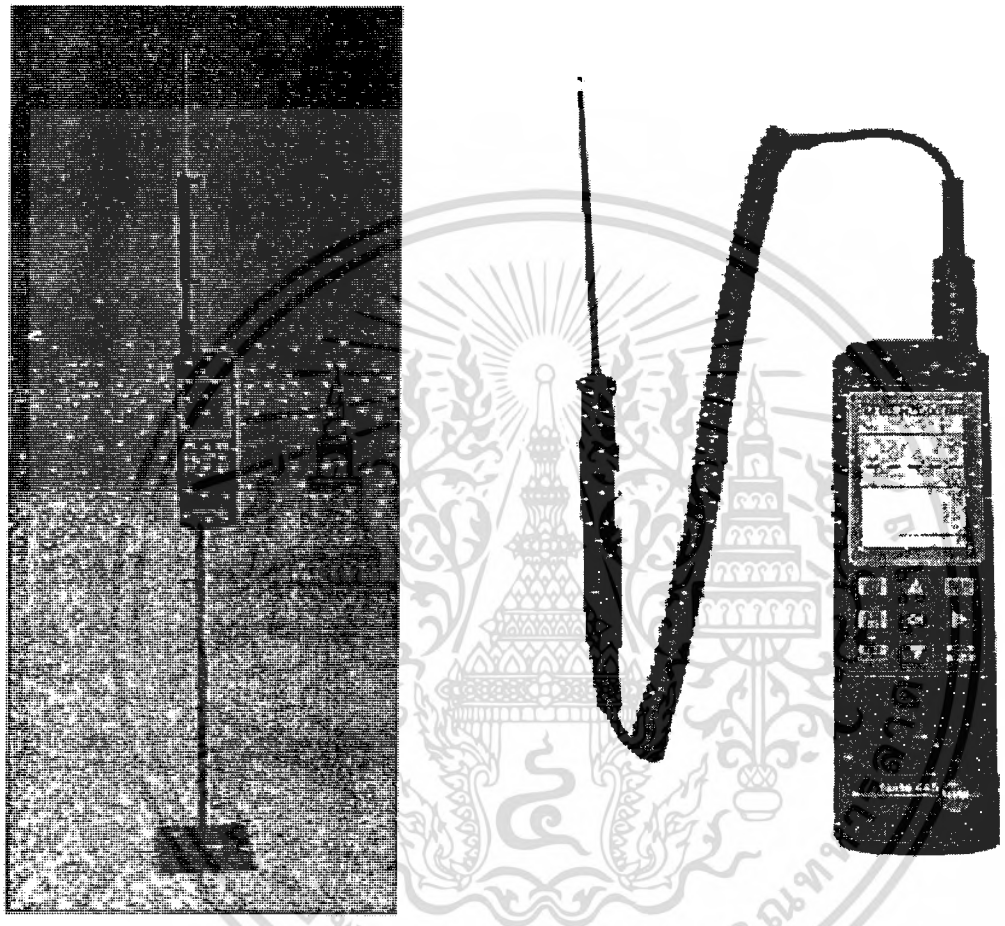



รูปที่ 10 ผังแสดงตำแหน่งเครื่องปรับอากาศ และพัดลมโคจร ห้องบรรยาย 409

3.2.2 เครื่องวัดความเร็วลมชนิดหัวกระเปาะความร้อน Robust hot bulb Anemometer ซึ่งในบรรดาเครื่องวัดความเร็วลมที่ดีที่สุดและไวที่สุดจะเป็นชนิด เส้นลวดความร้อน Hot wire แต่ทั้งนี้เนื่องจากกระแสลมที่เกิดจากพัดลมโคจรที่เปิดพร้อมกันหลายๆ ตัว จะมีทิศทางของกระแสลมที่ไม่แน่นอนแปรปรวนตลอดเวลา จึงจำเป็นต้องใช้ชนิดกระเปาะความร้อนที่ตัวหัววัด (probe) เป็นตุ่มโลหะกลมซึ่งจะทำให้หาค่าความเร็วลมที่มาจากหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

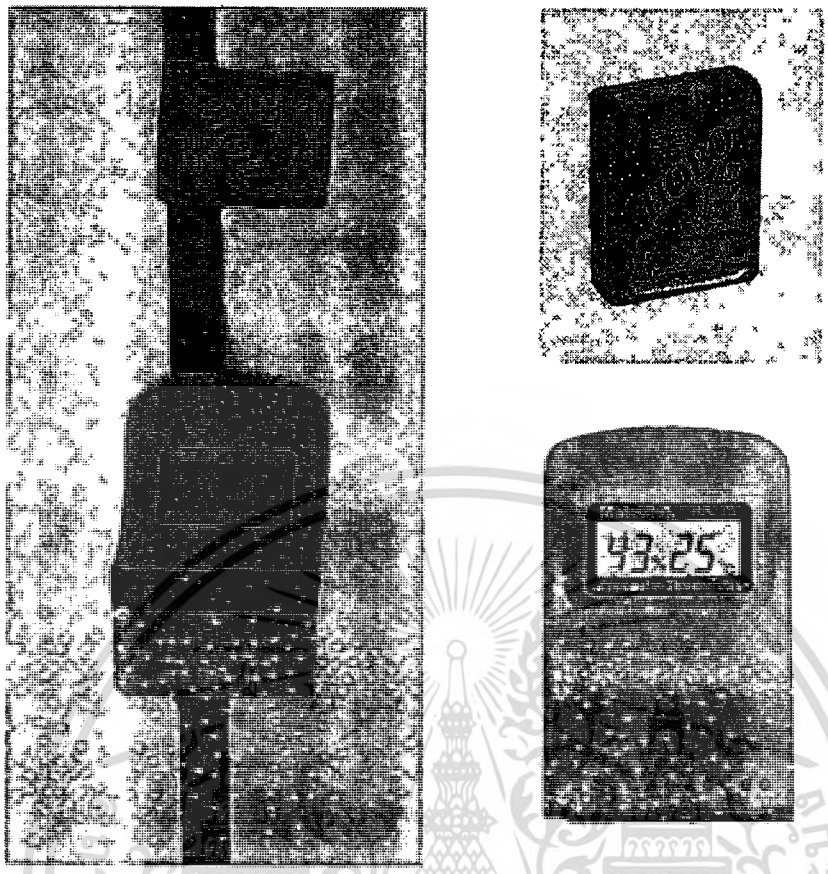
ทิศทางได้ ซึ่งจะแตกต่างจากเครื่องวัดชนิดเส้นลวดความร้อน Hot wire ที่มีหัววัดเป็นลักษณะช่องหรือรูให้ลมผ่านเข้าและออก ในช่องนั้นจะมีเส้นลวดความร้อนขึงกั้นขวางกระแสลมอยู่ตรงกลาง การวัดความเร็วลมจะต้องให้กระแสลมผ่านเข้าเฉพาะในช่องดังกล่าวเท่านั้น จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาวัดกระแสลมที่มีทิศทางไม่แน่นอน ตัวเครื่องวัดที่ใช้ของ Testo รุ่น 445 และหัววัดความเร็วลม Robust hot bulb probe Ø3 mm. ความคลาดเคลื่อน ±5%



รูปที่ 11 เครื่องวัดความเร็วลมชนิดหัวกระเปาะความร้อน Robust hot bulb Anemometer

3.2.3 เครื่องวัดระดับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ใช้เครื่องวัดระดับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศชนิดอีเลคโทรนิค มีตัวเลขดิจิตอลแสดงค่าที่วัดได้ นอกจากนี้ในการเก็บบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จะใช้เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 12 เครื่องบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และชนิดแสดงตัวเลขดิจิตอล**

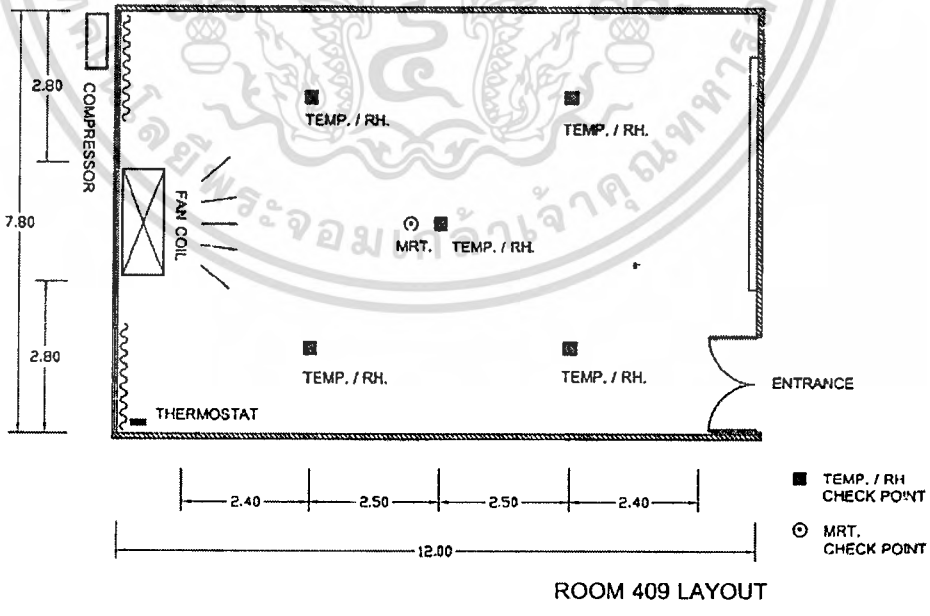
และความชื้นสัมพัทธ์ (Temp and RH Data logger) ซึ่งจะวัดและบันทึกค่าอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาที่กำหนดให้เครื่องทำงาน เมื่อทำการบันทึกจนได้ตามที่ต้องการแล้วก็จะต้องถ่ายข้อมูลออกจากเครื่องบันทึกเข้าสู่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้แก่โปรแกรม BoxCar Pro 4.3 แล้วนำมาหาค่าระดับเฉลี่ยด้วยโปรแกรมคำนวณ Excel ในการวิจัยนี้ใช้เครื่องวัดและเก็บบันทึกข้อมูลระดับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่เรียกว่า HOBO ผลิตโดยบริษัท Onset computer สามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 20-70 องศาเซลเซียส มีความคลาดเคลื่อน ±0.7 องศาเซลเซียสที่ระดับ 21 องศาเซลเซียส และวัดความชื้นสัมพัทธ์ได้ตั้งแต่ 25-95% สามารถบันทึกข้อมูลได้ 32,520 ข้อมูล ตัวเครื่องวัดมีขนาดประมาณกล่องไม้ขีด ซึ่งเป็นที่ยอมรับสำหรับการบันทึกข้อมูลของงานวิจัยในต่างประเทศ

3.2.4 โกลบ เทอร์โมมิเตอร์ (Globe Thermometer) ใช้วัดค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิจากการแผ่รังสีความร้อน Thermal Radiation ที่วัดได้จากสภาพแวดล้อมโดยรอบ หรือที่เรียกว่า (Mean radial temperature) (MRT) มีลักษณะเป็นลูกทองแดงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ทาสีดำด้านภายในมีหัววัดอุณหภูมิอยู่ภายใน และมีสายสัญญาณออกมาสำหรับพ่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อกับเครื่องบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ ซึ่งในการวิจัยนี้ใช้เครื่องบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ HOBO เมื่อทำการบันทึกจนได้ตามที่ต้องการแล้วก็จะต้องถ่ายข้อมูลออกจากเครื่องบันทึกเข้าสู่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่อไป

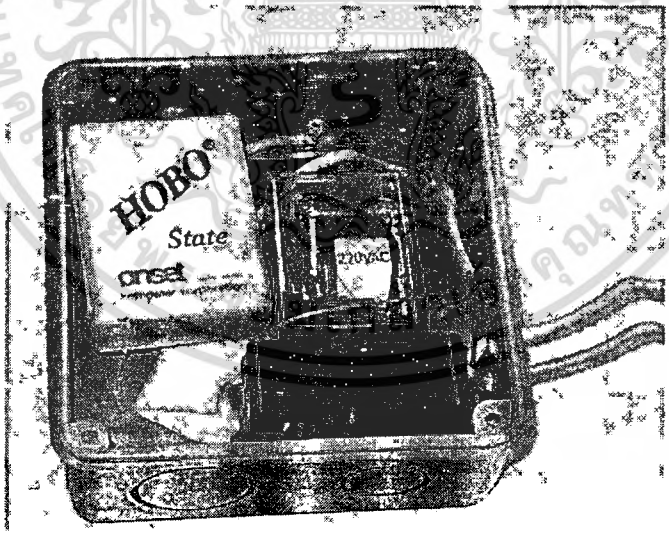
รูปที่ 13 โกลบ เทอร์โมมิเตอร์ (Globe Thermometer) พ่วงต่อเครื่องบันทึกข้อมูล HOBO




รูปที่ 14 ผังแสดงตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิภายใน และ อุณหภูมิเฉลี่ยการแผ่รังสี MRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 เครื่องบันทึกการปิดเปิดของคอมเพรสเซอร์ เพื่อบันทึกช่วงระยะเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ว่าในช่วงเวลาและอุณหภูมิที่กำหนด คอมเพรสเซอร์ทำงานเป็นระยะเวลาเท่าไร ในการทดลองนี้ใช้ Hobo state เป็นตัวบันทึกการเปิดปิดของสวิทช์คอมเพรสเซอร์ โดยใช้รีเลย์สวิทช์เป็นตัวเชื่อมตัดต่อกระแสสัญญาณของ Hobo state เนื่องจากกระแสไฟที่ผ่านสวิทช์ตัดต่อของคอมเพรสเซอร์เป็นกระแส 220 โวลต์ ไม่สามารถต่อตรงเข้า Hobo state จะเกิดความเสียหายได้ ลักษณะการทำงานเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ รีเลย์จะทำงานโดยสะพานไฟที่อยู่ภายในสำหรับช่องสัญญาณของ Hobo state จะปิด (กระแสสัญญาณวิ่งผ่าน) Hobo state ก็จะบันทึกช่วงระยะเวลาที่คอมเพรสเซอร์ทำงานจนกระทั่งเมื่อใดที่คอมเพรสเซอร์หยุดทำงานคือไม่มีกระแสไฟฟ้าป้อนเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ สะพานไฟที่อยู่ในรีเลย์จะเปิด กระแสสัญญาณของ Hobo state ก็จะหยุดขาดตอน Hobo state ก็จะบันทึกช่วงเวลาที่คอมเพรสเซอร์หยุด ในการบันทึกระยะเวลาของการเปิดปิดนี้ Hobo state จะบันทึกระยะวันและเวลาของการบันทึกด้วย และเมื่อนำ Hobo state ไปถอดข้อมูลการบันทึกเข้าสู่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ก็จะเห็นถึงระยะเวลาที่คอมเพรสเซอร์ทำงานในแต่ละช่วงเวลาของอุณหภูมิต่างๆ ที่เครื่องปรับอากาศทำงาน เมื่อนำระยะเวลาที่ได้มาคำนวณกับขนาดการใช้กำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ก็จะได้ปริมาณไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ใช้ไปในช่วงเวลาของอุณหภูมิต่างๆ จากนั้นจึงนำมาเปรียบเทียบกันว่าในช่วงอุณหภูมิที่กำหนดในระยะเวลาที่เท่ากัน ระดับอุณหภูมิใดใช้ปริมาณไฟฟ้ามากเท่าไร




รูปที่ 15 เครื่องบันทึกการปิดเปิดของคอมเพรสเซอร์ Hobo state ต่อพ่วงกับ รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 **โปรแกรมวิเคราะห์ความสมดุลของอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อความรู้สึก หรือระดับสภาวะความสบายทางด้านอุณหภูมิ** Human Heat Balance **โดย** Dr Richard de Dear จาก Department of Physical Geography, Division of Environmental and Life Sciences Macquarie, University, Sydney, AUSTRALIA **โดยสามารถป้อนข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ได้ที่** http://penman.es.mq.edu.au/~rdedear/pmv/ **เพื่อใช้วิเคราะห์หาค่าความรู้สึก หรือค่าความพึงพอใจต่อระดับอุณหภูมิที่กำหนด โดยในการคำนวณจะต้องป้อนข้อมูลของตัวแปรต่างๆที่สำคัญ ได้แก่ ระดับอุณหภูมิที่กำหนด ระดับอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน ความดันอากาศ ระดับไอน้ำในอากาศ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมภายในห้อง น้ำหนักของผู้ทดสอบ พื้นที่ของพื้นผิวผู้ทดสอบ ค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าผู้ทดสอบ อัตราการเผาผลาญพลังงานตามกิจกรรมที่ผู้ทดสอบกระทำ ระยะเวลาที่ทำการทดสอบ ซึ่งตัวแปรเหล่านั้นเป็นตัวแปรระดับเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูล จากนั้นจึงให้โปรแกรมทำการคำนวณหาค่า PMV ซึ่งหลังจากโปรแกรมทำการวิเคราะห์คำนวณให้แล้วก็จะแสดงผลการคำนวณและวิเคราะห์ออกมา โดยแสดงค่าที่ได้คือ Effective temperature (ET), Standard effective temperature (SET), Discomfort (DISC), Thermal sensation (TSENS), Predicted mean vote (PMV), Predicted percentage dissatisfied (PPD), และ Heat stress index (HIS) และแสดงค่าระดับความรู้สึกที่เป็นค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ (PMV)ที่เป็นตัวชี้วัดระดับอุณหภูมิที่พึงพอใจในสภาพแวดล้อมที่กำหนด

| Environmental Parameters | | Personal Parameters | |
|---|---|---|---|
| ambient temperature (°C) | 23.0 | subject weight (kg) | 60.0 |
| radiant temperature (°C) | 23.0 | subject surface area ($m^2$) | 1.8 |
| barometric pressure (hPa) | 1013 | clothing insulation (clo) | 0.542 |
| $H_2O$ vapour pressure (hPa) | 14.92 | metabolic rate (W $m^{-2}$) | 60 |
| relative humidity (%) | 50.0 | work rate - external (W $m^{-2}$) | 0 |
| room air velocity (m $s^{-1}$) | 0.34 | exposure time (min) | 60 |

**รูปที่ 16 โปรแกรมหาค่า** Human Heat Balance **โดย** Dr Richard de Dear **แสดงช่องใส่ค่าตัวแปรเพื่อการคำนวณ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|---|---|---|
| Effective Temperature (ET*) | 22.99 | |
| Standard Effective Temperature (SET*) | 20.67 | |
| Discomfort (DISC) | -0.23 | Comfortable |
| Thermal Sensation (TSENS) | -0.23 | Neutral |
| Predicted Mean Vote (PMV) | -1.68 | Cool |
| Predicted Percentage Dissatisfied (PPD) | 60.51 | |
| Heat Stress Index (HSI) | 5.60 | |

**รูปที่ 17 ตัวอย่างผลจากการคำนวณและประเมินผลของโปรแกรม** Human Heat Balance

3.2.7 แบบสอบถามความรู้สึกที่มีต่อสภาพอากาศ เพื่อใช้ในการหาค่าความพึงพอใจของผู้รับการทดสอบและเพื่อทราบถึงความรู้สึกของผู้รับการทดสอบจากผลของความเร็วลมและระดับอุณหภูมิ

แบบสอบถามความรู้สึกที่มีต่อสภาพอากาศ

ห้อง 409 อาคารเรียนรวม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ เวลา_____น.

วันที่_____/_____/_____ อุณหภูมิภายนอก_____° C

เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง ความชื้นสัมพัทธ์_____%

ระดับค่าความรู้สึก

| -3 | -2 | -1 | 0 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| หนาวมาก | หนาว | เย็น | พอดี | อุ่นเล็กน้อย | อุ่น | ร้อน |

| ระดับอุณหภูมิ | 24°C | 25°C | 26°C | 27°C | 28°C | 29°C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| พัดลมระดับ 1 | | | | | | |
| พัดลมระดับ 2 | | | | | | |
| พัดลมระดับ 3 | | | | | | |

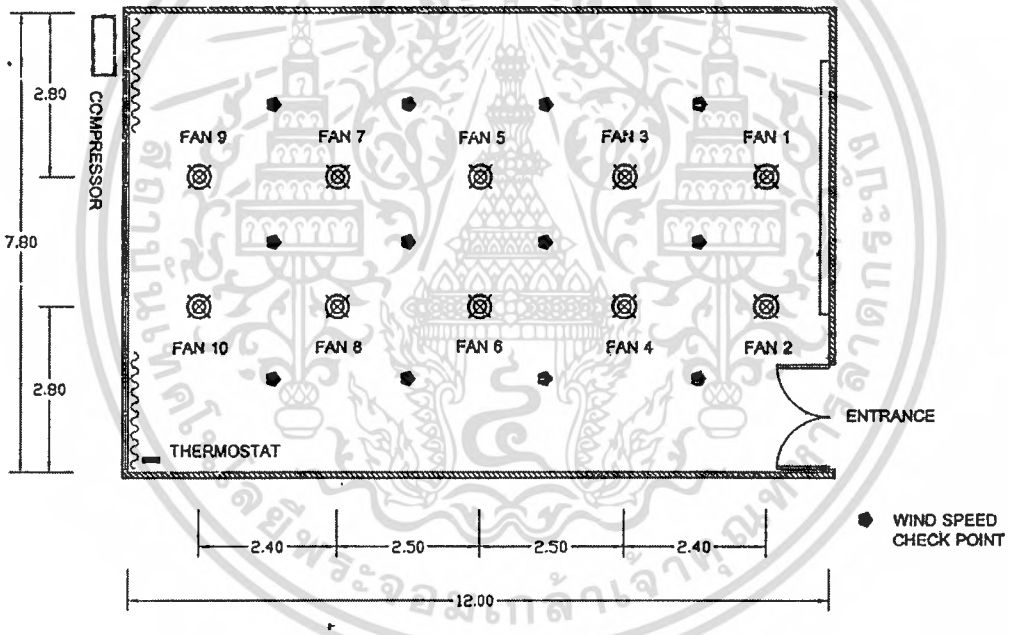
ตารางที่ 9 แบบสอบถามความรู้สึกที่มีต่อสภาพอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดลอง

จากวัตถุประสงค์ที่ต้องการ 2 อย่าง คือค่าระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมกับระดับความเร็วลมที่ได้จากพัดลมโคจร และอัตราเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างการทำงานของเครื่องปรับอากาศเพียงอย่างเดียวกับเครื่องปรับอากาศที่ทำงานร่วมกับพัดลมโคจร จึงแยกการทดลองออกเป็น 3 ส่วนคือ

3.3.1 การหาความเร็วลมที่ได้จากพัดลมโคจรในระดับความเร็วทั้ง 3 ระดับ โดยกำหนดจุดวัดความเร็วลมในห้องทดลอง ออกเป็น 12 จุด ทำการบันทึกความเร็วลมต่อเนื่องทุกๆ 2 วินาที จำนวน 100 ครั้งต่อจุด หน่วยการวัดเป็น เมตร/วินาที กำหนดให้ตำแหน่งของหัววัดความเร็วลมอยู่ในระดับความสูง 0.90 ม. ซึ่งเป็นระดับความสูงเท่าระดับหน้าอกเมื่อนั่งเก้าอี้ฟังบรรยาย โดยวัดในทุกระดับความเร็วของพัดลม คือระดับความเร็วเบอร์ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ เมื่อบันทึกข้อมูลในแต่ละความเร็วแล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ยของความเร็วแต่ละระดับ ว่ามีความเร็วเฉลี่ยเท่าไร



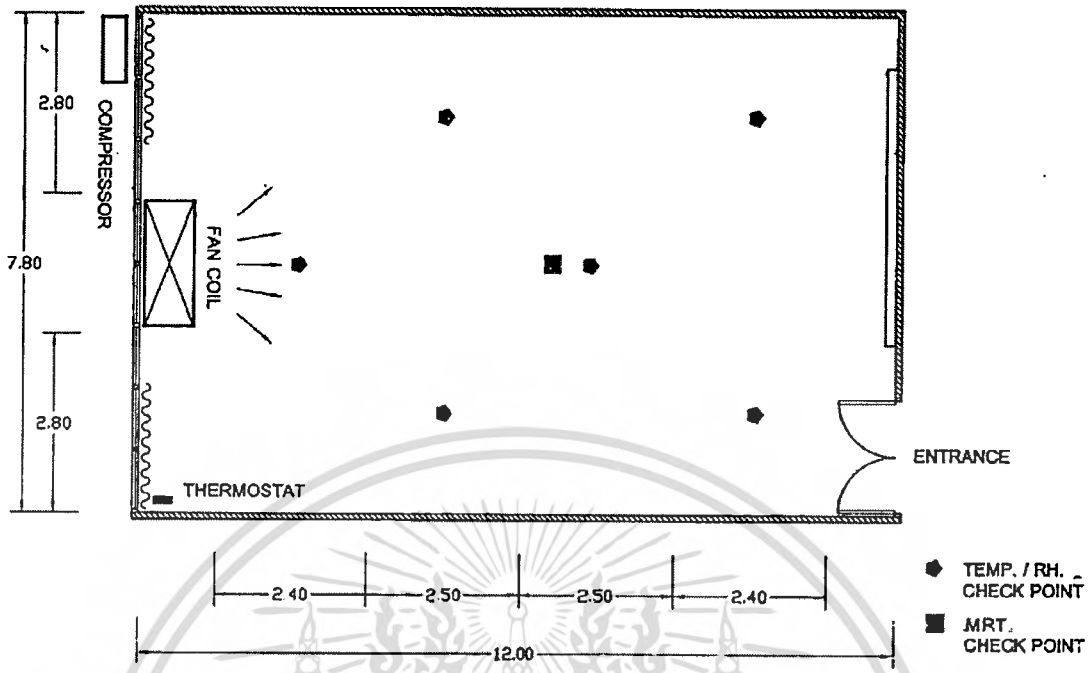

รูปที่ 18 ผังแสดงตำแหน่งพัดลม และจุดวัดความเร็วลม

3.3.2 หาระดับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ในการวัดระดับอุณหภูมิของห้องนั้นจะใช้การตั้งค่ากำหนดอุณหภูมิของ สวิทช์ควบคุมอุณหภูมิห้อง (Room thermostat) ของเครื่องปรับอากาศทำงานในอัตราอุณหภูมิ 24, 25, 26, 27, 28 และ 29 องศาเซลเซียส และใช้เครื่องวัดและบันทึกและระดับความชื้นสัมพัทธ์ HOBO Temp / RH. ทำการวัดและบันทึก กำหนดจุดวัดที่ความสูง 0.90 ม. เช่นเดียวกับเครื่องวัดความเร็วลม โดยในแต่ละช่วงอุณหภูมิจะบันทึกในระยะเวลา 3 ชั่วโมง และบันทึกการเปลี่ยนแปลงทุก 15 นาที ระหว่าง เวลา 13.00 – 16.00 น.ของวันที่มีการเปลี่ยนแปลงของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกห้องที่ไม่แตกต่างกัน โดยใช้วิธีตรวจสอบระดับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกห้องทดลองในช่วงเวลา 12.30 น. ก่อน ถ้าในช่วงเวลานั้นมีระดับที่เท่าหรือใกล้เคียงกับวันก่อนๆ ก็จะทำการทำการทดลองเก็บบันทึกระดับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยจะเปิดเครื่องปรับอากาศล่วงหน้าก่อนการบันทึก 30 นาที เพื่อให้สภาพอากาศในห้องได้ปรับระดับจากระดับที่มีอุณหภูมิสูงกว่ากำหนดมาอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่กำหนด ซึ่งเมื่อเก็บบันทึกครบตามระยะเวลาที่กำหนดแล้ว ก็จะนำข้อมูลที่บันทึกไว้ใน HOBO มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่กำหนด และหาค่าความชื้นสัมพัทธ์ สำหรับการทดลองด้านอุณหภูมินี้ ก่อนที่จะทำการวัดและบันทึกข้อมูลจะต้องนำเครื่องวัดต่างๆมาปรับเทียบเสียก่อนว่าอุปกรณ์วัดอุณหภูมิตัวใดผิดเพี้ยนกันไปเท่าไร จะได้ใช้เป็นค่าชดเชยหรือหักลบจากกัน และเมื่อทำการเก็บบันทึกระดับอุณหภูมิตามระยะเวลาที่กำหนดแล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ย นำผลที่ได้ไปเทียบกับระดับที่ตั้งอุณหภูมิของเครื่องควบคุมอุณหภูมิห้อง (Room thermostat) ว่าเป็นระดับอุณหภูมิเดียวกันหรือแตกต่างกันเท่าไร เพราะอุณหภูมิที่วัดได้เป็นระดับอุณหภูมิในตำแหน่งหรือระดับของผู้ใช้ห้อง แต่จากการทดลองนี้กำหนดให้ตำแหน่งของเครื่องควบคุมอุณหภูมิห้อง (Room thermostat) อยู่ห่างจากตัวเครื่องเป่าลมเย็น (Fan coil) เพราะถ้าติดตั้งในตำแหน่งใต้หรือใกล้กับตัวเครื่อง ก็อาจจะทำให้เครื่องควบคุมอุณหภูมิห้อง วัดอุณหภูมิที่ผิดเพี้ยนไปได้ ไม่เท่ากับบริเวณที่ลมเย็นลงไป เนื่องจากที่ใต้หรือใกล้ตัวเครื่องจะมีกระแสอากาศที่เครื่องดูดกลับมาทำความเย็นใหม่ กระแสลมที่ดูดกลับนี้จะเป็นกระแสอากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณที่ลมเย็นจากเครื่องตกกระทบ จากสาเหตุดังกล่าวในการทดลองนี้จึงทำการวัดระดับอุณหภูมิในหลายๆจุดที่ไม่ใช่บริเวณใต้หรือใกล้กับตัวเครื่องเป่าลมเย็น (Fan coil) เมื่อได้ระดับอุณหภูมิที่บันทึกได้ในแต่ละจุด โดยก่อนที่จะนำข้อมูลที่บันทึกได้จะต้องนำค่าความผิดเพี้ยนระหว่างกันมาคำนวณเพิ่มหรือลดเสียก่อนแล้วจึงนำไปหาค่าเฉลี่ย ออกมาเป็นระดับอุณหภูมิ ตามที่กำหนด ซึ่งจากการปรับเทียบระหว่างกันแล้วผลของความแตกต่างจะเป็นค่าตัวเลขหลังจุดทศนิยม ซึ่งถ้าเทียบกับความรู้สึกแล้วแทบไม่มีผลด้านความรู้สึกเลย

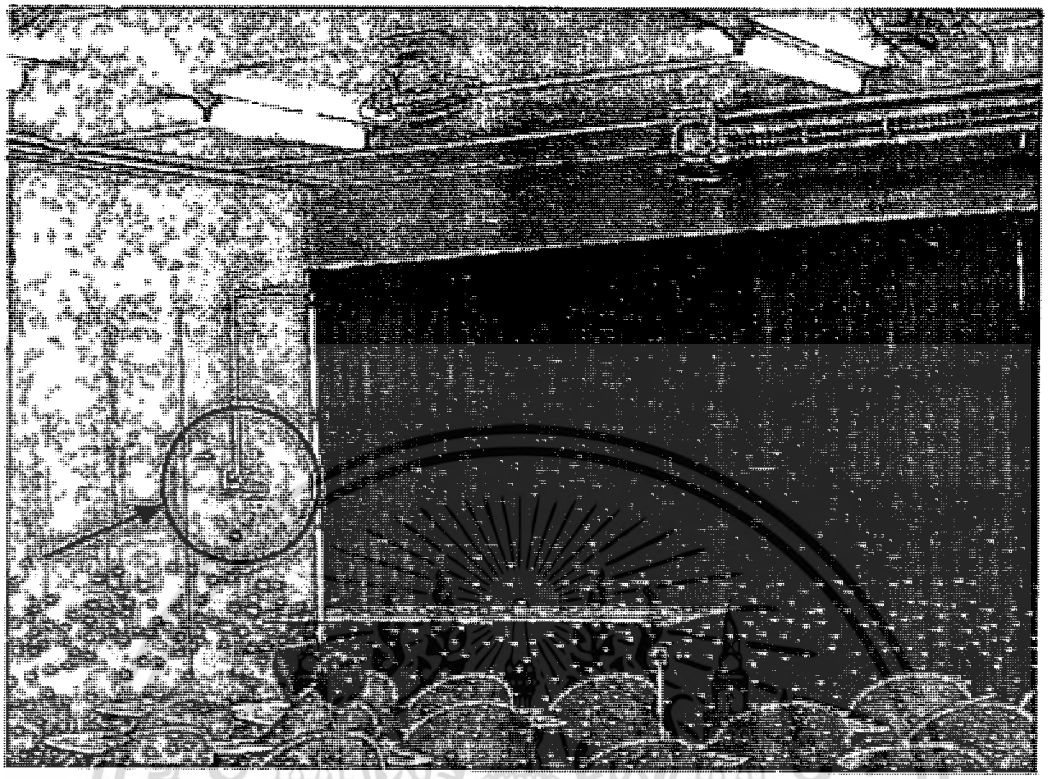
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 19 ผังการตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิ, อุณหภูมิแผ่รังสีความร้อน และความชื้นสัมพัทธ์

รูปที่ 20 การวางเครื่องบันทึกอุณหภูมิในหลายๆจุดที่ระดับความสูง 0.90 ม.แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 21 แสดงตำแหน่งติดตั้งเครื่องควบคุมอุณหภูมิห้อง (Room thermostat) ของเครื่องปรับอากาศ**

3.3.3 การหาอัตราการแผ่รังสีความร้อนที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่กำหนดที่ได้รับอิทธิพลจากสิ่งแวดล้อมโดยรอบโดยใช้โกลบ เทอร์โมมิเตอร์ (Globe Thermometer) วัดค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิจากการแผ่รังสีความร้อน Thermal Radiation ที่วัดได้จากสภาพแวดล้อมโดยรอบ หรือที่เรียกว่า (Mean radial temperature) (MRT) การวัดจะต้องใช้เวลาประมาณ 15-20 นาทีขึ้นไป เพื่อให้การถ่ายเทความร้อนที่ผิวของลูกทองแดงอยู่ในสภาวะสมดุล และเมื่อทำการบันทึกจนได้ตามที่ต้องการแล้วก็จะถ่ายข้อมูลออกจากเครื่องบันทึกเข้าสู่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ แล้วนำมาหาค่าระดับเฉลี่ยของอุณหภูมิเฉลี่ยการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งจากการทดลองที่ได้ ระดับของอุณหภูมิเฉลี่ยการแผ่รังสีมีค่าแตกต่างจากระดับอุณหภูมิภายในห้องน้อยมาก โดยค่าความแตกต่างอยู่ที่ประมาณ 0.38 ถึง 0.41 องศา และบางเวลาไม่มีความแตกต่างกันเลยคือมีระดับอุณหภูมิที่เท่ากัน ซึ่งค่าความแตกต่างในระดับนี้ความรู้สึกที่เกิดขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแทบไม่รู้สึกเลย ดังนั้นในการนำค่าการแผ่รังสีความร้อนไปใช้ในการคำนวณหรือหาค่าต่างๆ ในที่นี้จะใช้ค่าระดับอุณหภูมิห้องเป็นเกณฑ์

3.3.4 หาค่าอัตราการเผาผลานพลังงานในร่างกายจากลักษณะกิจกรรมที่เกิดขึ้น (Met) และอัตราการเป็นฉนวนของเครื่องนุ่งห่มของผู้ทำกิจกรรม (Clo) จะใช้ค่ามาตรฐานจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ASHRAE Standard 55-1992 : Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy ในตาราง Metabolic Rates for Typical Tasks ซึ่งค่าระดับอัตราการเผาผลานพลังงานสำหรับกิจกรรม การนั่งอ่านหรือเขียนหนังสือ เท่ากับ 1 Met หรือ 60 units W/$m^2$ และค่าอัตราการเป็นฉนวนของเครื่องนุ่งห่ม (Clo) จะเทียบจาก ASHRAE Standard 55-1992 เช่นเดียวกัน โดยแยกการคิดเป็นเครื่องนุ่งห่มของนักศึกษาชาย และนักศึกษาหญิง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเป็นค่ามีรายละเอียดการคำนวณดังนี้

นักศึกษาชาย : เสื้อเชิ้ตแขนสั้น+กางเกงขายาว+กางเกงใน+ถุงเท้า+รองเท้า

0.15+0.24+0.04+0.02+0.04 = 0.49 Clo

นักศึกษาหญิง : เสื้อเชิ้ตแขนสั้น+กระโปรง+ชับใน+ยกทรงและกางเกงใน+รองเท้า

0.15+0.23+0.16+0.04+0.02 = 0.60 Clo

ค่าเฉลี่ยอัตราการเป็นฉนวนของเครื่องนุ่งห่ม ชาย-หญิง = 0.545 Clo

3.3.5 ทำการวิเคราะห์ความสมดุลของอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อความรู้สึก หรือระดับสภาวะความสบายทางด้านอุณหภูมิ โดยใช้โปรแกรม Human Heat Balance ของ Dr. Richard de Dear โดยในการคำนวณจะต้องให้ค่าตัวแปรต่างๆสำหรับการคำนวณนี้ ซึ่งค่าตัวแปรได้แก่ ค่าอุณหภูมิในการทดลองได้แก่ 24, 25, 26, 27, 28 และ 29 องศาเซลเซียส, ค่าเฉลี่ยการแผ่รังสีความร้อนโดยรอบ ซึ่งจะใช้ค่าอุณหภูมิที่กำหนด เนื่องจากมีความแตกต่างกันน้อยมากตามรายละเอียด 3.3.3, ค่าความดันอากาศที่ระดับปกติคือ 1013 hPa, ค่าระดับความดันไอน้ำในอากาศ โปรแกรมจะคำนวณให้ว่าเป็นเท่าไรเมื่อป้อนค่าระดับความชื้นสัมพัทธ์และค่าตัวเลขจะแปรผันไปตามค่าระดับค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เปลี่ยนไป, ค่าความชื้นสัมพัทธ์ กำหนดให้ที่ 50 %RH., ค่าความเร็วลมตามที่ได้จากการวัดค่าความเร็วลมของพัดลมโคจรทั้ง 3 ระดับตามรายละเอียด 3.3.1 คือ 0.44, 0.54 และ 0.62 m/s, ค่านำหนักตัวของผู้ทดสอบใช้ค่าน้ำหนักเฉลี่ยของผู้รับการทดสอบ เท่ากับ 50 กิโลกรัม ค่าพื้นที่ผิวหนังใช้ค่าเฉลี่ยทั่วไปของคนรุ่นหนุ่มสาว (Adult)ชาวไทยคือ 1.5 ตารางเมตรซึ่งคำนวณตามสมการ Dubois surface area โดยค่าเฉลี่ยความสูงที่ 1.60 เมตร, ค่าความเป็นฉนวนของเครื่องแต่งกายใช้ค่าอัตราเฉลี่ยของผู้รับการทดสอบคือ 54.5 Clo ตามผลการคำนวณในรายละเอียด 3.3.4, อัตราการเผาผลานพลังงานใช้ตามกิจกรรมคือ นั่งฟังและเขียนหนังสือคือ 1 Met หรือ 60 units w/$m^2$, ค่าอัตราการทำงานภายนอกในส่วนนี้ไม่ได้เกิดขึ้นในกิจกรรม จึงให้ค่าเป็น 0 และสุดท้ายคือค่าระยะเวลาที่ทดสอบ คือใช้ช่วงเวลาเท่ากับการเรียน 1 คาบ หรือ60 นาที

ซึ่งเมื่อกำหนดค่าตัวแปรต่างๆเป็นที่เรียนร้อยแล้ว โปรแกรมจะคำนวณความสมดุลของอุณหภูมิที่เหมาะสมกับความรู้สึก และค่า PMV ที่เกิดขึ้น โดยผลที่แสดงออกมาจะให้ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Effective Temperature (ET), ค่า Standard Effective Temperature (SET), ค่า Discomfort (DISC) ที่เกิดขึ้น ค่าสภาวะทางอุณหภูมิที่รู้สึก หรือ Thermal Sensation (TSENS) ค่า เฉลี่ยความรู้สึกที่พึงพอใจ Predicted mean vote (PMV) ค่าเปอร์เซ็นต์การไม่ยอมรับต่อสภาพอากาศที่กำหนด และค่า Heat Stress Index (HIS) ที่เกิดขึ้น โดยจากการทดลองระดับอุณหภูมิ 6 ระดับ และความเร็วลม 3 ระดับ

3.3.6 การหาระดับความพึงพอใจต่อระดับอุณหภูมิและความเร็วลม ทำการทดลองโดยใช้ผู้รับการทดลองแล้วตอบแบบประเมินความรู้สึกที่เกิดขึ้น จากการเตรียมสถานที่โดยเปิดเครื่องปรับอากาศและพัดลมโคจรล่วงหน้าก่อนทำการทดลอง 30 นาทีเพื่อให้อุณหภูมิภายในห้องคงที่ตามระดับที่กำหนด จากนั้นให้ผู้รับการทดลองเข้าห้อง ใช้เวลาให้ร่างกายปรับตัวเข้ากับสภาวะแวดล้อมอุณหภูมิเป็นเวลาประมาณ 30 นาที โดยปรับอัตราอุณหภูมิตามกำหนดในแต่ละครั้ง ได้แก่ 24, 25, 26, 27, 28, และ 29 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงจะเริ่มการทดลอง โดยเปิดพัดลมที่ระดับความเร็ว 1, 2, 3 ตามลำดับในแต่ละช่วงอุณหภูมิ เป็นระยะเวลาช่วงระดับความเร็วละ 15 นาที ในการทดลองแต่ละชุด จะทำการทดลองครั้งละหนึ่งช่วงระดับองศา เมื่อเสร็จสิ้นในแต่ละช่วงความเร็วลมก็จะให้ผู้รับการทดลองตอบแบบประเมิน จากนั้นจึงจะทำการทดสอบช่วงระดับองศาอื่นๆในช่วงเวลาต่อๆไป โดยจะพิจารณาจากระดับอุณหภูมิภายนอก หรืออุณหภูมิสภาพแวดล้อมนอกห้องทดสอบที่มีระดับเดียวกันกับการทดลองครั้งก่อนเป็นเกณฑ์ รวมถึงระดับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศด้วย

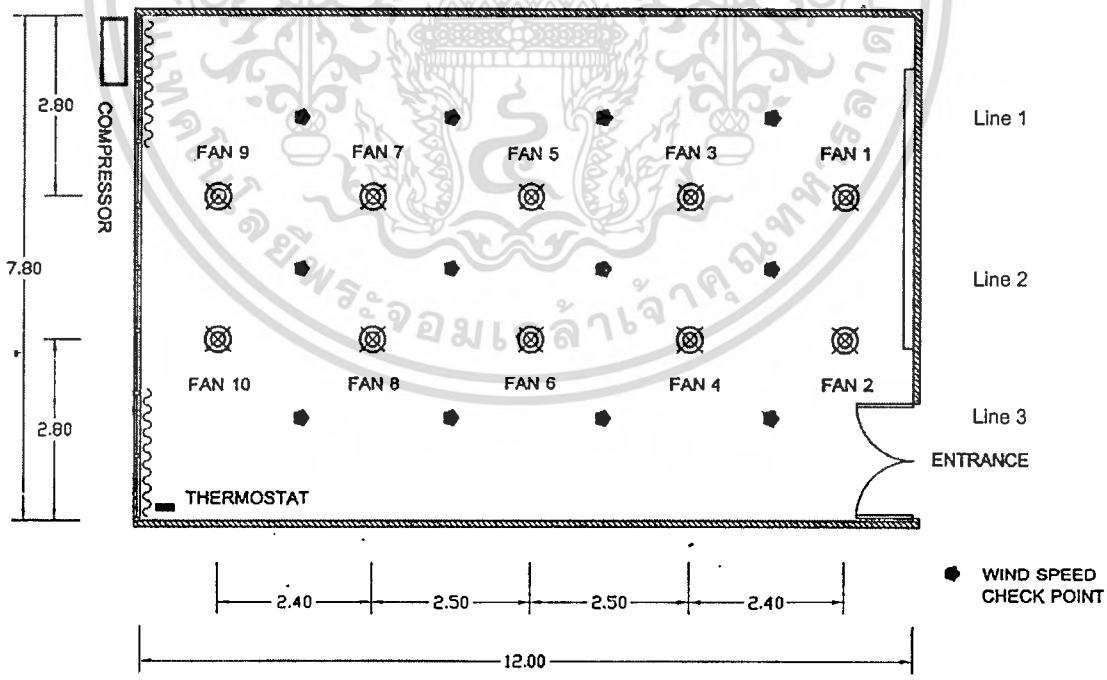
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# ผลการทดสอบ

ในการระดับความสบายจากการใช้พัดลมโคจรร่วมกับการเปิดเครื่องปรับอากาศ เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศ จำแนกการทดสอบออกเป็น 3 การทดสอบ คือ การหาอัตราเฉลี่ยความเร็วลมของพัดลมโคจร, การคำนวณจากทฤษฎีและสมการที่เกี่ยวเนื่องต่างๆ และการหาระดับความสมดุลทางด้านความรู้สึกจากการเปิดพัดลมร่วมกับการควบคุมระดับความเย็นของเครื่องปรับอากาศในอุณหภูมิระดับต่างๆ, และการเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของการเปิดเครื่องปรับอากาศร่วมกับพัดลมในช่วงคู่ทดสอบระดับต่างๆ

4.1 อัตราความเร็วลมเฉลี่ยที่เกิดขึ้น

อัตราเฉลี่ยความเร็วลมของพัดลมโคจร จากการกำหนดจุดวัดความเร็วลมและวัดความเร็วลมที่เกิดจาดพัดลมโคจรติดตั้งที่ผ้าเพดาน ในระดับความเร็วทั้ง 3 ระดับ คือ ระดับหมายเลข 1, 2, และ 3 ตามลำดับ โดยกำหนดให้ตำแหน่งหัววัดอยู่สูงจากพื้น 0.90 เมตร ตามรายละเอียดใน 3.3.1 ได้ค่าเฉลี่ยความเร็วลมดังนี้




รูปที่ 22 ผังแสดงตำแหน่งพัดลม และจุดวัดความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ระดับความเร็วพัดลม | ความเร็วลม (m/s) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | แถวที่ 1 ความเร็วเฉลี่ย | แถวที่ 2 ความเร็วเฉลี่ย | แถวที่ 3 ความเร็วเฉลี่ย | ความเร็วลมเฉลี่ยรวม (m/s) |
| 1 | 0.44 | 0.43 | 0.44 | 0.44 |
| 2 | 0.52 | 0.57 | 0.52 | 0.54 |
| 3 | 0.60 | 0.65 | 0.60 | 0.62 |

**ตารางที่ 10 แสดงความเร็วลมเฉลี่ยของแต่ละระดับความเร็วของพัดลมโคจร**

4.2 ระดับความรู้สึกที่มีต่อความเร็วลม

จากระดับความเร็วลมเฉลี่ยที่ได้คือ 0.44, 0.54 และ 0.62 ตามความเร็วของพัดลมในแต่ละระดับ เมื่อนำไปเทียบกับอัตราความรู้สึกอุณหภูมิลดลงในช่วงความเร็วลม 0.44 m/s จะรู้สึกลดลง 2-3 องศาฟาเรนไฮน์ ช่วง 0.54 m/s และ 0.62 จะรู้สึกเย็นลง 4-5 องศาฟาเรนไฮน์ และเป็นช่วงที่มีผลรู้สึกสบายตามอัตราเปรียบเทียบของ Stein,Reynold ตามตารางที่ 5 เปรียบเทียบความเร็วลมภายในอาคารกับสภาวะความน่าสบาย (Stein,Reynold : 1999) และเมื่อนำมาคำนวน ตามสมการของ Olgyay [5] (Olgyay,1973) จากการที่ถ้าความเร็วลมสูงขึ้นร่างกายก็จะระบายความร้อนจากผิวกายเย็นขึ้น จึงทำให้รู้สึกเย็นลง ผลจากการคำนวณจะได้ความรู้สึกเย็นลงที่ความเร็วลม 0.44 m/s จะรู้สึกเย็นลง 0.78 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลม 0.54 m/s จะรู้สึกเย็นลง 0.86 องศาเซลเซียส และที่ความเร็วลม 0.62 m/s จะรู้สึกเย็นลง 0.90 องศาเซลเซียส จากการคำนวณตามสมการที่[5] นี้เป็นเพียงเฉพาะค่าที่ได้จากอัตราความเร็วลมที่พัดผ่านผิวกายที่มีการคำนวณเฉพาะค่าความเร็วลมกับอัตราความชื้นสัมพัทธ์เท่านั้นไม่มีค่าของอุณหภูมิมาคำนวณร่วม โดยในที่นี้กำหนดให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 50% แต่ถ้ากระแสลมที่พัดผ่านผิวกายนั้นมีความเย็นมาด้วย ก็จะทำให้รู้สึกเย็นลงอีก

| ความเร็วลม | ความชื้นสัมพัทธ์ | ความรู้สึกเย็นลง |
|---|---|---|
| 0.44 m/s | 50 % | 0.78 °C |
| 0.54 m/s | 50 % | 0.86 °C |
| 0.62 m/s | 50 % | 0.92 °C |

**ตารางที่ 11 แสดงระดับความรู้สึกเย็นลงเมื่อมีกระแสลมพัดผ่าน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การหาระดับสภาวะความสบาย

จากการหาค่าความเร็วลมที่เกิดขึ้นในระดับต่างๆ และค่ากำหนดระดับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ตลอดจนทราบค่าตัวแปรต่างๆ ตาม 3.2.6 ก็จะนำมาคำนวณหาดัชนีทำนายมติเฉลี่ย (Predicted mean vote หรือ PMV.) ที่เกิดขึ้นกับความรู้สึกโดยเทียบอ้างอิงจากระดับสภาวะความสบายเชิงความร้อนจาก ASHRAE (ASHRAE,1993) โดยในที่นี้จะใช้การคำนวนจากโปรแกรมคำนวณค่า PMV. หรือ Human heat balance ของ Dr.Richard de Dear ซึ่งแบ่งตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณออกเป็น 2 ประเภท คือ ค่าตัวแปรที่ปรับเปลี่ยนในการคำนวณแต่ละครั้ง ได้แก่ ค่าระดับอุณหภูมิที่กำหนด ค่าระดับอุณหภูมิเฉลี่ยการแผ่รังสีความร้อน ค่าความเร็วลม ส่วนค่าตัวแปรอีกชุดได้แก่ตัวแปรที่กำหนดค่าตายตัวสำหรับการทดลองและคำนวนนี้คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ความดันบรรยากาศ ระดับปริมาณไอน้ำในอากาศ (ซึ่งแปรผันตามค่าความชื้นสัมพัทธ์) น้ำหนักของผู้ทดสอบ ค่าเฉลี่ยพื้นที่ผิวหนังของผู้ทดสอบ ค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าที่สวมใส่ของผู้ทดสอบ อัตราการเผาผลานพลังงานตามกิจกรรมที่ผู้ทดสอบกระทำ และระยะเวลาที่ทำการทดสอบ ตามรายละเอียดใน 3.3.5

จากการคำนวณและวิเคราะห์ของโปรแกรม ซึ่งอิงสมการที่ [6] ได้ผลออกมาดังนี้

| ค่ากำหนด | | ผลการวิเคราะห์ | | |
|---|---|---|---|---|
| อุณหภูมิ $^{o}C$ | ความเร็วลม m/s | Discomfort | Thermal sensation | PMV |
| 24 | 0.44 | Comfortable | Neutral | Slightly Cool |
| | 0.54 | Comfortable | Neutral | Cool |
| | 0.62 | Comfortable | Neutral | Cool |
| 25 | 0.44 | Comfortable | Neutral | Slightly Cool |
| | 0.54 | Comfortable | Neutral | Slightly Cool |
| | 0.62 | Comfortable | Neutral | Slightly Cool |
| 26 | 0.44 | Comfortable | Neutral | Slightly Cool |
| | 0.54 | Comfortable | Neutral | Slightly Cool |
| | 0.62 | Comfortable | Neutral | Slightly Cool |
| 27 | 0.44 | Comfortable | Neutral | Neutral |
| | 0.54 | Comfortable | Neutral | Neutral |
| | 0.62 | Comfortable | Neutral | Neutral |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 28 | 0.44 | Comfortable | Neutral | Neutral |
| | 0.54 | Comfortable | Neutral | Neutral |
| | 0.62 | Comfortable | Neutral | Neutral |
| 29 | 0.44 | Slightly Uncomfortable | Slightly Warm | Slightly Warm |
| | 0.54 | Slightly Uncomfortable | Slightly Warm | Slightly Cool |
| | 0.62 | Slightly Uncomfortable | Slightly Warm | Slightly Warm |

**ตารางที่ 12 แสดงผลการวิเคราะห์ค่า PMV จากโปรแกรม Human heat balance**

จากการวิเคราะห์ออกมาจะเห็นว่าช่วงระดับที่เหมาะสมสำหรับการเปิดเครื่องปรับอากาศควบคู่กับระดับความเร็วลม จะอยู่ที่ระดับอุณหภูมิ 27-28 °C และความเร็วลมระหว่าง 0.44-0.62 m/s คือความเร็วลมของพัดลมทั้ง 3 ระดับ

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้เทียบการทดลองกับโปรแกรมหาค่า Human heat balance หรือค่า Thermal Comfort อื่นๆที่อิงมาตรฐานของ ASHRAE (ASHRAE,1993) และ ISO 7730 เช่น โปรแกรม Psychtool ของ Square One research, Walsh school of Architecture, Cardiff University, Wales, United Kingdom (http://squ1.com)(29 Sept 2003) และ โปรแกรม ASHRAE Thermal Comfort Tool ของ ASHRAE โดยใช้ค่าตัวแปรเดียวกัน ก็ได้ผลการวิเคราะห์ ที่ระดับเดียวกัน

4.4 การประเมินผลที่ได้จากความรู้สึกด้วยการทดสอบ

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการประเมิณผลเชิงสถิติของระดับความรู้สึกที่เกิดขึ้นโดยการใช้การให้คะแนนความรู้สึกความพึงพอใจ โดยใช้ค่าคะแนนและระดับความรู้สึกตามมาตรา เบดฟอร์ด (Bed Ford scale) โดยแบ่งระดับคะแนนออกเป็น 7 ระดับ ตามตาราง โดยเทียบกับมาตรฐานของ ASHRAE (ASHRAE,1993)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

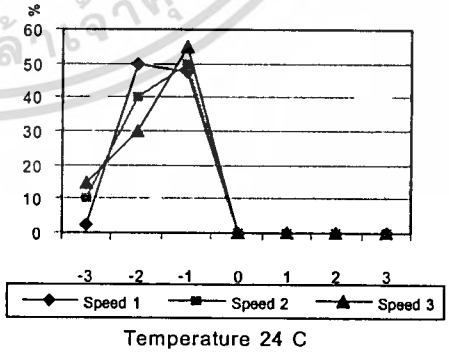
| ระดับคะแนน | ASHRAE Scale | Bed Ford Scale |
|---|---|---|
| + 3 | ร้อน | ร้อนเกินไป |
| + 2 | อุ่น | อุ่นมาก |
| + 1 | อุ่นเล็กน้อย | อุ่นอย่างสบายๆ |
| 0 | สบาย,ปกติ | สบาย,ปกติ |
| - 1 | เย็นเล็กน้อย | เย็นอย่างสบายๆ |
| - 2 | เย็น | เย็นมาก |
| - 3 | หนาว | เย็นจัดหรือหนาว |

(Thermal Comfort : V.Szokolay, 1997)

**ตารางที่ 13 ระดับคะแนนความรู้สึกให้ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ**

ซึ่งจากการทดสอบโดยตั้งอุณหภูมิตามกำหนด แล้วเปิดพัดลมในอัตราความเร็วแต่ละระดับ โดยค่าระดับอุณหภูมิภายนอกห้องทดสอบระหว่าง 34-35 °C และระดับความชื้นสัมพัทธ์ที่ 50-60% จำนวนผู้ทดสอบ 40 คน เป็นนักศึกษาช่วงอายุ19-21 ปี ชายหญิงคละกัน 70-30 % จากการทดสอบได้ผลการแสดงความรู้สึกออกมาในช่วงความรู้สึกสบาย,ปกติ และเย็นสบาย อยู่ในช่วงระดับอุณหภูมิ 27 °C ในช่วงระดับความเร็วลม 3 ระดับคือ 0.44, 0.54, 0.62 หรือระดับพัดลมที่ 1, 2, 3 ส่วนระดับอุณหภูมิที่ต่ำกว่านี้ผู้รับการทดลองให้คะแนน –1, -2, -3 คือจะรู้สึกเย็นมาก และเย็นจัดหรือหนาว โดยระดับตัวเลขค่อยๆลงต่ำคือรู้สึกหนาวเย็นขึ้นตามค่าอุณหภูมิที่ลดลง ส่วนระดับอุณหภูมิที่สูงกว่า 27 °C ผู้รับการทดลองให้คะแนนความรู้สึกในช่วง +1, +2, +3 คือรู้สึกอุ่นอย่างสบายๆ, อุ่นมาก, และร้อนเกินไป โดยเฉพาะในช่วงอุณหภูมิ 29 °C ไม่ว่าระดับความเร็วลมจะเท่าไรใน 3 ระดับก็รู้สึกไปทางร้อน

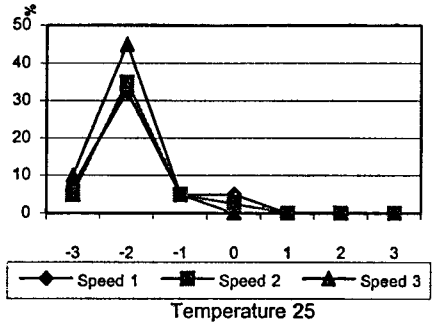
| PMV.Scale | -3 | -2 | -1 | 0 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Temp 24 C | | | | | | | |
| Speed 1 | 1 | 20 | 19 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Speed 2 | 4 | 16 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Speed 3 | 15 | 12 | 22 | 0 | 0 | 0 | 0 |




**ตารางที่ 14 แสดงระดับคะแนนความรู้สึกที่ระดับอุณหภูมิ 24°C กับความเร็วลม 3 ระดับ**

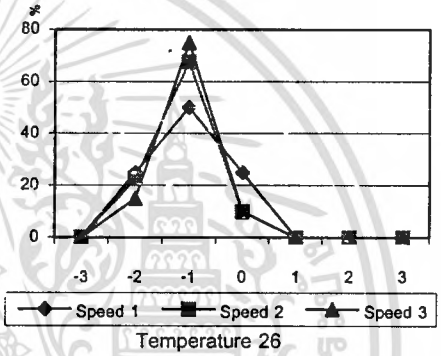
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| PMV.Scale | -3 | -2 | -1 | 0 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Temp 25 C | | | | | | | |
| Speed 1 | | | 2 | 2 | 0 | | |
| Speed 2 | | | 2 | 1 | 0 | | |
| Speed 3 | | | 2 | 0 | 0 | | |



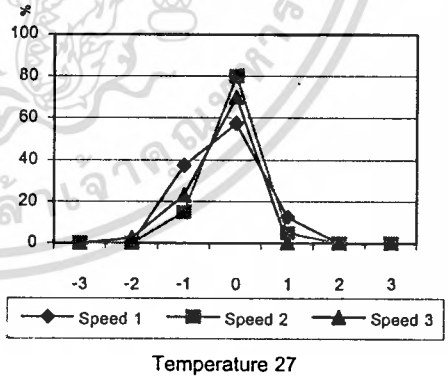

ตารางที่ 15 แสดงระดับคะแนนความรู้สึกที่ระดับอุณหภูมิ 25°C กับความเร็วลม 3 ระดับ

| PMV.Scale | -3 | -2 | -1 | 0 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Temp 26 C | | | | | | | |
| Speed 1 | | 10 | 20 | 10 | 0 | | |
| Speed 2 | | 9 | 27 | 4 | 0 | | |
| Speed 3 | | 6 | 30 | 4 | 0 | | |




ตารางที่ 16 แสดงระดับคะแนนความรู้สึกที่ระดับอุณหภูมิ 26°C กับความเร็วลม 3 ระดับ

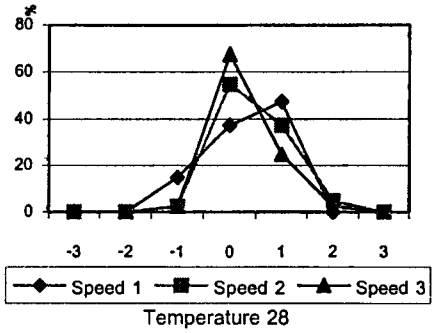
| PMV.Scale | -3 | -2 | -1 | 0 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Temp 27 C | | | | | | | |
| Speed 1 | | 0 | 15 | 20 | 5 | | |
| Speed 2 | | 0 | 6 | 32 | 2 | | |
| Speed 3 | | 1 | 9 | 28 | 0 | | |




ตารางที่ 17 แสดงระดับคะแนนความรู้สึกที่ระดับอุณหภูมิ 27°C กับความเร็วลม 3 ระดับ

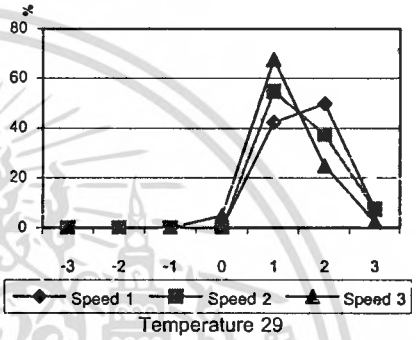
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| PMV.Scale | -3 | -2 | -1 | 0 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Temp 28 C | | | | | | | |
| Speed 1 | | | 6 | 15 | 19 | | |
| Speed 2 | | | 1 | 22 | 15 | | |
| Speed 3 | | | 1 | 27 | 10 | | |




**ตารางที่ 18 แสดงระดับคะแนนความรู้สึกที่ระดับอุณหภูมิ 28°C กับความเร็วลม 3 ระดับ**

| PMV.Scale | -3 | -2 | -1 | 0 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Temp 29 C | | | | | | | |
| Speed 1 | | | 0 | 0 | 17 | | |
| Speed 2 | | | 0 | 0 | 22 | | |
| Speed 3 | | | 0 | 2 | 27 | | |




**ตารางที่ 19 แสดงระดับคะแนนความรู้สึกที่ระดับอุณหภูมิ 29°C กับความเร็วลม 3 ระดับ**

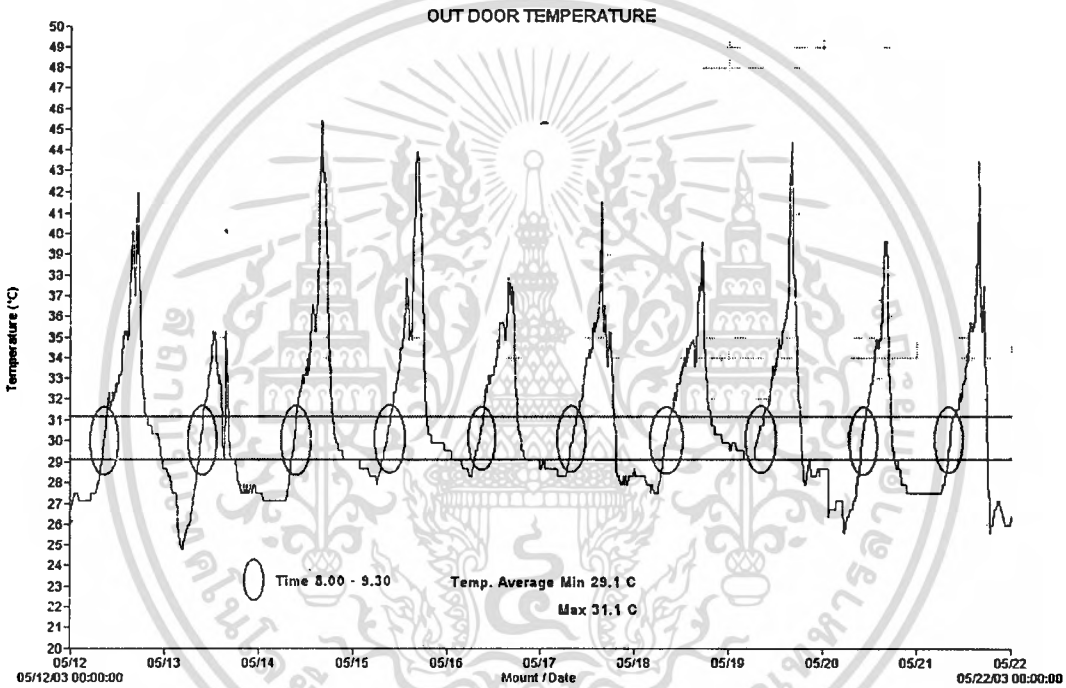
เมื่อนำค่าความรู้สึกที่ได้จากการให้ระดับคะแนน ไปเปรียบเทียบกับผลคำนวณที่ได้จากโปรแกรม Human heat balance ตาม 3.2.6 และ 4.3 ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้ค่าอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน

4.5 การใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศและพัดลมโคจร

จากการวัดภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์ในแต่ละช่วงระดับอุณหภูมิและอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ(คอมเพรสเซอร์และแฟนคอยล์) และพัดลมโคจร โดยการจับช่วงเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ในระยะเวลา 1.5 ชั่วโมง จากการใช้ HOBO State data logger ตาม 3.2.5 ซึ่งในการจับเวลานี้จะเปิดเครื่องปรับอากาศก่อน และคอยสังเกตจนกระทั่งอุณหภูมิที่วัดในห้องทดลองอยู่ในตำแหน่งอุณหภูมิที่ต้องการ รอจนกระทั่งคอมเพรสเซอร์หยุดการทำงานและเริ่มเดินเครื่องใหม่ เริ่มการวัดระยะเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์เป็นระยะเวลา 1.5 ชั่วโมง จะทำการทดลองอย่างนี้ทุกระดับอุณหภูมิที่ต้องการ คือ 24, 25, 26, 27, 28, 29 องศาเซลเซียส สำหรับการหาค่าการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศนี้ จะเป็นการศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานในแต่ละระดับอุณหภูมิเท่านั้น ว่าใช้พลังงานแตกต่างกันอย่างไร ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองในช่วงเวลาและสภาพแวดล้อมเดียวกันในแต่ละระดับอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงต้องทำการทดลองวันละหนึ่งระดับอุณหภูมิ โดยเลือกช่วงเวลาระหว่าง 8.00 น. ถึง 9.30 น. และที่เลือกช่วงเวลานี้ก็จากการสังเกตุช่วงระดับอุณหภูมิภายนอกที่ทำการบันทึกในแต่ละวัน จะเป็นช่วงเวลาที่มีลักษณะระดับอุณหภูมิและการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งจากการบันทึกในระยะเวลา 10 วัน และเลือกช่วงเวลาออกมาตามกำหนดจะพบว่าในช่วงเวลา 8.00 น. ระดับอุณหภูมิจะอยู่ในระดับเฉลี่ยที่เท่ากัน คืออยู่ในระดับประมาณ 29 องศาเซลเซียส และเมื่อถึงเวลา 9.30 น. ระดับอุณหภูมิจะสูงขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณ 2 องศา ดังนั้นจึงกำหนดให้ช่วงเวลาระหว่าง 8.00 น. ถึง 9.30 น. เป็นช่วงเวลาที่ทดลองและเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศในแต่ละระดับอุณหภูมิที่กำหนด




รูปที่ 23 กราฟแสดงระดับอุณหภูมิภายนอกเพื่อหาช่วงเวลา และอุณหภูมิที่คงที่

เมื่อได้ช่วงระยะเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ของแต่ละระดับอุณหภูมิแล้ว จึงนำมาคำนวณหาอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยจะนับระยะเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ในเวลา 1 ชั่วโมงคอมเพรสเซอร์ทำงานกี่นาทีตาม 2.5 ใน สมการ [11]

$$\text{จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้} = (\text{จำนวนวัตต์} \times \text{จำนวนชั่วโมงที่ใช้}) / 1000 \qquad [11]$$

จากการบันทึกระยะเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ในเวลา 1.5 ชั่วโมงในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ได้ระยะเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ตามระดับอุณหภูมิดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ระดับอุณหภูมิ ( C ° ) | ระยะเวลา ภายใน 1.5 ชั่วโมง |
|---|---|
| 24 | 58 นาที |
| 25 | 48 นาที |
| 26 | 40 นาที |
| 27 | 35 นาที |
| 28 | 32 นาที |
| 29 | 28 นาที |

**ตารางที่ 20 แสดงระยะเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์และพัดลมระบายความร้อน ในช่วงเวลา 1.5 ชั่วโมง**

และเมื่อนำไปคำนวณหาค่าหน่วยไฟฟ้า ตามสมการ [10] ที่ใช้สำหรับเครื่องปรับอากาศที่มีคอมเพรสเซชร์ขนาด 4,528 วัตต์ พัดลมระบายความร้อนคอมเพรสเซอร์ 156.75 วัตต์ ที่เดินเครื่องตามเวลาตามตารางที่ 19 และพัดลมแฟนคอยล์ที่เดินเต็มเวลา 1.5 ชั่วโมง ขนาด 156.75 วัตต์ ในแต่ละระดับอุณหภูมิจะได้จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ไปดังนี้

| ระดับอุณหภูมิ ( C ° ) | จำนวนหน่วยไฟฟ้า (Unit) |
|---|---|
| 24 | 5.07 |
| 25 | 3.98 |
| 26 | 3.38 |
| 27 | 2.96 |
| 28 | 2.72 |
| 29 | 2.44 |

**ตารางที่ 21 แสดงจำนวนหน่วยการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลา 1.5 ชั่วโมง ของแต่ละระดับอุณหภูมิ**

ส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของพัดลมโคจรจะใช้ปริมาณกำลังไฟฟ้าระยะทำงานเต็มเวลา 1.5 ชั่วโมง โดยกำลังไฟฟ้าของพัดลมโคจรจะใช้ที่ระดับความเร็วลมระดับ 3 คือ 57 วัตต์ (กำลังไฟฟ้าที่ความเร็วพัดลมสูงสุด) ของพัดลมหนึ่งตัว ในการทดลองเปิดพัดลมจำนวน 6 ตัวก็จะใช้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 342 วัตต์ และเมื่อนำไปรวมกับจำนวนหน่วยไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่ทำงานในระยะเวลา 1.5 ชั่วโมงจะได้เท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ระดับอุณหภูมิ ( C ° ) | จำนวนหน่วยไฟฟ้าทั้งหมด (Unit) ใน ระยะเวลา 1.5 ชั่วโมง พัดลม 6 ตัว |
|---|---|
| 24 | 5.58 |
| 25 | 4.40 |
| 26 | 3.89 |
| 27 | 3.47 |
| 28 | 3.23 |
| 29 | 2.95 |

**ตารางที่ 22 แสดงจำนวนหน่วยการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศและพัดลมเพดาน จำนวน 6 ตัว ในช่วงระยะเวลา 1.5 ชั่วโมง ของแต่ละระดับอุณหภูมิ**

| ระดับอุณหภูมิ ( C ° ) | จำนวนหน่วยไฟฟ้าทั้งหมด (Unit)ของเครื่องปรับอากาศและพัดลมเพดานใน ระยะเวลา 1.5 ชั่วโมง | | |
|---|---|---|---|
| | พัดลม 1 ตัว | พัดลม 2 ตัว | พัดลม 4 ตัว |
| 24 | 5.16 | 5.24 | 5.41 |
| 25 | 3.98 | 4.05 | 4.23 |
| 26 | 3.47 | 3.55 | 3.72 |
| 27 | 3.05 | 3.13 | 3.30 |
| 28 | 2.81 | 2.89 | 3.06 |
| 29 | 2.53 | 2.61 | 2.78 |

**ตารางที่ 23 แสดงจำนวนหน่วยการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศและพัดลมเพดาน ในช่วงระยะเวลา 1.5 ชั่วโมง ของแต่ละระดับอุณหภูมิ**

เมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้า ระหว่างการเปิดแต่เพียงเครื่องปรับอากาศอย่างเดียวที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ตามคำแนะนำของรัฐบาล กับการเปิดเครื่องพร้อมกับพัดลมโคจรที่ตั้งระดับอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส จะประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง 12.88 เปอร์เซ็นต์ และถ้าตั้งระดับอุณหภูมิที่ 28 องศาเซลเซียส ก็จะประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง 18.84 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# สรุปผล และเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ระดับความเร็วลมที่ได้จากการทดสอบและประเมินผลความพึงพอใจ จากผู้รับการทดสอบในห้องเรียนที่มีสภาพแวดล้อมที่ปิด และเปิดเครื่องปรับอากาศพร้อมกับพัดลมโคจรติดเพดานจำนวน 6 ตัว ตลอดจนจากการคำนวณจากสูตรหาระดับสภาวะความสบายเชิงความร้อน ได้ผลและตัวเลขที่สอดคล้องกันคือ ระดับอุณหภูมิที่มีกระแสลมพัดผ่านที่ระดับอุณหภูมิ 27-28 องศาเซลเซียส ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์ และความเร็วลมเฉลี่ยระหว่าง 0.44 - 0.62 เมตรต่อวินาที หรือความเร็วลมเฉลี่ยของพัดลมโคจรติดเพดานทั้ง 3 ระดับ เป็นระดับความสบายเชิงความร้อนที่รู้สึกสบายสำหรับกิจกรรมการนั่งเรียนหรือฟังบรรยายในห้องปรับอากาศ

ระดับอุณหภูมิที่ได้นี้เมื่อเทียบกับระดับอุณหภูมิสภาวะความสบายของ ASHRAE (รูปที่ 1) จะได้ค่าที่สูงกว่าจากที่กำหนดไว้คือระหว่าง 21.1 – 26.7 องศาเซลเซียส และได้ค่าความเร็วลมที่ต่ำกว่าการทดลองของ Tanabe S. และ Kimura K. (Tanabe S. and Kimura K., 1987) ที่ทำการทดลองกับชาวญี่ปุ่น เพื่อหาระดับความรู้สึกต่อสภาวะสบายเชิงความร้อนของคนญี่ปุ่นที่อยู่ในเขตอากาศร้อนชื้น ซึ่งได้ระดับที่รู้สึกสบายที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์ และความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์ และความเร็วลม 1.2 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 80 เปอร์เซ็นต์ และความเร็วลม 1.4 เมตรต่อวินาที

ทั้งนี้ด้วยเหตุที่ได้ค่าอุณหภูมิที่สูงกว่า ก็เนื่องจากมีการนำพัดลมเข้ามาช่วยในการหมุนเวียนกระแสอากาศให้มีความเร็วลมสูงขึ้นและเป็นลมที่เย็น โดยเมื่อลมแรงขึ้นอัตราการละเหยของเหงื่อและการระบายความร้อนออกจากร่างกายโดยการพาความร้อน(Thermal Convection) จะสูงขึ้น และจากตัวแปรทางด้านความเคยชินต่อสภาพอากาศของผู้รับการทดสอบ ซึ่งอยู่ในประเทศไทยที่เป็นเขตอากาศร้อนชื้น มีสภาพอุณหภูมิเฉลี่ยที่อยู่นอกระดับช่วงความสบายของ ASHRAE (ดูรูปที่ 2) ซึ่งอยู่สูงกว่าความเคยชินของชาวตะวันตกที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าประเทศไทย และสูงกว่าประเทศญี่ปุ่น

และทางด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศและพัดลมโคจรติดเพดาน จำนวน 6 ตัวในห้องทดลองที่ใช้เวลาช่วงการทดลอง 1.5 ชั่วโมง (90 นาที) จะเห็นได้ว่าปริมาณของการใช้ไฟฟ้าของการเปิดเครื่องปรับอากาศและพัดลมที่ระดับอุณหภูมิ 27 – 28 องศาเซลเซียสนั้น ใช้พลังงานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อยกว่าการเปิดเครื่องปรับอากาศเพียงอย่างเดียวที่ตั้งระดับอุณหภูมิ 24 – 25 องศาเซลเซียส โดยการเปิดเครื่องปรับอากาศและพัดลมที่ตั้งระดับอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส จะใช้ปริมาณไฟฟ้า 3.47 หน่วย ต่อระยะเวลา 1.5 ชั่วโมง (90 นาที) และที่ตั้งระดับอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส จะใช้ปริมาณไฟฟ้า 3.23 หน่วย ต่อระยะเวลา 1.5 ชั่วโมง (90 นาที) ซึ่งถ้าเปิดแต่เครื่องปรับอากาศเพียงอย่างเดียวตั้งระดับอุณหภูมิที่ 26 องศาเซลเซียส ซึ่งจากการศึกษาและสำรวจของ นุภาพ แย้มไตรพัฒน์ (Yamtripat N.; 2003) เป็นระดับอุณหภูมิที่รู้สึกสบายและพึงพอใจเฉลี่ยสูงสุดของคนไทย จะใช้ปริมาณไฟฟ้า 3.38 หน่วย ต่อระยะเวลา 1.5 ชั่วโมง (90 นาที) หรือถ้าตั้งค่าระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ตามที่รัฐบาลแนะนำว่าเป็นระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมและประหยัดพลังงาน ก็จะใช้ปริมาณไฟฟ้า 3.89 หน่วย ต่อระยะเวลา 1.5 ชั่วโมง (90 นาที) แต่จากการสังเกตของผู้ทำวิจัยเห็นว่ามักจะตั้งระดับอุณหภูมิ ที่ 24 องศาเซลเซียสกันโดยทั่วไป ก็จะใช้ปริมาณไฟฟ้า 5.07 หน่วย ต่อระยะเวลา 1.5 ชั่วโมง (90 นาที) ซึ่งถ้าตั้งระดับอุณหภูมิ ที่ต่ำกว่านั้นก็จะใช้ปริมาณไฟฟ้าที่มากขึ้นตามกันไป

เมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้า ระหว่างการเปิดแต่เพียงเครื่องปรับอากาศอย่างเดียวที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ตามคำแนะนำของรัฐบาล กับการเปิดเครื่องพร้อมกับพัดลมโคจรที่ตั้งระดับอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส จะประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง 12.88 เปอร์เซ็นต์ และถ้าตั้งระดับอุณหภูมิที่ 28 องศาเซลเซียส ก็จะประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง 18.84 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าเทียบกับทั่วไปที่ตั้งระดับอุณหภูมิกันที่ 24 องศาเซลเซียส ก็จะประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงเป็นอย่างมาก

แต่ถ้าตั้งอุณหภูมิตามผลการทดลองที่ 27 – 28 องศาเซลเซียสนั้น และเปิดเปิดพัดลมช่วยจำนวนน้อยตัวลง อาจจะ 2 หรือ 4 ตัว ก็จะประหยัดการใช้ปริมาณไฟฟ้าก็จะลดลงไปอีกเช่นกัน

5.2 เสนอแนะ

จากค่าการใช้ปริมาณไฟฟ้าและระดับอุณหภูมิที่ได้จากการทดลอง เห็นว่าสามารถที่จะนำไปใช้ได้ไม่เพียงแต่เป็นห้องเรียนหรือห้องบรรยายเท่านั้น สามารถที่จะนำไปใช้ได้ในหลายๆพื้นที่ แต่จะได้ตัวเลขตามการทดลองหรือไม่นั้นก็ขึ้นอยู่กับ สภาพแวดล้อมของห้องนั้นๆ ลักษณะของกิจกรรมที่กระทำหรือเกิดขึ้นในห้องนั้นๆ รวมถึงจำนวนและสภาวะทางร่างกายและกายภาพของผู้ใช้ ตลอดจนคุณภาพ,ขนาด และสภาพของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ แต่อย่างไรจากการทดลองก็แสดงให้เห็นแล้วว่าสามารถสร้างสภาวะความสบายที่ยอมรับกันได้ และช่วยประหยัดพลังงาน จึงเหมาะสมที่จะนำหลักการดังกล่าวไปใช้กับห้องบรรยายที่ติดและเปิดเครื่องปรับอากาศตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม


กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. 2542. **คุณจะต้องจ่ายค่าไฟฟ้าเดือนละเท่าไร.** กรุงเทพฯ : สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม.

สุนทร บุญญาธิการ. 2542. **เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineering. 1989. ASHRAE Handbook of Fundamental. Atlanta Georgia.

Auliciems, A., Szokolay, S.V. 1997.Thermal comfort ; PLEA Note3, Int'l/UQ Arch Dept, Brisbane

Bearg, David W. 1993. Indoor Air Quality and HVAC System. Boca Raton : Lewis.

Etheridge, David. 1996. Building Ventilation Theory and Measurement. Chi Chester : John Wiley & Scns.

Fisk D.J. 1981. Thermal Control of Building. London : Applied Science.

Givoni, Baruch. 1976. Man Climate & Architecture. New York : Van Nostrand Reinhold.

Heerwagen, Dean. VITALSIGNS : Observing Air Flow in Buildings. Washington : University of Washington.

Khedari, J., Yamtraipat, N., Pratintong, N., Hirunlabh, J. 2000. Thailand ventilation comfort chart. Energy and Buildings 32, 3 (September).

Lechner, Norbert. 1991. Heating, Cooling, Lighting: Design Methods for Architects, New York : John Wiley & Sons.

Martin, Evans. 1980. Housing, climate and comfort. London : Architectural Press.

McQuiston, Faye C. 2000. Heating, Ventilation, and Air Conditioning Analysis and Design. New York : John Wiley & Sons.

Moore, Fuller. 1993. Environmental Control System : heating Cooling Lighting, New York : McGraw-Hill. Inc.

Olgyay, V.1961. Design With Climate : Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. New York : Printon University Press.


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tanabe, S., Kimura,K. 1987. Thermal Comfort Requirements under Hot and Humid Condition. ASHRAE Far East Conference on Air Conditioning in Hot Climates (September)

Yamtripat, N. 2003. Thailand thermal comfort standards of air-conditioned building, Proceedings of Sustainable Energy and Green Architecture. BSRC. King Moungkut's University of Technology Thonburi.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

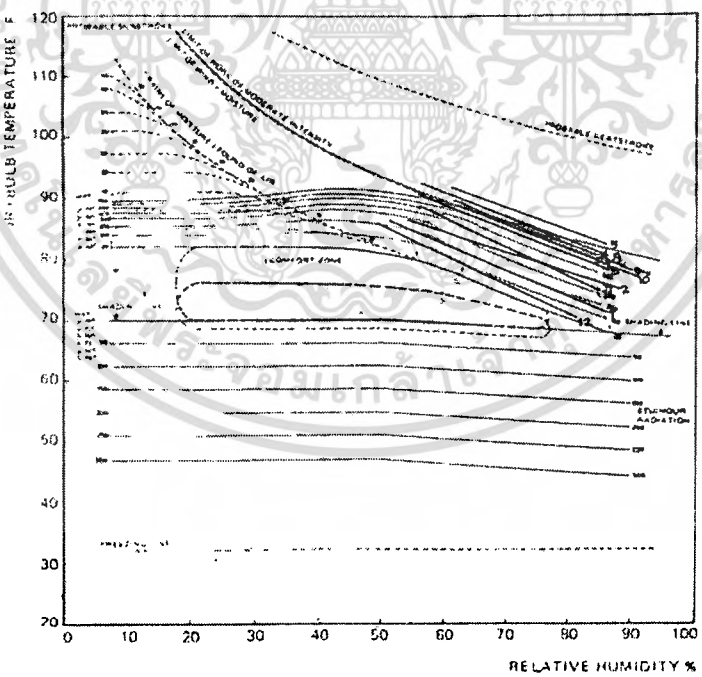
# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| เดือน | 7.00 น. | | 13.00 น. | |
|---|---|---|---|---|
| | อุณหภูมิ °C | ความชื้นสัมพัทธ์ | อุณหภูมิ °C | ความชื้นสัมพัทธ์ |
| มกราคม | 21.7 | 85 | 32.2 | 52 |
| กุมภาพันธ์ | 23.7 | 87 | 32.9 | 55 |
| มีนาคม | 25.4 | 86 | 34.0 | 56 |
| เมษายน | 26.4 | 85 | 35.1 | 57 |
| พฤษภาคม | 25.9 | 86 | 34.4 | 61 |
| มิถุนายน | 25.8 | 84 | 33.4 | 62 |
| กรกฎาคม | 25.3 | 84 | 33.0 | 61 |
| สิงหาคม | 25.2 | 85 | 32.7 | 63 |
| กันยายน | 24.8 | 90 | 32.6 | 65 |
| ตุลาคม | 24.5 | 90 | 32.3 | 65 |
| พฤศจิกายน | 23.3 | 84 | 31.9 | 56 |
| ธันวาคม | 21.1 | 81 | 31.4 | 52 |

(อุตุนิยมวิทยา, 2544)

**ข้อมูลสะสมระดับเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ กรุงเทพมหานคร**
**ค่าเฉลี่ย 30 ปี (พ.ศ.2514 – 2543)**




**แผนภูมิไบโอไคลเมติก (Bioclimatic Chart) แสดงสภาวะอากาศของกรุงเทพ**
**ไม่ได้อยู่ในเขตสภาวะความสบาย**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wind speed Location

Fan Speed No.1 Average = 0.44 m/s

| | | |
|---|---|---|
| P1 0.33 | P2 0.42 | P3 0.34 |
| P4 0.54 | P5 0.43 | P6 0.52 |
| P7 0.58 | P8 0.43 | P9 0.57 |
| P10 0.32 | P11 0.44 | P12 0.33 |

Fan Speed No.2 Average = 0.54 m/s

| | | |
|---|---|---|
| P1 0.44 | P2 0.52 | P3 0.46 |
| P4 0.58 | P5 0.62 | P6 0.60 |
| P7 0.61 | P8 0.59 | P9 0.55 |
| P10 0.43 | P11 0.55 | P12 0.45 |

Fan Speed No.3 Average = 0.62 m/s

| | | |
|---|---|---|
| P1 0.53 | P2 0.56 | P3 0.55 |
| P4 0.64 | P5 0.68 | P6 0.72 |
| P7 0.69 | P8 0.76 | P9 0.60 |
| P10 0.55 | P11 0.60 | P12 0.54 |

ค่าความเร็วลมเฉลี่ย วัดทุก 2 วินาที
จำนวนจุดละ 100 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Metabolic Rates for Typical Tasks

| Activity | Metabolic Rate met units | $W/m_2$ | $(BTU/h \cdot ft_2)$ |
|---|---|---|---|
| **Resting** | | | |
| Sleeping | 0.7 | 40 | (13) |
| Reclining | 0.8 | 45 | (15) |
| Seated, quiet | 1.0 | 60 | (18) |
| Standing, relaxed | 1.2 | 70 | (22) |
| **Walking (on level surface)** | | | |
| 0.9 m/s, 3.2 km/h, 2.0 mph | 2.0 | 115 | (37) |
| 1.2 m/s, 4.3 km/h, 2.7 mph | 2.6 | 150 | (48) |
| 1.8 m/s, 6.8 km/h, 4.2 mph | 3.8 | 220 | (70) |
| **Office Activities** | | | |
| Seated, reading or writing | 1.0 | 60 | (18) |
| Typing | 1.1 | 65 | (20) |
| Filing, seated | 1.2 | 70 | (22) |
| Filing, standing | 1.4 | 80 | (26) |
| Walking about | 1.7 | 100 | (31) |
| Lifting/packing | 2.1 | 120 | (39) |
| **Driving/Flying** | | | |
| Automobile | 1.0-2.0 | 60-115 | (18-37) |
| Aircraft, routine | 1.2 | 70 | (22) |
| Aircraft, instrument landing | 1.8 | 105 | (33) |
| Aircraft, combat | 2.4 | 140 | (44) |
| Heavy vehicle | 3.2 | 185 | (59) |
| **Miscellaneous Occupational Activities** | | | |
| Cooking | 1.6-2.0 | 95-115 | (29-37) |
| House cleaning | 2.0-3.4 | 115-200 | (37-63) |
| Seated, heavy limb movement | 2.2 | 130 | (41) |
| Machine work | | | |
| sawing (table saw) | 1.8 | 105 | (33) |
| light (electrical industry) | 2.0-2.4 | 115-140 | (37-44) |
| heavy | 4.0 | 235 | (74) |
| Handling 50 kg (100 lb) bags | 4.0 | 235 | (74) |
| Pick and shovel work | 4.0-4.8 | 235-280 | (74-88) |
| **Miscellaneous Leisure Activities** | | | |
| Dancing, social | 2.4-4.4 | 140-255 | (44-81) |
| Calisthenics/exercise | 3.0-4.0 | 175-235 | (55-74) |
| Tennis, singles | 3.6-4.0 | 210-270 | (66-74) |
| Basketball | 5.0-7.6 | 290-440 | (92-140) |
| Wrestling, competitive | 7.0-8.7 | 410-505 | (129-160) |

*(ASHRAE Standard 55-1992R)*

**อัตราการเผาผลานพลังงานในกิจกรรมประเภทต่างๆ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Garment effective insulation values

| Garmet Description | clo | Garmet Description | clo |
|---|---|---|---|
| **Underwear** | | **Dresses and skirts** | |
| Men's briefs | 0.04 | Skirt (thin) | 0.14 |
| Panties | 0.03 | Skirt (thick) | 0.23 |
| Bra | 0.01 | Long-sleeve shirt dress (thin) | 0.33 |
| T-shirt | 0.08 | Long-sleeve shirt dress (thick) | 0.47 |
| Full slip | 0.16 | Short-sleeve shirt dress (thin) | 0.29 |
| Half Slip | 0.14 | Sleeveless, scoop neck (thin) | 0.23 |
| Long underwear top | 0.2 | Sleeveless, scoop neck (thick), i.e., jumper | 0.27 |
| Long underwear bottoms | 0.15 | | |
| **Footwear** | | **Sweaters** | |
| Ankle-length athletic socks | 0.02 | Sleeveless vest (thin) | 0.13 |
| Calf-length socks | 0.03 | Sleeveless vest (thick) | 0.22 |
| Knee socks (thick) | 0.06 | Long-sleeve (thin) | 0.25 |
| Panty hose stockings | 0.02 | Long-sleeve (thick) | 0.36 |
| Sandals/thongs | 0.02 | **Suit jackets and vests (lined)** | |
| Slippers (quilted, pile-lined) | 0.03 | Single-breasted (thin) | 0.36 |
| Boots | 0.1 | Single-breasted (thick) | 0.44 |
| **Shirts and Blouses** | | Double-breasted (thin) | 0.42 |
| Sleeveless, scoop-neck blouse | 0.12 | Double-breasted (thick) | 0.48 |
| Short-sleeve, dress shirt | 0.19 | Sleeveless vest (thin) | 0.1 |
| Long-sleeve, dress shirt | 0.25 | Sleeveless vest (thick) | 0.17 |
| Long-sleeve, flannel shirt | 0.34 | **Sleepwear and Robes** | |
| Short-sleeve, knit sport shirt | 0.17 | Sleeveless, short gown (thin) | 0.18 |
| Long-sleeve, sweat shirt | 0.34 | Sleeveless, long gown (thin) | 0.2 |
| **Trousers and Coveralls** | | Short-sleeve hospital gown | 0.31 |
| Short shorts | 0.06 | Long-sleeve, long gown (thick) | 0.46 |
| Walking shorts | 0.08 | Long-sleeve pyjamas (thick) | 0.57 |
| Straight trousers (thin) | 0.15 | Short-sleeve pyjamas (thin) | 0.42 |
| Straight trousers (thick) | 0.24 | Long-sleeve, long wrap robe (thick) | 0.69 |
| Sweat pants | 0.28 | Long-sleeve, short wrap robe (thick) | 0.48 |
| Overalls | 0.3 | Short-sleeve, short robe (thin) | 0.34 |
| Coveralls | 0.49 | | |

อัตราความเป็นฉนวนความของเสื้อผ้าสวมใส่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้