

ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของอุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้น และ
รูปแบบการกระจายลมจากเครื่องปรับอากาศที่มีผลต่อความรู้สึกสบายมนุษย์

MATHEMATICAL RELATIONS OF TEMPERATURE, AIR VELOCITY, HUMIDITY
AND AIRFLOW DIRECTION FROM AIR-CONDITIONER WHICH AFFECT TO
HUMAN COMFORT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของอุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้น และ
รูปแบบการกระจายลมจากเครื่องปรับอากาศที่มีผลต่อความรู้สึกสบายมนุษย์

MATHEMATICAL RELATIONS OF TEMPERATURE, AIR VELOCITY, HUMIDITY
AND AIRFLOW DIRECTION FROM AIR-CONDITIONER WHICH AFFECT TO
HUMAN COMFORT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MATHEMATICAL RELATIONS OF TEMPERATURE, AIR VELOCITY, HUMIDITY
AND AIRFLOW DIRECTION FROM AIR-CONDITIONER WHICH AFFECT TO
HUMAN COMFORT



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของอุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้น และรูปแบบการกระจายลมจากเครื่องปรับอากาศที่มีผลต่อความรู้สึกสบายมนุษย์

นายคมชาญ ศิลป์เจริญ 59010170

นายดำรงศักดิ์ มณฑาทิพย์ 59010498

นายภูริช แสงทอง 59011080

ผศ.ดร.ณตวิภา เจียรระโนวชิระ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

สภาพอากาศในปัจจุบันที่ร้อนขึ้นประกอบกับกิจกรรมอันหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่เกิดขึ้นในสถานที่ที่ไม่มีการปรับอากาศ ส่งผลให้มนุษย์รู้สึกไม่สบายและต้องการการปรับอากาศที่ทำให้อยู่ในสภาวะเย็นสบายได้อย่างรวดเร็ว ผู้จัดทำจึงได้ทำการกำหนดสภาวะการทดลองจากปัจจัยของความสัมพันธ์ทางด้านอุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นจากการทำงานของเครื่องปรับอากาศเพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณความร้อนที่สามารถนำออกไปจากตำแหน่งของผู้ถูกทดลอง และนำไปสอดคล้องกับสภาวะเย็นสบายของผู้ถูกทดลอง เพื่อหาสภาวะการทดลองที่สามารถนำปริมาณความร้อนออกไปจากตำแหน่งของผู้ถูกทดลองได้เร็วที่สุด และสามารถอยู่ในห้องทดลองอย่างเย็นสบายได้เป็นระยะเวลา นาน และทำการวิเคราะห์หาสมการทางคณิตศาสตร์จากสภาวะการทดลองเหล่านั้น จากการทดลองและวิเคราะห์ผลพบว่า สภาวะการทดลองที่เปิดเครื่องปรับอากาศด้วยอุณหภูมิ 16 องศาเซลเซียส และการกระจายลมแบบจ่อ เป็นสภาวะการทดลองที่ส่งผลให้ผู้ถูกทดลองรู้สึกเย็นสบายได้เร็วที่สุด และสภาวะการทดลองที่เปิดเครื่องปรับอากาศด้วยอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และการกระจายลมแบบกว้าง เป็นสภาวะการทดลองที่ส่งผลให้ผู้ถูกทดลองรู้สึกเย็นสบายได้นานที่สุด จึงได้สมการทางคณิตศาสตร์ที่เกิดจากการวิเคราะห์ร่วมกันจากทั้ง 2 สภาวะที่กล่าวมาเป็นต้นแบบในการวิเคราะห์หาปริมาณความร้อนที่ทำให้ผู้ใช้งานอยู่ในสภาวะเย็นสบายได้เร็วและนานที่สุด และพบว่าสมการทางคณิตศาสตร์ให้ผลที่คลาดเคลื่อนเล็กน้อยจากการทดลองจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mathematical relations of temperature, air velocity, humidity and airflow direction from air-conditioner which affect to human comfort

Komchan Siljaroen 59010170

Dumrongsuk Monthathip 59010498

Phurich Saengthong 59011080

Asst.Prof.Dr.Nuthvipa Jayranaiwachira Advisor

Year 2562

ABSTRACT

World getting hotter every day, and human need the air conditioner that can make them feel comfortable as soon as possible. This project studies about temperature, wind velocity, and relative humidity from the air conditioner that could make human feel cool faster and stay longer with comfortable by experiments. We make 8 conditions for the experiment to find out which condition is the best. We found that condition of setting temperature at 16 degree Celsius with fixed air distribution can make subjects feel cool and comfortable fastest and condition of setting temperature at 25 degree Celsius with swing air distribution can make subjects feel cool and comfortable longest. Then we make the mathematical model by combine data of those 2 conditions for prototype of finding quantity of rejected heat at subjects' position that can make user feel cool faster and stay longer with comfortable and found that the results of data from mathematical model have very few errors form real experiment.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เรื่องความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของอนุกรม ความเร็วลม ความชื้น และรูปแบบการกระจายลมจากเครื่องปรับอากาศที่มีผลต่อความรู้สึกสบายมนุษย์จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้ หากไม่ได้รับความกรุณาจากบุคคลสำคัญหลายท่าน ข้าพเจ้าต้องขอขอบคุณบุคคลสำคัญที่จะเอ่ยนามดังนี้ที่ช่วยให้คำปรึกษาและคำแนะนำคอยช่วยพวกข้าพเจ้าแก้ปัญหาต่างๆ ตลอดจนให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ซึ่งได้แก่บิดามารดา ที่คอยให้การสนับสนุนและให้กำลังใจมาโดยตลอด และ อาจารย์ ผศ.ดร.ณัฏวิภา เจียรนะไวชิระ อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำแนะนำ คำปรึกษา และ ช่วยแก้ไขปัญหาในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ รวมไปถึงเพื่อนๆ น้องๆ ที่เสียสละเวลามาเป็นผู้นั่งทดสอบประเมินความรู้สึก

สำหรับคุณงามความดีที่เกิดจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอมอบให้กับ บิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง และ อาจารย์ ผศ.ดร.ณัฏวิภา เจียรนะไวชิระ รวมไปถึงอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

นายคมชาญ ศิลป์เจริญ

นายดำรงศักดิ์ มณฑาทิพย์

นายภูริช แสงทอง

สารบัญ

หน้า	
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ความรู้สึกและความสบายเชิงความร้อน (Thermal sensation and comfort).....	3
2.2 Net Effective Temperature.....	8
2.3 ANSI/ASHRAE Standard 55.....	9
2.4 โหมดทำความเย็นอย่างรวดเร็วของเครื่องปรับอากาศ.....	9
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ.....	11
3.1 การเก็บข้อมูลการทำงานของโหมดทำความเย็นอย่างรวดเร็ว ของเครื่องปรับอากาศที่จำหน่ายอยู่ในท้องตลาดปัจจุบัน.....	12

3.2 การทดลองเพื่อหาผลของอุณหภูมิ, ความเร็วลม และรูปแบบการกระจายลมเย็น จากเครื่องปรับอากาศที่มีผลต่อความรู้สึกทางความสบายและความร้อน ของผู้อาศัยในรูปแบบการทำความเย็นแบบรวดเร็วของเครื่องปรับอากาศ.....	13
3.2.1 ห้องทดลองและอุปกรณ์.....	13
3.2.2 ผู้ทดสอบและตำแหน่งผู้ทดสอบ.....	17
3.2.3 แบบประเมินสำหรับผู้ทดสอบ.....	17
3.3 สภาพที่ใช้ในการทดลอง.....	19
3.4 ขั้นตอนการทดลอง.....	19
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	21
4.1 ผลการทดลองจากการสำรวจโหมดการทำความเย็นอย่าง รวดเร็วของเครื่องปรับอากาศที่จำหน่ายอยู่ในท้องตลาด.....	21
4.2 ผลการทดลองจากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิจากเครื่องปรับอากาศ และจากข้อมูลแบบประเมินของผู้ทดสอบ.....	22
4.2.1 ผลการเก็บข้อมูลของอุณหภูมิจากเครื่องปรับอากาศ.....	23
4.2.2 ผลการประเมินความรู้สึก (Thermal Sensation) และความสบาย (Thermal Comfort) ของผู้ทดลอง.....	25
4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล	
4.3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลจากกลุ่มผู้ทดสอบ.....	27
4.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลจากเครื่องปรับอากาศ.....	30
4.3.3 การวิเคราะห์ร่วมกันระหว่างข้อมูล จากผู้ทดสอบและเครื่องปรับอากาศ.....	36
4.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหา Mathematical model.....	37

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	46
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	46
5.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม.....	46
เอกสารอ้างอิง.....	50
ภาคผนวก.....	52



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ค่าปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นในร่างกายของกิจกรรมแต่ละประเภท.....	5
2.2 ค่าฉนวนความร้อนของเสื้อผ้าชุดต่างๆ.....	6
2.3 ASHRAE and Bedford sensation scales.....	7
2.4 comfort scale ของ Hagino.....	8
3.1 Cooling load ของห้องทดลอง.....	14
3.2 เกณฑ์การให้คะแนนความรู้สึกเชิงความร้อน.....	18
3.3 เกณฑ์การให้คะแนนความสบายเชิงความร้อน.....	18
3.4 สภาวะของแต่ละการทดลอง.....	19
4.1 รายละเอียดในการเก็บข้อมูลของเครื่องปรับอากาศ.....	21
4.2 สภาวะของแต่ละการทดลอง.....	22
4.3 อุณหภูมิที่ระดับความสูง 3 ระดับของแต่ละครั้งในการทดลอง.....	31
4.4 อุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 3 ระดับจากผู้ทดลองทั้งหมดที่ Subject position.....	31
4.5 อุณหภูมิที่ Return air ของแต่ละครั้งในการทดลอง.....	32
4.6 อุณหภูมิเฉลี่ยที่ Return Air.....	32
4.7 ค่า %RH ที่นาที่ต่างๆที่ Subject position และ RA.....	33
4.8 ค่า %RH เฉลี่ยของ Subject position และ RA.....	33
4.9 ตารางคำนวณค่า NET.....	34
4.10 ตารางคำนวณค่า $\Sigma X(t)$	34
4.11 ค่า NET, $\Sigma X(t)$, และอุณหภูมิที่ RA ที่ทำให้ผู้ทดลอง รู้สึกอยู่ในภาวะสบาย (Thermal comfort = 2).....	36
4.12 เวลาที่ผู้ทดลองเริ่มรู้สึกสบายของแต่ละสภาวะการทดลอง.....	37
4.13 เวลาที่ผู้ทดลองเริ่มรู้สึกไม่สบายของแต่ละสภาวะการทดลอง.....	37

สารบัญรูป

รูป	หน้า
2.1 Psychrometric chart ของการทดลอง โดยปรับอากาศที่อุณหภูมิห้องเริ่มต้น 30 °C ด้วย Air condition ไปที่ Comfort zone.....	5
3.1 ตำแหน่งจ่ายลม (supply air) และตำแหน่งลมกลับ (Return air).....	13
3.2 ตำแหน่งของห้องทดลองที่ตีวิศวกรรมเครื่องกล.....	13
3.3 เครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการทดลอง.....	15
3.4 ตำแหน่งการแกว่งของใบพัด.....	15
3.5 Thermocouple.....	16
3.6 Anemometer.....	16
3.7 ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิ, ความชื้น, และความเร็วลม.....	17
3.8 แบบประเมินความสบายและความรู้สึกเชิงความร้อน.....	18
3.9 แผนภาพขั้นตอนการทดลอง.....	20
4.1 - 4.4 ผลการเก็บข้อมูลของอุณหภูมิจากเครื่องปรับอากาศ แบบใบพัดอยู่กับที่.....	23
4.5 - 4.8 ผลการเก็บข้อมูลของอุณหภูมิจากเครื่องปรับอากาศ แบบใบพัดสวิง.....	24
4.9 - 4.12 ผลการประเมินความรู้สึกและความสบายของผู้ทดลอง แบบใบพัดอยู่กับที่.....	25
4.13 - 4.16 ผลการประเมินความรู้สึกและความสบายของผู้ทดลอง แบบใบพัดอยู่กับที่.....	26
4.17 กราฟความสัมพันธ์ของความสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort) เทียบกับเวลาของทั้ง 8 สภาวะการทดลอง	27
4.18 กราฟความสัมพันธ์ของความรู้สึกเชิงความร้อน (Thermal sensation) เทียบกับเวลาของทั้ง 8 สภาวะการทดลอง.....	28
4.19 กราฟความชื้นของความสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort) เทียบกับเวลาในช่วงผู้ถูกทดลองรู้สึกสบายของทั้ง 8 สภาวะการทดลอง.....	28

4.20 กราฟความสัมพันธ์ของความสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort) ความรู้สึกเชิงความร้อน (Thermal Sensation) และเวลาในรูปแบบการกระจายลมแบบ Fixed ของทั้ง 8 สภาวะการทดลอง.....	29
4.21 กราฟความสัมพันธ์ของความสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort) ความรู้สึกเชิงความร้อน (Thermal Sensation) และเวลาในรูปแบบการกระจายลมแบบ Swing ของทั้ง 8 สภาวะการทดลอง.....	29
4.22 กราฟเปรียบเทียบค่า NET ทั้ง 8 สภาวะ.....	35
4.23 กราฟเปรียบเทียบค่า $\Sigma X(t)$ ทั้ง 8 สภาวะ.....	35
4.24 การหา Trendline จากชุดข้อมูล NET ที่รวมกันของสภาวะการทดลองที่ 7 (16 °C Fixed) และ 2 (25°C Swing).....	38
4.25 การหา Trendline จากชุดข้อมูล RA ที่รวมกันของสภาวะการทดลองที่ 7 (16 °C Fixed) และ 2 (25°C Swing).....	39
4.26 กราฟการเปรียบเทียบระหว่าง NET ของสมการที่ได้มาจาก Trendline และ NET ที่ได้มาจากการทดลองจริง ที่สภาวะการทดลองที่ 7 (16 °C Fixed) รวมกับ 2 (25°C Swing).....	39
4.27 กราฟค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง NET ของสมการที่ได้มาจาก Trendline และ NET ที่ได้มาจากการทดลองจริง ที่สภาวะการทดลองที่ 7 (16 °C Fixed) รวมกับ 2 (25°C Swing).....	40
4.28 กราฟการเปรียบเทียบระหว่าง RA ของสมการที่ได้มาจาก Trendline และ RA ที่ได้มาจากการทดลองจริง ที่สภาวะการทดลองที่ 7 (16 °C Fixed) รวมกับ 2 (25°C Swing).....	41
4.29 กราฟค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง RA ของสมการที่ได้มาจาก Trendline และ RA ที่ได้มาจากการทดลองจริง ที่สภาวะการทดลองที่ 7 (16 °C Fixed) รวมกับ 2 (25°C Swing).....	41
4.30 ค่าความคลาดเคลื่อนของการ Trial and Error ในการเพิ่ม Extra Term ของ NET.....	42
4.31 กราฟการเปรียบเทียบระหว่าง NET ที่เพิ่ม Extra term และ NET ที่ได้มาจากการทดลองจริง ที่สภาวะการทดลองที่ 7 (16 °C Fixed) รวมกับ 2 (25°C Swing).....	43

4.32 กราฟค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง NET ที่เพิ่ม Extra term และ NET ที่ได้มาจาก การทดลองจริงที่สภาวะการทดลองที่ 7 (16 °C Fixed) รวมกับ 2 (25°C Swing).....	43
4.33 ค่าความคลาดเคลื่อนของการ Trial and Error ในการเพิ่ม Extra Term ของ RA.....	44
4.34 กราฟการเปรียบเทียบระหว่าง RA ที่เพิ่ม Extra term และ RA ที่ได้มาจาก การทดลองจริง ที่สภาวะการทดลองที่ 7 (16 °C Fixed) รวมกับ 2 (25°C Swing).....	45
4.35 กราฟค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง RA ที่เพิ่ม Extra term และ RA ที่ได้มาจาก การทดลองจริงที่สภาวะการทดลองที่ 7 (16 °C Fixed) รวมกับ 2 (25°C Swing).....	45
5.1 กราฟความสัมพันธ์ของ NET Condition 7+2 กับเวลา โดยมีข้อมูลคำนวณ เปรียบเทียบกับกรทดสอบห้องจริง.....	47
5.2 กราฟความสัมพันธ์ของ NET Condition 5+2 กับเวลา โดยมีข้อมูลคำนวณเพียงอย่างเดียว (ปัญหาของการวิเคราะห์).....	48
5.3 กราฟความสัมพันธ์ของ NET Condition 3+2 กับเวลา โดยมีข้อมูลคำนวณเพียงอย่างเดียว (ปัญหาของการวิเคราะห์).....	48
5.4 กราฟความสัมพันธ์ของ NET Condition 1+2 กับเวลา โดยมีข้อมูลคำนวณเพียงอย่างเดียว (ปัญหาของการวิเคราะห์).....	49

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันประเทศไทยมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นตลอดเวลา และมนุษย์ไม่สามารถหลีกเลี่ยงกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายนอกอาคารได้ อาทิเช่น การเดินทางโดยเท้า หรือการนั่งรถจักรยานยนต์เพื่อไปยังจุดหมายที่ต้องการ จึงเกิดความต้องการให้เครื่องปรับอากาศสามารถทำให้มนุษย์รู้สึกสบายได้ในระยะเวลาที่เร็วที่สุด เมื่ออยู่ภายในห้องปรับอากาศ จึงทำให้หลายบริษัทในอุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศมีการพัฒนาสร้างโหมดการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่สามารถส่งผลให้มนุษย์รู้สึกสบายได้อย่างรวดเร็วขึ้นมา แต่ยังไม่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้มากนัก โดยการทำงานของโหมดทำความเย็นอย่างรวดเร็วของแต่ละยี่ห้อจะตั้งค่าอุณหภูมิ รูปแบบการกระจายลม และระยะเวลาของโหมดซึ่งขึ้นอยู่กับแต่ละยี่ห้อของเครื่องปรับอากาศ ที่ส่งผลให้ผู้ใช้งานรู้สึกเย็นได้เร็วในช่วงแรก แต่รู้สึกหนาวและไม่สบายในเวลาต่อมา หรือส่งผลให้ผู้ใช้งานรู้สึกเย็นสบายได้ช้า และไม่ต่อเนื่อง จึงทำให้ไม่สามารถสรุปได้ว่าการทำงานของโหมดดังกล่าวจะต้องมีลักษณะการทำงานแบบใดที่สามารถส่งผลให้มนุษย์รู้สึกสบายได้อย่างรวดเร็วที่สุด และคงความรู้สึกเย็นสบายได้อย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาที่อยู่ภายในห้องปรับอากาศนั้น

ผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของความเร็วลม อุณหภูมิ ความชื้น และรูปแบบการกระจายลมจากเครื่องปรับอากาศที่ทำความเย็นให้แก่มนุษย์ โดยทำการสร้างสภาวะการทดลอง และให้ผู้ที่มีช่วงอายุระหว่าง 18-22 ปี มาเป็นผู้ถูกทดลองในสภาวะที่สร้างขึ้น เพื่อหาความสัมพันธ์ดังกล่าวที่สามารถนำไปพัฒนาเครื่องปรับอากาศ ซึ่งจะมีกำลังซื้อมาจากผู้ที่อยู่ในวัย 18-22 ปีและกำลังเข้าสู่วัยทำงานในอนาคตอันใกล้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการทำงานของโหมดการทำงานอย่างรวดเร็วของเครื่องปรับอากาศที่สามารถส่งผลให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกสบายเร็วที่สุด

1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลและหาความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ของ อุณหภูมิ, ความชื้น, ความเร็วลม และรูปแบบการกระจายลมเย็นของเครื่องปรับอากาศต่อความรู้สึกสบายของผู้อยู่อาศัย

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 เครื่องปรับอากาศแบบ Split-type ขนาด 3.7 กิโลวัตต์ (12,624 BTU/hr) ความแรงลมที่ใช้ทำการทดลองคือระดับสูงสุด และทิศทางของใบพัดที่ใช้ทำการทดลองคือ แบบอยู่กับที่ (Fixed) และแบบสวิง (Swing)

1.3.2 ห้องที่ใช้ทดลองมีขนาดกว้าง 4.30 เมตร ยาว 6.72 เมตร และสูง 3.34 เมตร ภายในอาคารชั้น 3 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บริเวณรอบข้างไม่มีการปรับอากาศ และขณะทดลองมีอุณหภูมิห้องและผนังเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียส

1.3.3 ผู้ถูกทดลองคือเพศชายและเพศหญิงช่วงอายุระหว่าง 18 – 22 ปี เมื่อทำการทดลองผู้ถูกทดลองแต่งกายเสื้อแขนสั้น กางเกงขาสั้น ไม่ใส่รองเท้า และถุงเท้าและทุกคนต้องอยู่ในห้องที่มีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาทีเพื่อปรับสภาวะความรู้สึกสบายของผู้ถูกทดลอง

1.3.4 ตำแหน่งของผู้ทดลองอยู่ห่างจากเครื่องปรับอากาศในแนวระดับที่ระยะ 2.6 เมตร เพียงตำแหน่งเดียว

1.3.5 ในการทดลองแต่ละครั้งจะสิ้นสุดเมื่อผู้ถูกทดลองรู้สึกไม่สบาย และหนาว เนื่องจากการวิเคราะห์หาโหมดทำความเย็นอย่างรวดเร็วต้องการข้อมูลที่ผู้ถูกทดลองเริ่มรู้สึกเย็นสบายได้อย่างเร็ว และต่อเนื่องได้นานที่สุด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ผลการทดลองที่ได้จากความรู้สึกสบายของผู้ถูกทดลองที่มีผลมาจากความเร็วลม อุณหภูมิ ความชื้น และรูปแบบการกระจายลมจากเครื่องปรับอากาศที่สภาวะต่างๆ เพื่อใช้ในการออกแบบโหมดทำความเย็นแบบรวดเร็วอัตโนมัติ

1.4.2 ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของความเร็วลม อุณหภูมิ ความชื้น และรูปแบบการกระจายลมจากเครื่องปรับอากาศที่สามารถนำมาวิเคราะห์ และปรับปรุงรูปแบบการทำงานของโหมดทำความเย็นแบบรวดเร็วของเครื่องปรับอากาศ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้สึกและความสบายเชิงความร้อน (Thermal sensation and comfort)

2.1.1 ความรู้สึกเชิงความร้อน (Thermal sensation)

Gagge et al. [1] ชี้ให้เห็นการทำงานของนักปราชญ์ชาวโรมันที่ชื่อ Galen ผู้แนะนำให้เพิ่มความรู้สึกของความร้อนและความเย็นกับประสาทสัมผัสทั้งห้าของมนุษย์ ซึ่งเป็นการเริ่มต้นของการวิจัยอย่างเป็นระบบเกี่ยวกับการรับรู้ความรู้สึกเชิงความร้อน

Auliciems [2] อ้างถึงนักวิจัยหลายคนที่ชี้ให้เห็นว่ามันยากมากที่จะนิยามความหมายของความรู้สึกโดยไม่สร้างความสับสน

Bevan [3] คำที่ใช้เรียกความรู้สึกส่วนมากควรจะตัดออกจากการใช้งานทางวิทยาศาสตร์โดยสิ้นเชิง และจะจำแนกความรู้สึกเชิงความร้อนของพวกเขาโดยใช้คำเช่น อุ่น, ปกติ และหนาว อย่างไรก็ตามเป็นไปได้ที่จะกำหนดความรู้สึกในทางกายภาพหรือในทางสรีรวิทยา เป็นผลให้การศึกษาจำนวนมากได้ลองพยายามอย่างน้อยหาความสัมพันธ์ระหว่างเงื่อนไขทางกายภาพและการตอบสนองทางสรีรวิทยาด้วยความรู้สึกเชิงความร้อน

Parsons [4] แยกความแตกต่างระหว่างการศึกษาเป็นสามประเภท คือ 1.) นักสรีรวิทยาศึกษาพฤติกรรมของตัวรับอุณหภูมิในร่างกายมนุษย์และพยายามเชื่อมโยงสิ่งนี้กับความรู้สึกเชิงความร้อน 2.) การศึกษาทางจิตวิทยาที่เกี่ยวกับสิ่งเร้าทางกายโดยหาความสัมพันธ์ระหว่างร่างกายกับความรู้สึกทางจิตวิทยา และพยายามหาทฤษฎีทางจิตวิทยา 3.) นักออกแบบและวิศวกรศึกษาความรู้สึกเชิงความร้อนที่เกี่ยวข้องกับสถานะความร้อนของทั้งร่างกายและอวัยวะต่างๆ โดยวิธีนี้ได้รับการรับรองในการศึกษาในปัจจุบัน

คำว่า “Thermal Sensation” มีความหมายที่กำหนดโดย สมาคมวิศวกรรมการปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) ตามมาตรฐาน ASHRAE 55-2017 [5] ว่าหมายถึง “การแสดงออกทางจิตสำนึกของผู้อยู่อาศัยในการรับรู้ความรู้สึกเชิงความร้อนของสิ่งแวดล้อม ที่ถูกไตร่ตรองและแบ่งความรู้สึกเป็น หนาว, เย็น, เย็นเล็กน้อย, ปกติ, อุ่นเล็กน้อย, อุ่น, ร้อน”

2.1.2 ความสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort)

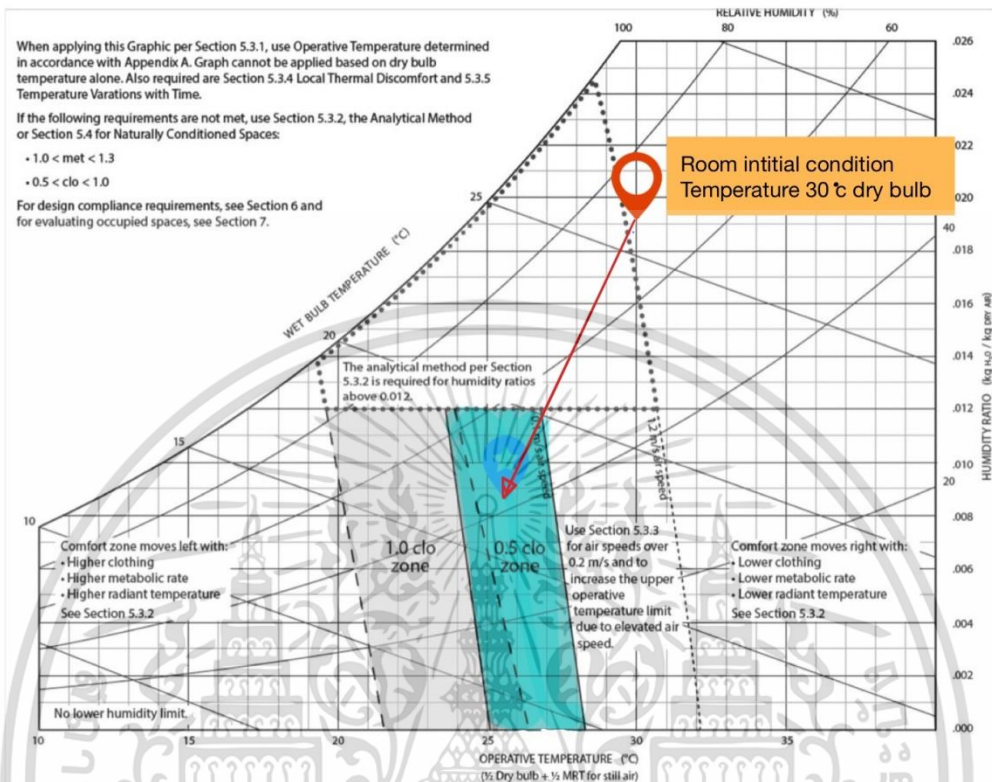
การศึกษาเรื่องความสบายเพื่อที่จะค้นหาสภาวะที่จะทำให้คนส่วนใหญ่มีความรู้สึกพึงพอใจกับสภาพอากาศนั้นๆ ไม่รู้สึกหนาวหรือร้อนจนเกินไป หรือกล่าวคืออุณหภูมิที่เป็นกลาง (Neutral Temperature)

คำว่า “Thermal Comfort” มีความหมายที่กำหนดโดย สมาคมวิศวกรรมกรรมการปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) ตามมาตรฐาน ASHRAE 55-2017 [5] ว่าหมายถึง “สภาวะของจิตใจที่แสดงถึงความพึงพอใจต่อสภาวะอากาศแวดล้อม” ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะสบายนั้นมีอยู่ 6 ปัจจัย Fanger [6] ดังนี้

1. อุณหภูมิในอากาศ (Air temperature)
2. อุณหภูมิจากรังสีความร้อน (Mean radiant temperature)
3. ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)
4. ความเร็วลม (Air velocity)
5. กิจกรรมของบุคคล (Activity or Metabolic rate)
6. เสื้อผ้าของบุคคล (Clothing thermal resistance)

นอกจากนั้น ความรู้สึกสบายเชิงความร้อนยังขึ้นอยู่กับปัจจัยเชิง คุณภาพ ได้แก่ ความชอบของแต่ละบุคคล ความเคยชินกับสภาพอากาศ นิสัย การศึกษา เพศ Yamtraipat et al. [7]

สภาวะอากาศที่เหมาะสมที่ทำให้คนรู้สึกสบาย ขึ้นกับตัวแปรหลายตัว ดังนั้น ASHRAE 55 2017 [5] จึงได้กำหนดช่วงของสภาวะความสบายโดยใช้ Psychrometric chart แสดงในรูปที่ 2.1 สำหรับกิจกรรมเบาๆ 1.0-1.3 met โดย met คืออัตราการเผาผลาญพลังงานของมนุษย์มีค่า 1 met = 58 W/m² และสวมเสื้อผ้าธรรมดา 0.5 -1 clo และความเร็วอากาศประมาณ 0.1 เมตรต่อวินาที ซึ่งสภาวะดังกล่าวเป็นสภาวะอากาศสำหรับในห้องปรับอากาศ โดยจะแสดงค่าปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นในร่างกายของกิจกรรมแต่ละประเภทและค่าฉนวนความร้อนของเสื้อผ้าชุดต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ



รูปที่ 2.1 Psychrometric chart ของการทดลอง โดยปรับอากาศที่อุณหภูมิห้องเริ่มต้น 30 °C ด้วย Air condition ไปที่ Comfort zone

ตารางที่ 2.1 ค่าปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นในร่างกายของกิจกรรมแต่ละประเภท Fanger [6]

ชนิดของกิจกรรม	ค่าความร้อน (Met Units)
นอน	0.7
นั่ง	1.0
ยืน	1.2
อ่านหนังสือ	1.0
เขียนหนังสือ	1.0
พิมพ์ดีด	1.1
เดิน	1.7
ขับรถยนต์	1.0-2.0
ขับรถบรรทุก	3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ค่าฉนวนความร้อนของเสื้อผ้าชุดต่างๆ Fanger [6]

ชนิดของชุดที่สวมใส่	ค่าฉนวนความร้อน	
	(clo)	(m ² °C W ⁻¹)
เปลือย	0	0
เสื้อแขนสั้น กางเกงขาสั้น ถุงเท้า รองเท้า	0.3	0.045
เสื้อแขนสั้น กางเกงขายาว ถุงเท้า รองเท้า	0.5	0.08
เสื้อแขนยาว กางเกงขายาว ถุงเท้าหนา รองเท้า	0.7	0.11

ตามปกติ การวัดค่าและระบุค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าแต่ละชนิดเป็นไปได้ยาก ดังนั้น จึงได้มีการกำหนดค่าฉนวนของเสื้อผ้าเป็นชุด โดยหน่วยของค่าฉนวนของเสื้อผ้าจะแสดงเป็น clo โดยที่

$$1 \text{ clo เท่ากับ } 0.155 \text{ m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C W}^{-1}$$

2.1.3 สมการความสบายเชิงความร้อน

สมการความสบายเชิงความร้อนที่ได้รับการยอมรับและถูกนำมาประยุกต์ใช้มากที่สุด คือสมการที่ศึกษาและพัฒนาโดย Fanger [6] ซึ่งได้จากการทำสมดุลความร้อนระหว่างร่างกายคนกับสิ่งแวดล้อม สมการนี้จะแสดงถึงปริมาณความร้อนสุทธิที่แลกเปลี่ยนระหว่างคนกับสิ่งแวดล้อม โดยความร้อนที่เกิดขึ้นภายในร่างกายคน จะถ่ายเทสู่ภายนอกร่างกายผ่านการระเหยทางเหงื่อ และการถ่ายเทความร้อนทางผิวหนังและเสื้อผ้า รวมถึงการถ่ายเทความร้อนออกสู่ภายนอกร่างกายโดยการหายใจ สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมที่ทำให้คนรู้สึกสบาย คือสภาวะที่ทำให้ปริมาณความร้อนสุทธิในการแลกเปลี่ยนระหว่างคนกับสิ่งแวดล้อมเป็นศูนย์ นั่นหมายถึงความร้อนที่เกิดขึ้นในร่างกายเท่ากับความร้อนที่ระบายออกนอกร่างกาย แต่ถ้าปริมาณความร้อนสุทธิที่แลกเปลี่ยนไม่เป็นศูนย์หรือไม่สมดุล จะก่อให้เกิดความรู้สึกร้อนหรือหนาว เช่น ถ้าความร้อนที่สร้างขึ้นภายในร่างกาย น้อยกว่าความร้อนที่ถ่ายเทออกสู่ภายนอกร่างกาย นั่นคือคนสูญเสียความร้อนมากเกินไป คนจะรู้สึกเย็นหรือถึงขั้นหนาว ในทางตรงกันข้าม หากความร้อนที่สร้างขึ้นภายในร่างกายมากกว่าความร้อนที่ถ่ายเทออกนอกร่างกายจะเกิดความร้อนสะสม ส่งผลให้คนจะรู้สึกร้อน ทั้งนี้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนออกจากร่างกายขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อม ณ ขณะนั้นๆ และกิจกรรมของคนรวมถึงความหนาของเสื้อผ้าที่สวมใส่

2.1.4 แบบประเมินความรู้สึกและความสบายเชิงความร้อน

การศึกษาส่วนใหญ่ใช้แบบประเมินอย่างง่าย เนื่องจากสะดวกต่อคนทั่วไปและสามารถวัดได้เชิงปริมาณ โดยแบบประเมินทั่วไปมีค่าสเกลตั้งแต่ 3 ถึง 25 โดยสเกลส่วนมากจะถูกออกแบบให้มีค่าอยู่

ระหว่างความรู้สึกปกติ แม้ว่าการศึกษาบางส่วนจะเพิ่มหมวดหมู่เพิ่มเติมในช่วงที่คาดการณ์ไว้ของการตอบสนองต่อความเครียดที่เด่นชัดของผู้ถูกทดลอง แต่แบบประเมินที่นิยมใช้มากที่สุดมี 7 สเกลคือ The ASHRAE seven-point sensation และ Bedford's sensation and comfort scale โดย Bedford's sensation and comfort scale จะนิยมใช้ในอังกฤษและ The ASHRAE seven-point sensation จะนิยมใช้ในอเมริกา

The ASHRAE seven-point sensation ถูกใช้อย่างกว้างขวางสำหรับการประเมินความรู้สึกเชิงความร้อนในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม ดังแสดงในตารางที่ 2.1

Bedford's sensation and comfort scale เป็นที่ทราบกันดีว่าสเกลความรู้สึกและความสบายเชิงความร้อนของ Bedford [8] มีการผสมกันระหว่างความรู้สึกอุ่นและความสบาย แต่สเกลนี้ก็สามารถแก้ปัญหาสเกลของแบบประเมินภาวะความสบายของ Bedford [8] ได้ ซึ่งสเกลนี้ก็ถูกนำไปใช้ทั้งในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ASHRAE and Bedford's sensation scales

ASHRAE scale	Bedford scale	ค่า
ร้อน	อุ่นเกินไปมาก	+3
อุ่น	อุ่นเกินไป	+2
ค่อนข้างอุ่น	อุ่นสบาย	+1
ปกติ	ปกติ	0
ค่อนข้างเย็น	เย็นสบาย	-1
เย็น	เย็นเกินไป	-2
หนาว	เย็นเกินไปมาก	-3

จากตารางสเกลของ Bedford [8] พบว่าสภาวะความสบายไม่จำเป็นต้องใช้ความรู้สึกเท่านั้น การรับรู้ถึงความสบายอาจเกี่ยวข้องกับความคิดหวัง, การปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมและปัจจัยอื่นๆ ดังนั้นข้อมูลเกี่ยวกับความรู้สึกเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะประเมินภาวะความสบายของผู้ถูกทดลองได้ จึงต้องถามคำถามโดยตรงและแยกคำถามระหว่างความรู้สึกและสภาวะความสบายของผู้ถูกทดลองออกจากกัน เนื่องจากสภาพแวดล้อมของการทดลองแต่ละครั้งไม่เหมือนกัน ทำให้ในบางการศึกษา The ASHRAE seven-point sensation จะถูกแนะนำให้เพิ่มระดับสภาวะความสบาย 7 สเกล ตั้งแต่ ไม่สบายมากถึงสบายมากไว้ข้างสเกลความรู้สึกเชิงความร้อน ซึ่งตรงกับสเกลแบบประเมินสภาวะความสบายของ Hagino and Hara [9]

โดยการศึกษาของกลุ่มผู้ทดลองนี้ได้ใช้แบบประเมินสภาวะความสบายแบบเจ็ดจุดของ Hagino's seven-point comfort scale ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 Hagino's comfort scale

comfort scale	ค่า
สบายมาก	+3
สบาย	+2
สบายเล็กน้อย	+1
ปกติ	0
ไม่สบายเล็กน้อย	-1
ไม่สบาย	-2
ไม่สบายมาก	-3

2.2 Net Effective Temperature

Net Effective Temperature คือค่าการพิจารณาการรวมกันของผลกระทบจากอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็ว เพื่ออธิบายความรู้สึกของมนุษย์ที่มีผลต่อความร้อนจากสภาพอากาศโดยรอบ ซึ่ง NET ถูกค้นพบโดย Houghton และ Yaglo [10] จากการวัดค่าความร้อนของคนโดยการสังเกตในห้อง แลปที่ทำการทดลอง จากนั้น Missenard [11] ได้พัฒนาเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ของ NET คือ

$$NET = T - 0.4(T - 10)(1 - H/100) \quad (2.1)$$

โดย T คืออุณหภูมิอากาศ ($^{\circ}\text{C}$) และ H คือค่าความชื้นของอากาศ (%)

จากนั้น Gregorczyk [12] ได้ทำการปรับเปลี่ยนสมการโดยการเพิ่มผลกระทบจากความเร็วลมของลมซึ่งสามารถใช้ในสภาวะที่เย็นได้ โดยสมการคณิตศาสตร์ของ NET คือ

$$NET = 37 - \left[\frac{(37 - T)}{(0.68 - 0.0014H) + \left(\frac{1}{1.76 + 1.4v^{0.75}} \right)} \right] - 0.29T \left(1 - \frac{H}{100} \right) \quad (2.2)$$

โดย T คืออุณหภูมิอากาศ ($^{\circ}\text{C}$) H คือค่าความชื้นของอากาศ (%) V คือความเร็วของอากาศ (m/s) และ NET มีหน่วยองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งประโยชน์ในการใช้ NET มีดังต่อไปนี้

1. สามารถนำมาพิจารณาได้ทั้งสภาวะสภาพอากาศหนาวและสภาพอากาศร้อน
2. ค่า NET สามารถสอดคล้องกับการรับรู้ความรู้สึกของคนทั่วไป อาทิเช่น ในสภาพอากาศร้อน ค่า NET จะเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิและค่าความชื้นที่สูงขึ้น แต่ค่า NET จะลดลงเมื่อมีความเร็วลมเพิ่มขึ้น และในสภาพอากาศหนาว ค่า NET จะลดลงเมื่ออุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมมีค่าเพิ่มขึ้น

2.3 ANSI/ASHRAE Standard 55

ASHRAE ย่อมาจาก American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (สมาคมวิศวกรรมการปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา) ซึ่ง ASHRAE 55 [5] เป็นมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมเชิงความร้อนสำหรับการพักอาศัยของมนุษย์ มีจุดประสงค์เพื่อเป็นการบ่งชี้ค่าจากการรวมกันที่หลากหลายของปัจจัยทางความร้อนจากคนและสภาพแวดล้อมภายในห้องปิด ซึ่งจะสร้างมาตรฐานและเกณฑ์ของค่าสภาวะทางความร้อนของสภาพแวดล้อม ให้เป็นที่ยอมรับได้แก่ผู้อยู่อาศัยภายในห้องส่วนใหญ่

ANSI/ASHRAE Standard 55 เป็นมาตรฐานแห่งชาติอเมริกันหรือ (ANS) โดยเป็นฉันทามติที่พัฒนาขึ้นภายใต้ ASHRAE และถูกกำหนดโดยสถาบันมาตรฐานแห่งชาติอเมริกัน (ANSI) ซึ่ง ASHRAE เป็นสมาชิกและได้อนุมัติเป็นมาตรฐานแห่งชาติอเมริกันหรือ (ANS)

มาตรฐาน ASHRAE 55 [5] มีขึ้นครั้งแรกเมื่อปี 1966 และถูกพัฒนาทุก 3-7 ปีขึ้นอยู่กับงานวิจัยที่สามารถถูกคิดค้นได้ ซึ่งมาตรฐานที่ถูกใช้เกี่ยวข้องกับระบบปรับอากาศนั้นคือของปี 2010, และ 2017 ซึ่งเป็นปีที่ถูกพัฒนาน่าสุด

2.4 โหมดทำความเย็นอย่างรวดเร็วของเครื่องปรับอากาศ

เนื่องจากปัจจุบันผู้ใช้งานเครื่องปรับอากาศมีความต้องการให้เครื่องปรับอากาศสามารถทำความเย็นให้ผู้ใช้งานรู้สึกสบายได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นทุกวัน จึงทำให้บริษัทผู้ผลิตเครื่องปรับอากาศหลายบริษัทต้องการตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน โดยมีการสร้างโหมดการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่สามารถทำความเย็นได้อย่างรวดเร็วขึ้น ซึ่งสามารถทำให้ผู้ใช้งานรู้สึกสบายได้อย่างรวดเร็วเมื่อมีการใช้งานโหมดนี้

โดยสามารถใช้งานได้ด้วยการกดปุ่มบนรีโมทของเครื่องปรับอากาศ เมื่อเข้าสู่โหมดทำความเย็นอย่างรวดเร็ว เครื่องปรับอากาศจะปล่อยลมเย็นที่ระดับพัดลมสูงสุดออกมาเป็นระยะเวลาประมาณ 15-30

นาที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับยี่ห้อของเครื่องปรับอากาศ จากนั้นจึงกลับเข้าสู่โหมดปกติอัตโนมัติซึ่งเป็นค่าอุณหภูมิและความเร็วพัดลมที่ตั้งค่าไว้ก่อนหน้าที่จะใช้งานโหมดทำความเย็นอย่างรวดเร็ว

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Zboril et al. [13] ได้ทำการศึกษาทดลองการกระจายของลมจากเครื่องปรับอากาศ โดยการใช้ห้องทดลองที่จำลองเสมือนสำนักงานทั่วไปที่มีทั้งหุ่นจำลองมีความร้อนควบคุมจากคอมพิวเตอร์ เพื่อศึกษาความแตกต่างของอุณหภูมิที่จุดแต่ละจุดในแนวตั้งฉากกับพื้นห้อง พบว่าระหว่าง 0.1 ถึง 1.1 เมตรจากพื้นมีอุณหภูมิต่างกันถึง 3 เคลวิน และเครื่องคอมพิวเตอร์ ทำให้ห้องมีความร้อนมากกว่าตัวคน

Olgay [14] ได้ศึกษาและจัดทำแผนภาพชีวะอากาศ (Bioclimatic Chart) เพื่อแสดงขอบเขตของเขตสบายในระดับที่ร่างกายรู้สึกสบาย และองค์ประกอบของสภาพแวดล้อมที่ช่วยให้ร่างกายมนุษย์รู้สึกสบาย โดยการพิจารณาความสบายในทางภูมิศาสตร์ พบว่า ผู้อยู่อาศัยในเขตร้อนจะมีความเคยชินและมีสภาวะความสบายในระดับที่สูงกว่าเขตอบอุ่น โดยกำหนดให้เขตภูมิอากาศอื่นๆ สามารถปรับขอบเขตความสบายในแผนภาพชีวะอากาศให้สูงขึ้นได้โดยทุก 5° ของเส้นรุ้งที่ต่ำกว่าเส้นรุ้งที่ 40° ให้ปรับแผนภาพให้สูงขึ้น 0.42°C ซึ่งแผนภาพชีวะอากาศของกรุงเทพมหานครที่เส้นรุ้ง 13 องศาเหนือ เมื่อปรับระดับขอบเขตแล้วจะได้เขต สบายที่มีอุณหภูมิระหว่าง $22.22^{\circ}\text{C} - 29.44^{\circ}\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างร้อยละ 20-75

Khedari et al. [15] จึงได้ศึกษาเพื่อสร้างแผนภูมิความสบายสำหรับประเทศไทยในสภาวะที่ไม่มีเครื่องปรับอากาศ โดยให้นิสิต จำนวน 6 คน กรอกแบบสอบถามความรู้สึกสบายในบริเวณที่ไม่มีเครื่องปรับอากาศ ใช้ลมธรรมชาติ อุณหภูมิสบายของคนไทยในสภาวะที่ไม่มีเครื่องปรับอากาศสูงกว่าช่วงที่ ASHRAE กำหนด โดยอยู่ระหว่าง $27-35^{\circ}\text{C}$ ขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลม ซึ่งชี้ให้เห็นว่า คนไทยคุ้นเคยกับสภาพอากาศร้อน และสามารถทนอุณหภูมิได้ค่อนข้างสูง แม้ว่าที่ความเร็วลมเพียง 0.2 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิที่รู้สึกสบายสามารถขึ้นไปถึง 28°C

Yamtraipat et al. [7] ได้ทำการศึกษาหามาตรฐาน สภาวะสบายสำหรับห้องปรับอากาศในประเทศไทย โดยทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิ และความชื้นอากาศ ภายในอาคาร และให้คนในอาคารสำนักงานทั่วประเทศ กรอกแบบสอบถามความรู้สึกสบาย และให้ข้อมูลทางด้านเพศ การศึกษา และการใช้เครื่องปรับอากาศในบ้านพัก พบว่า ความเร็วลมในอาคารปรับ อากาศทั่วไปมีค่าเฉลี่ยระหว่าง $0.2-0.25$ เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิภายในอาคารปรับอากาศมีค่าอยู่ระหว่าง $20-27^{\circ}\text{C}$ และค่าความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง $40-70\%$ และจากการวิเคราะห์หาอุณหภูมิที่คนส่วนใหญ่รู้สึกสบาย พบว่าอยู่ที่ประมาณ 26°C และพบว่า คนที่มีเครื่องปรับอากาศที่บ้านและเปิดใช้เป็นประจำจะรู้สึกสบายที่อุณหภูมิ 25.4°C ซึ่งต่ำกว่าคนที่ไม่มีเครื่องปรับอากาศที่บ้านซึ่งรู้สึกสบายที่ 26.3°C อยู่ 1°C นอกจากนั้น ยังพบอีกว่า ผู้หญิง

จะรู้สึกสบายที่อุณหภูมิ 26.2 °C ซึ่งสูงกว่าเพศชายที่รู้สึก สบายที่อุณหภูมิ 25.7 °C และจากการวิเคราะห์ ผลของการศึกษาต่ออุณหภูมิความสบาย พบว่า คนที่ เรียนระดับสูงกว่าปริญญาตรีจะรู้สึกสบายที่อุณหภูมิ 25.3 °C ซึ่งต่ำกว่าคนที่เรียนระดับที่ต่ำกว่าอยู่ถึง 0.8 °C

Igor [16] ได้ทำการสร้างแบบจำลองห้องปรับอากาศเพื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวอุณหภูมิ และรูปแบบการไหลระหว่าง ห้องที่มีการแผ่รังสีจากแสงแดดกับห้องที่ไม่มีการแผ่รังสี ว่าแบบไหนมีผลต่อ ความสบายมากกว่ากัน ซึ่งแบบที่ไม่มีการแผ่รังสีจะมีการกระจายอุณหภูมิได้ดีกว่าอีกแบบและส่งผล ต่อ ความสบายได้ดีกว่าแบบแผ่รังสีจากแสงแดด



บทที่ 3

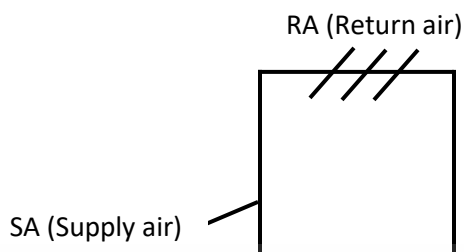
วิธีการดำเนินการ

ในการศึกษาหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของอุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้น และเวลา เพื่อนำไปพัฒนาการทำงานของโหมดทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศ ได้ทำการแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1. คือการเก็บข้อมูลโหมดทำความเย็นอย่างรวดเร็วของเครื่องปรับอากาศที่จำหน่ายอยู่ในท้องตลาดปัจจุบัน เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบและกำหนดเงื่อนไขในการทดลอง ส่วนที่ 2. คือการทดลองเพื่อหาผลของอุณหภูมิ, ความเร็วลม และ รูปแบบการกระจายลมเย็นจากเครื่องปรับอากาศที่มีผลต่อความรู้สึกทางความร้อนและความสบายของผู้อาศัย ในรูปแบบการทำความเย็นแบบรวดเร็วของเครื่องปรับอากาศ

3.1 การเก็บข้อมูลการทำงานของโหมดทำความเย็นอย่างรวดเร็วของเครื่องปรับอากาศที่จำหน่ายอยู่ในท้องตลาดปัจจุบัน

เนื่องจากเครื่องปรับอากาศในแต่ละยี่ห้อมีการทำงานของโหมดทำความเย็นอย่างรวดเร็วที่ต่างกัน จึงได้ทำการเลือกตัวแทนเครื่องปรับอากาศในการเก็บข้อมูลมา 3 ยี่ห้อ ได้แก่ ยี่ห้อ A ขนาด 12,624 BTU/hr., ยี่ห้อ B ขนาด 12,300 BTU/hr., และยี่ห้อ C ขนาด 12,542 BTU/hr. และทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องเริ่มต้น 30°C

สำหรับการเก็บข้อมูลการทำงานของโหมดทำความเย็นอย่างรวดเร็ว ได้อ้างอิงตามมาตรฐาน ASHARE 55 2017 [5] โดยทำการวัดอุณหภูมิ, ความชื้น ,และความเร็วของอากาศทุก 1 นาทีตลอดระยะเวลาการทำงานของโหมดทำความเย็นอย่างรวดเร็ว โดยทำการวัด 2 ตำแหน่ง ได้แก่ ตำแหน่งจ่ายลม(Supply air)ที่ ด้านหน้าเครื่องปรับอากาศและตำแหน่งลมกลับ(Return air) ที่อยู่ด้านบนของเครื่องปรับอากาศ และตำแหน่งที่ห่างจากเครื่องปรับอากาศในแนวระดับที่ระยะ 2.6 เมตรที่ความสูง 0.1, 0.6, 1.1 เมตร โดยสามารถนำข้อมูลทั้งหมดไปวิเคราะห์หาค่า Net Effective Temperature เพื่อใช้เปรียบเทียบการทำงานในโหมดทำความเย็นอย่างรวดเร็วของเครื่องปรับอากาศในแต่ละยี่ห้อ



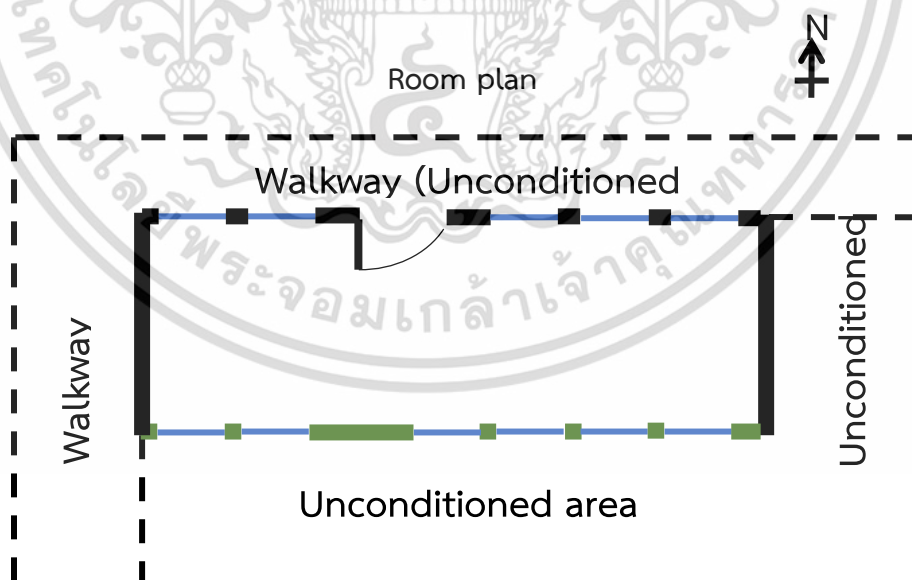
รูปที่ 3.1 ตำแหน่งจ่ายลม (Supply air) และตำแหน่งลมกลับ (Return air)

3.2 การทดลองเพื่อหาผลของอุณหภูมิ, ความเร็วลม และ รูปแบบการกระจายลมเย็นจากเครื่องปรับอากาศที่มีผลต่อความรู้สึกทางความสบายและความร้อนของผู้อาศัย ในรูปแบบการทำ ความเย็นแบบรวดเร็วของเครื่องปรับอากาศ

3.2.1 ห้องทดลองและอุปกรณ์

1. ห้องทดลอง

กว้าง 4.30 เมตร ยาว 6.72 เมตร สูง 3.34 เมตร ตั้งอยู่ที่ชั้น 3 ตึกวิศวกรรมเครื่องกล โดยมีห้องข้างเคียงและโถงทางเดินที่ไม่ได้ปรับอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งของห้องทดลองที่ตึกวิศวกรรมเครื่องกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ Load ความร้อนในห้องทดลองที่จะเกิดขึ้นระหว่างทดลองจะมีค่าประมาณ 11,444 BTU/hr. ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 Cooling load ของห้องทดลอง

		DB(F)	WB(F)	RH(%)	W(gr/lb)					
Design	Outdoor	91.4								
Conditions	Room	86.9	79.7	80						
Conduction	Direction	Color	U	A, ft ²		CLTD, F		LM	SCL(BTU/hr)	
				Gross	Net	Table				
Glass	N		1.01		91.784	13	-3		1483.22782	
	S		1.01		132.4	13	-7		802.346424	
Wall	N		0.235		126.13	11	-3		414.965397	
	W		0.235		152.59	17	-2		681.320155	
	E		0.235		152.59	26	-2		1004.05075	
Roof/ceiling										
Floor										
Partition	S		0.31		109.19	27	-7		676.99908	
Door			0.39		23.681	27			249.356718	
Solar	Direction	Sh.	SHGF	A	SC	CLF				
Glass	N	no	32	91.7839	0.94	0.74		2043.03619		
	S	no	57	132.4	0.69	0.56		2916.09233		
Lights	250 W x 3.41 x 1.2 BF x 1 CLF							1023		
People	250 SHG x 3 n x 1 CLF							750		
	200 LHG x 3 n							600		
Subtotal								12044.3949	600	
Cooling Coil Load								12044.3949	600	11444.39487
Refrigeration Load										11444.39487

2. เครื่องปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type) และแบบติดตั้งขนาด 12,624 BTU/hr. (3.7 kw) โดยมีระดับความเร็วลม 4 ระดับ คือ low, medium, high, และsuper high และมีรูปแบบใบพัด (Vane) 2 แบบ คือ แบบอยู่กับที่ (Fixed vane) มีระดับใบพัด 5 ระดับคือ V1, V2, V3, V4, และV5 และอีกแบบคือแบบสวิง (Swing)



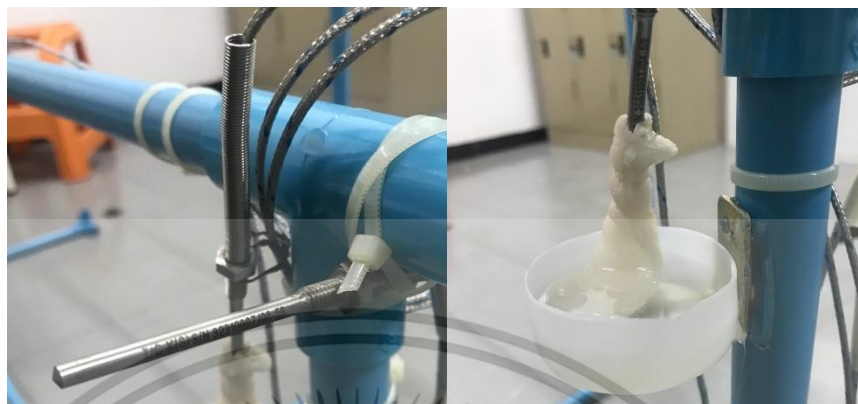
รูปที่ 3.3 เครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.4 ตำแหน่งการแกว่งของใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิและความชื้น ได้แก่ เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)



รูปที่ 3.5 เทอร์โมคัปเปิล

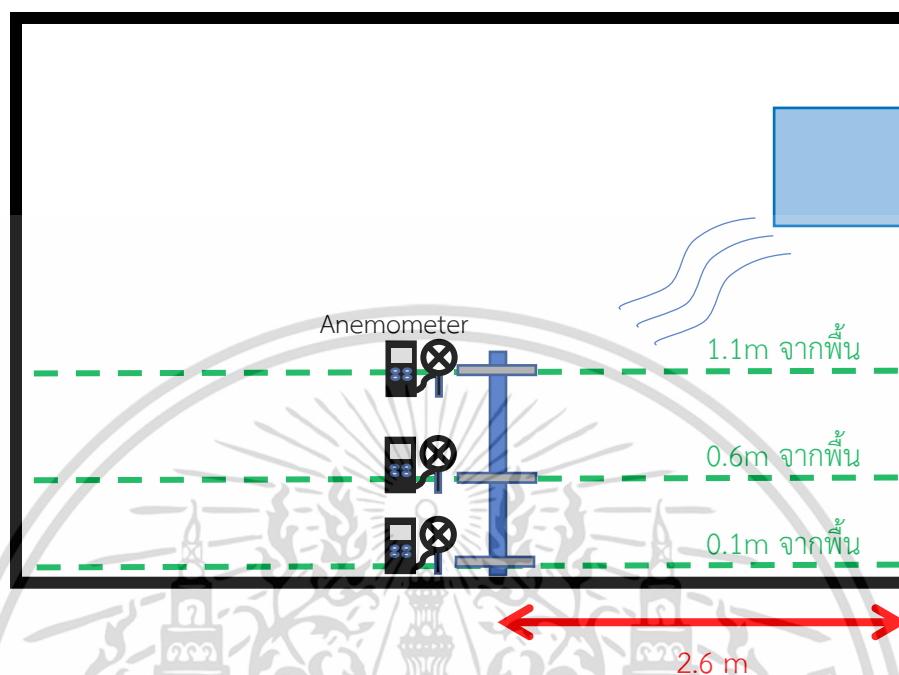
4. อุปกรณ์ที่ใช้วัดความเร็วลม ได้แก่ แอนิมوميเตอร์ (Anemometer)



รูปที่ 3.6 แอนิมوميเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ที่ตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิ, ความชื้น, และความเร็วลม

3.2.2 ผู้ทดสอบและตำแหน่งผู้ทดสอบ

ผู้ทดสอบคือเพศชาย และเพศหญิง มีช่วงอายุอยู่ระหว่าง 18-22 ปี เมื่ออยู่ในห้องทดลอง ผู้ทดสอบจะอยู่ในชุดเสื้อแขนสั้น กางเกงขาสั้น ไม่ใส่รองเท้าและถุงเท้า โดยก่อนเริ่มการทดลองจะให้ผู้ทดสอบนั่งอยู่ในห้องทดลองที่มีอุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 10 นาที เพื่อเป็นการปรับสภาพร่างกายก่อนทำการทดลอง

3.2.3 แบบประเมินสำหรับผู้ทดสอบ

เป็นแบบประเมินความรู้สึกรู้สึกออนไลน์ ให้ผู้ทดสอบประเมินระหว่างทำการทดลอง ซึ่งแบบประเมินนี้เป็นส่วนหนึ่งในบริการของกลุ่ม Google Form ที่ช่วยให้เราสร้างแบบสอบถามออนไลน์ หรือใช้สำหรับรวบรวมข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว จากนั้นจึงนำค่าประเมินที่ได้จากผู้ทดลองมาวิเคราะห์ข้อมูล โดยแบบประเมินออนไลน์มีลักษณะดังรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.8 แบบประเมินความสบายและความรู้สึกเชิงความร้อน

ในการทดลองแต่ละสภาวะผู้ทดสอบจะต้องทำการประเมินผ่านแบบประเมินภูเกิ้ลฟอร์มในระหว่างที่ทำการทดลองทุก 1 นาที จนกระทั่งผู้ทดสอบเริ่มรู้สึกหนาว และไม่สบายเล็กน้อย จึงหยุดทำการทดลอง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาช่วงเวลาที่ผู้ถูกทดลองเริ่มรู้สึกสบายและไม่สบาย ซึ่งสามารถนำไปหาความสัมพันธ์กับข้อมูลของอุณหภูมิที่บันทึกได้ซึ่งเกณฑ์การให้คะแนนเป็นไปตามตาราง 3.2 และ 3.3

ตารางที่ 3.2 เกณฑ์การให้คะแนน

ความรู้สึกเชิงความร้อน

Sensation scale	ค่า
ร้อน	+3
อุ่น	+2
ค่อนข้างอุ่น	+1
ปกติ	0
ค่อนข้างเย็น	-1
เย็น	-2
หนาว	-3

ตารางที่ 3.3 เกณฑ์การให้คะแนน

ความสบาย

comfort scale	ค่า
สบายมาก	+3
สบาย	+2
สบายเล็กน้อย	+1
ปกติ	0
ไม่สบายเล็กน้อย	-1
ไม่สบาย	-2
ไม่สบายมาก	-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเกณฑ์การให้คะแนนความสบายจะอ้างอิงตามงานวิจัยและการพัฒนาของ Hagino [9] และเกณฑ์การให้คะแนนความรู้สึกเชิงความร้อนจะอ้างอิงตามมาตรฐาน ASHRAE 55 [5]

3.3 สภาพที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองได้ทำการกำหนดสภาวะมาทั้งหมด 8 สภาวะ โดยในแต่ละสภาวะจะเริ่มต้นการทดลองที่อุณหภูมิ 30 องศา โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สภาวะของแต่ละการทดลอง

Condition No.	Temperature of Setting Temp.	Vane direction	Fan speed
1	25	V3	Super High
2	25	Swing	Super High
3	22	V3	Super High
4	22	Swing	Super High
5	19	V3	Super High
6	19	Swing	Super High
7	16	V3	Super High
8	16	Swing	Super High

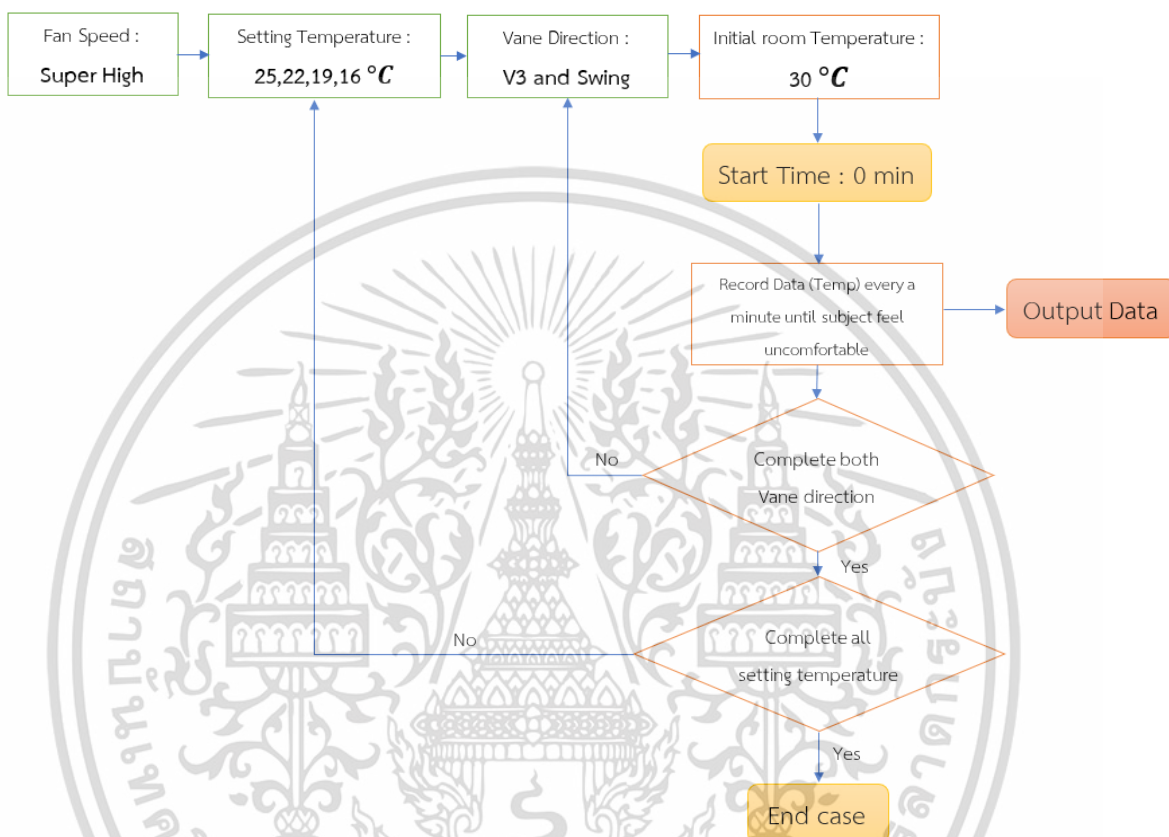
* Fan speed : Super High = 0.82 m/s

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

1. ก่อนเริ่มการทดลองจะต้องทำห้องจะต้องถูกเตรียมให้มีอุณหภูมิ 30 °C อย่างทั่วถึง โดยจากการอ่านค่าอุณหภูมิจาก Data logger
2. ให้ผู้ทดลองนั่งพักข้างนอกห้องทดลองเพื่อปรับสภาพความรู้สึกสบายและความรู้สึกเชิงความร้อนเป็นระยะเวลา 10 นาทีก่อนเริ่มทำการทดลอง เมื่อครบระยะเวลาแล้วจึงเข้ามานั่งตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ในห้องทดลอง
3. ให้ผู้ทดลองเข้าถึงแบบประเมินความรู้สึกสบายและความรู้สึกร้อนและหนาวผ่านโทรศัพท์มือถือและกรอกข้อมูลเบื้องต้นตามที่กำหนดไว้ในแบบประเมิน
4. บันทึกข้อมูลผ่านเครื่อง Data logger และเปิดเครื่องปรับอากาศ โดยโหมดของเครื่องปรับอากาศจะเป็นไปตามสภาวะที่กำหนดไว้
5. ให้ผู้ทดลองเริ่มกรอกข้อมูลในแบบประเมินความรู้สึกฯ โดยกรอกข้อมูลทุกๆ 1 นาที เริ่มตั้งแต่นาทีที่ 0 ไปจนกว่าผู้ถูกทดลองรู้สึกหนาว และไม่สบายเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เมื่อผู้ทดลองรู้สึกหนาวและไม่สบายเล็กน้อย ให้ผู้ถูกทดลองกดส่งแบบประเมินและหยุดทำการทดลอง จากนั้นบันทึกข้อมูลจากเครื่อง Data logger และนำไปวิเคราะห์ข้อมูล



รูปที่ 3.9 แผนภาพขั้นตอนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการทดลองส่วนแรกเป็นผลจากการสำรวจโหมดการทำความเย็นอย่างรวดเร็วของเครื่องปรับอากาศที่จำหน่ายอยู่ในท้องตลาด ส่วนที่ 2 คือผลการทดลองจากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิจากเครื่องปรับอากาศ และจากข้อมูลแบบประเมินของผู้ทดสอบ และส่วนที่ 3 คือการวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดลอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการทดลองจากการสำรวจโหมดการทำความเย็นอย่างรวดเร็วของเครื่องปรับอากาศที่จำหน่ายอยู่ในท้องตลาด

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดในการเก็บข้อมูลของเครื่องปรับอากาศ

	ยี่ห้อ เครื่องปรับอากาศ	ขนาด (BTU/hr)	ระยะเวลาของโหมดทำ ความเย็นอย่างรวดเร็ว (min)	อุณหภูมิเริ่มต้นใน การเก็บข้อมูล (องศา)
1	ยี่ห้อ A	12,624	15	35,30
2	ยี่ห้อ B	12,300	30	35,30
3	ยี่ห้อ C	12,542	20	35,30

4.2 ผลการทดลองจากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิจากเครื่องปรับอากาศ และจากข้อมูลแบบประเมินของผู้ทดสอบ

ผลการทดลองสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ 1) ผลของอุณหภูมิจากห้องทดลอง 2) ผลการประเมินความรู้สึกและความสบายของผู้ทดสอบ โดยทั้งสองประเภทจะแบ่งเป็น 8 สภาวะดังนี้

ตารางที่ 4.2 สภาวะของแต่ละการทดลอง

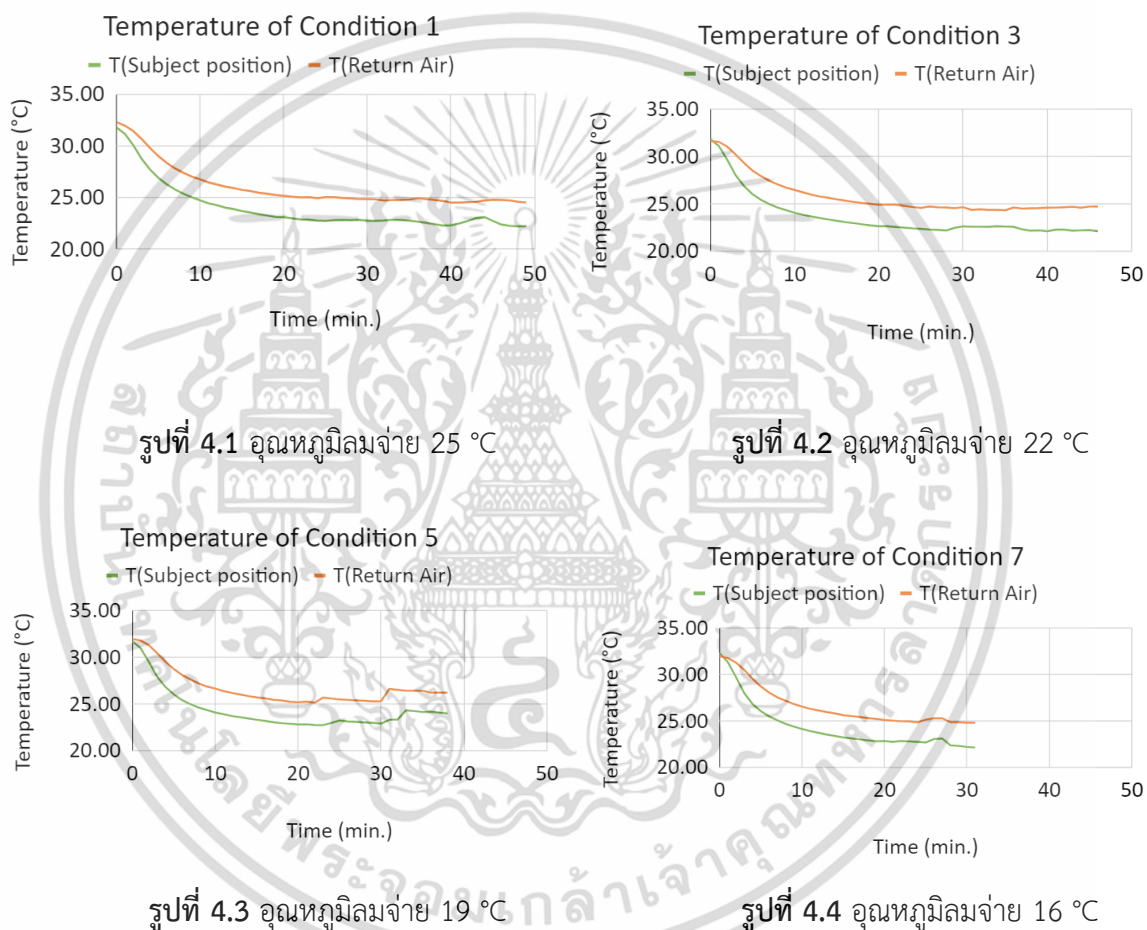
Condition No.	Temperature of Setting Temp.	Vane direction	Fan speed
1	25	V3	Super High
2	25	Swing	Super High
3	22	V3	Super High
4	22	Swing	Super High
5	19	V3	Super High
6	19	Swing	Super High
7	16	V3	Super High
8	16	Swing	Super High

4.2.1 ผลการเก็บข้อมูลของอุณหภูมิจากเครื่องปรับอากาศ

ผลการเก็บข้อมูลของอุณหภูมิจากเครื่องปรับอากาศสามารถแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนคือ

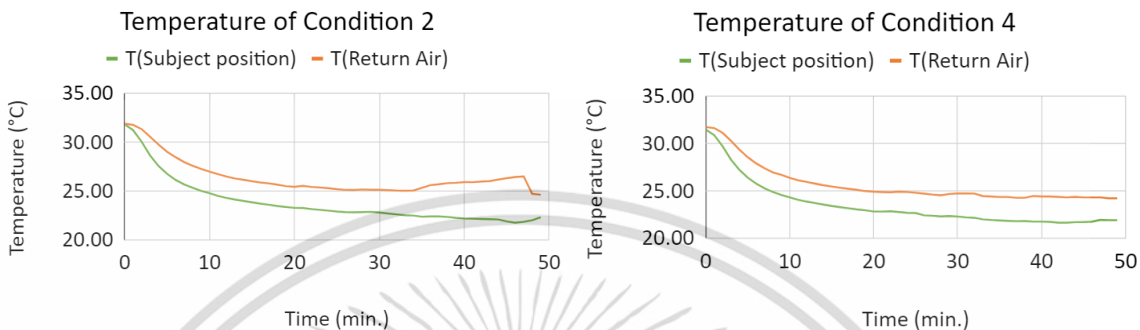
1) แบบใบพัดอยู่กับที่ (Fixed) และ 2) แบบใบพัดสวิง (Swing)

1. แบบใบพัดอยู่กับที่ (Fixed)



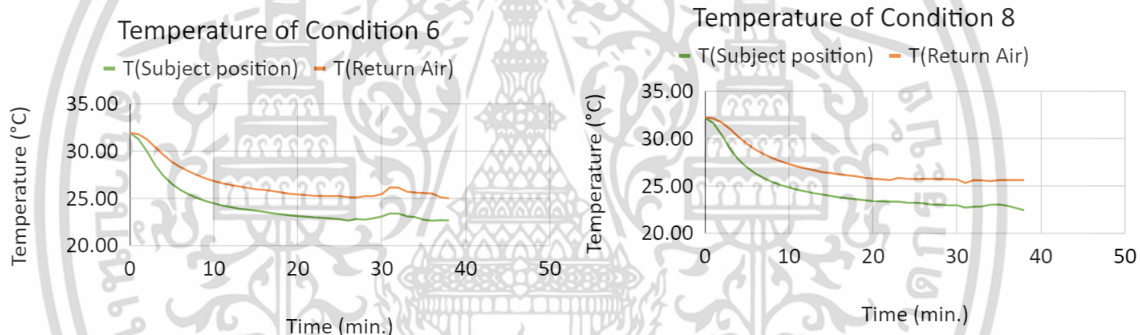
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แบบใบพัดสวิง (Swing)



รูปที่ 4.5 อุณหภูมิลมจ่าย 25 °C

รูปที่ 4.6 อุณหภูมิลมจ่าย 22 °C



รูปที่ 4.7 อุณหภูมิลมจ่าย 19 °C

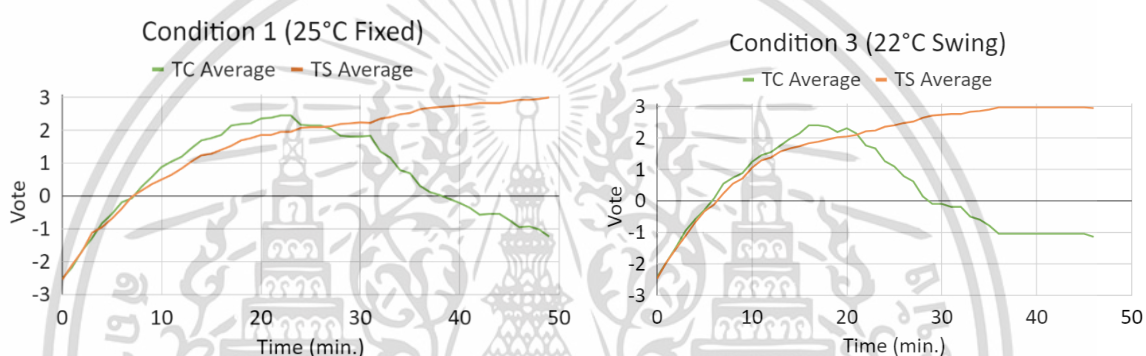
รูปที่ 4.8 อุณหภูมิลมจ่าย 16 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการประเมินความรู้สึก (Thermal Sensation) และความสบาย (Thermal Comfort) ของผู้ทดลอง

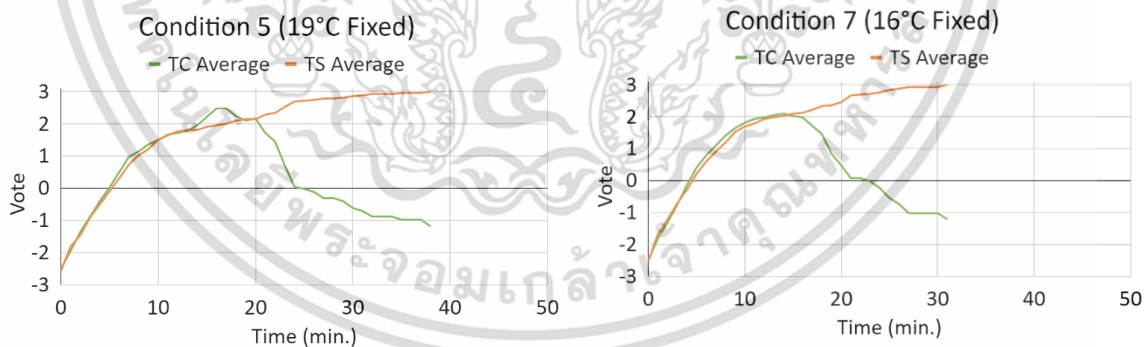
ผลการประเมินความรู้สึกผลการประเมินความรู้สึก และความสบายของผู้ทดลองจะถูกแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนคือ 1) แบบไบพัตคงที่ และ 2) แบบไบพัตสวิง

1. แบบไบพัตอยู่กับที่ (Fixed)



รูปที่ 4.9 อุณหภูมิคงที่ 25 °C

รูปที่ 4.10 อุณหภูมิสวิง 22 °C

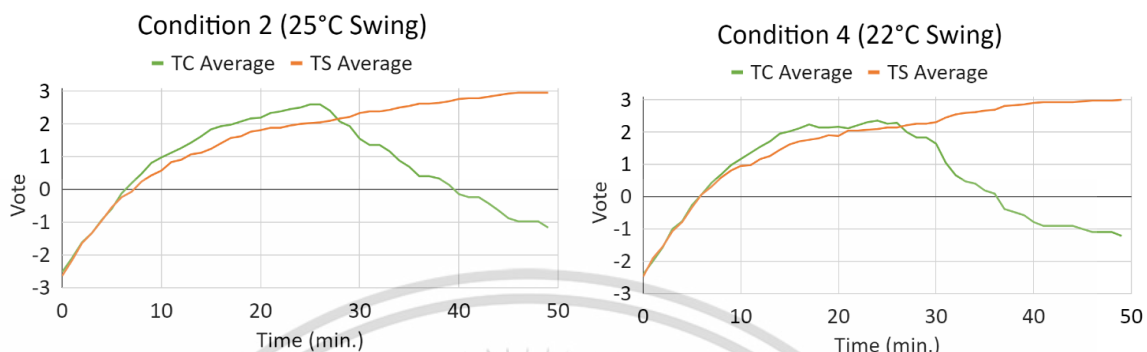


รูปที่ 4.11 อุณหภูมิคงที่ 19 °C

รูปที่ 4.12 อุณหภูมิคงที่ 16 °C

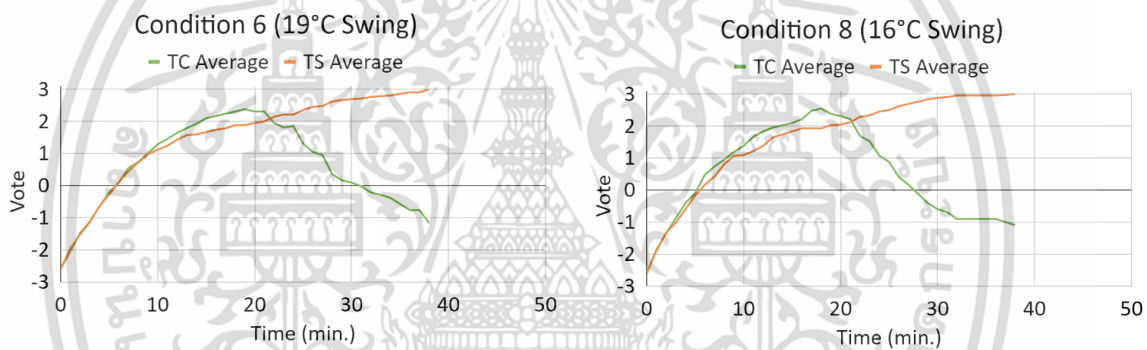
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แบบใบพัดสวิง (Swing)



รูปที่ 4.13 อุณหภูมิลมจ่าย 25 °C

รูปที่ 4.14 อุณหภูมิลมจ่าย 22 °C



รูปที่ 4.15 อุณหภูมิลมจ่าย 19 °C

รูปที่ 4.16 อุณหภูมิลมจ่าย 16 °C

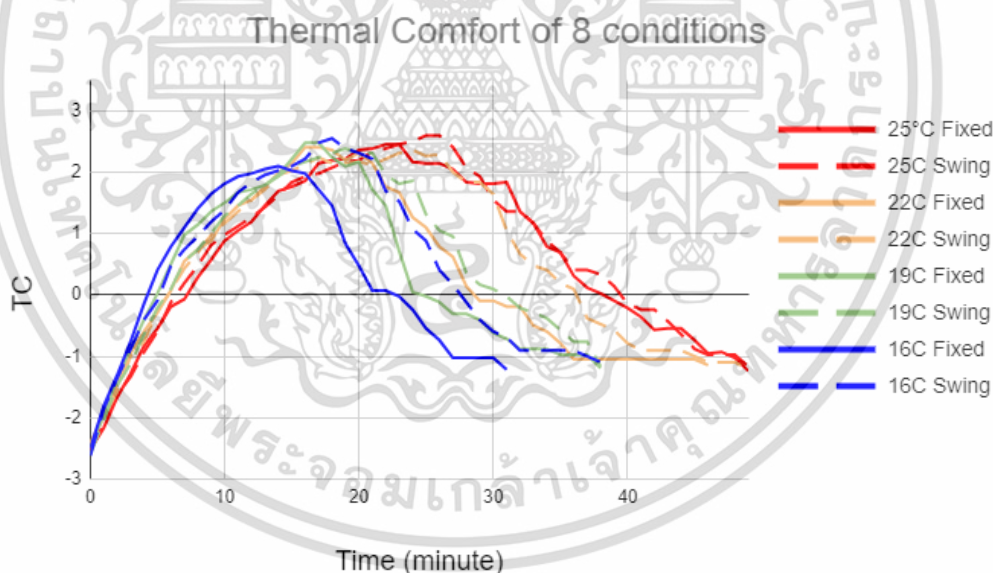
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้ทำการแบ่งออกเป็น 4 หัวข้อหลัก คือ วิเคราะห์ข้อมูลจากกลุ่มผู้ทดสอบ, วิเคราะห์ข้อมูลจากเครื่องปรับอากาศ, วิเคราะห์ข้อมูลร่วมกันระหว่างกลุ่มผู้ทดลองและเครื่องปรับอากาศ และการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model)

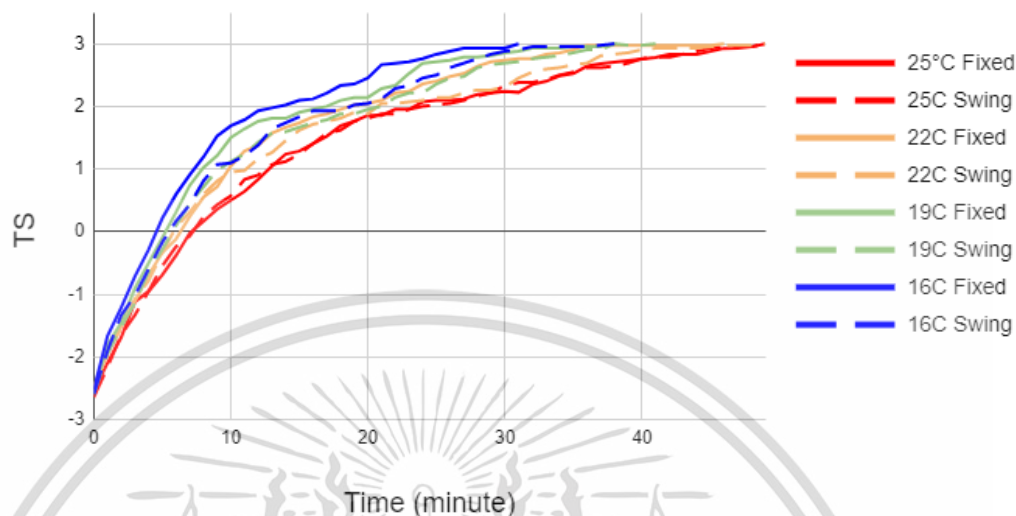
4.3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลจากกลุ่มผู้ทดสอบ

1. จากการเปรียบเทียบของความสบายเชิงความร้อน กับเวลาจากรูปที่ 4.17 และ 4.18 จะสังเกตได้ว่าเมื่อเริ่มการทดลองในนาที่ที่ 0 ผู้ถูกทดลองนั่งอยู่ในห้องที่มีอุณหภูมิ 30 องศาจะรู้สึกไม่สบายและร้อน จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปผู้ถูกทดลองเริ่มรู้สึกสบายและเย็นขึ้น โดยสภาวะการทดลองที่มีรูปแบบการกระจายลมแบบคงที่จะส่งผลให้ผู้ถูกทดลองรู้สึกสบายได้เร็วกว่าสภาวะการทดลองที่มีรูปแบบการกระจายลมแบบสวิง แต่จะส่งผลให้รู้สึกไม่สบายและหนาวได้เร็วกว่าเช่นกัน โดยอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดจะส่งผลให้รู้สึกสบาย และหนาวได้เร็วที่สุดและไล่เพิ่มขึ้นไปตามลำดับ



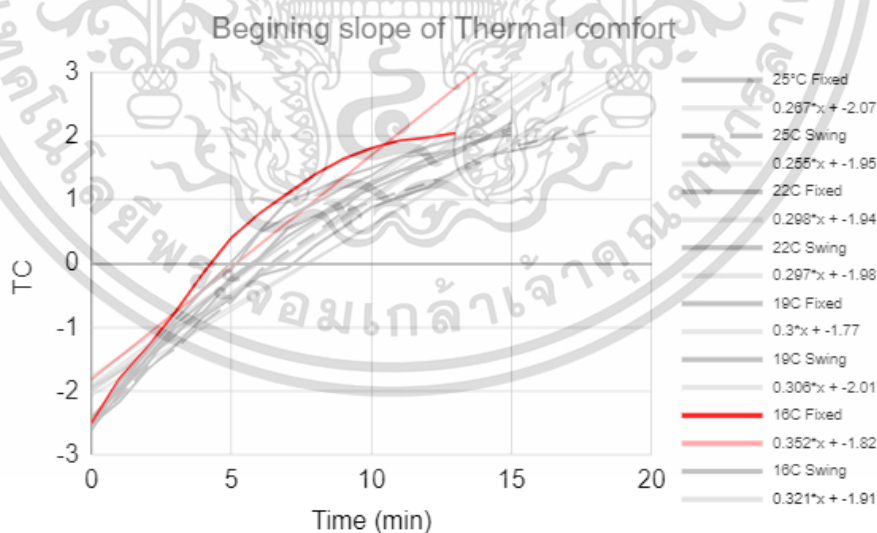
รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ของความสบายเชิงความร้อนเทียบกับเวลาของทั้ง 8 สภาวะการทดลอง

Thermal Sensation of 8 conditions



รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ของความรู้สึกเชิงความร้อนเทียบกับเวลาของทั้ง 8 สถานะการทดลอง

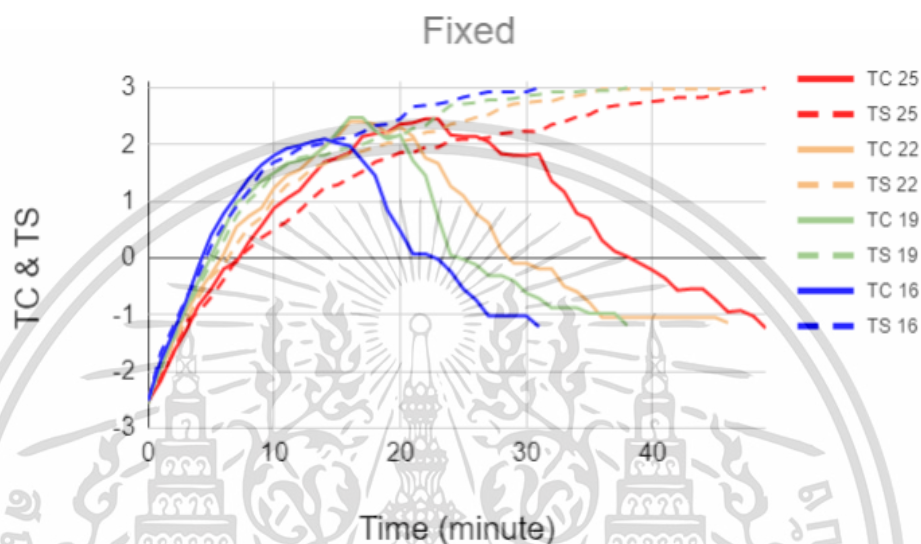
2. จากการเปรียบเทียบความชันของกราฟในช่วงนาที่ที่ 0 จนถึงนาที่ที่ผู้ถูกทดลองรู้สึกสบายของทั้ง 8 สถานะการทดลอง พบว่าสถานะการทดลองที่ 7 หรือที่อุณหภูมิ 16 °C และการกระจายลมแบบคงที่มีความชันที่สุด จึงเป็นสถานะการทดลองที่ส่งผลให้ผู้ถูกทดลองรู้สึกสบายได้เร็วที่สุดดังรูปที่ 4.19



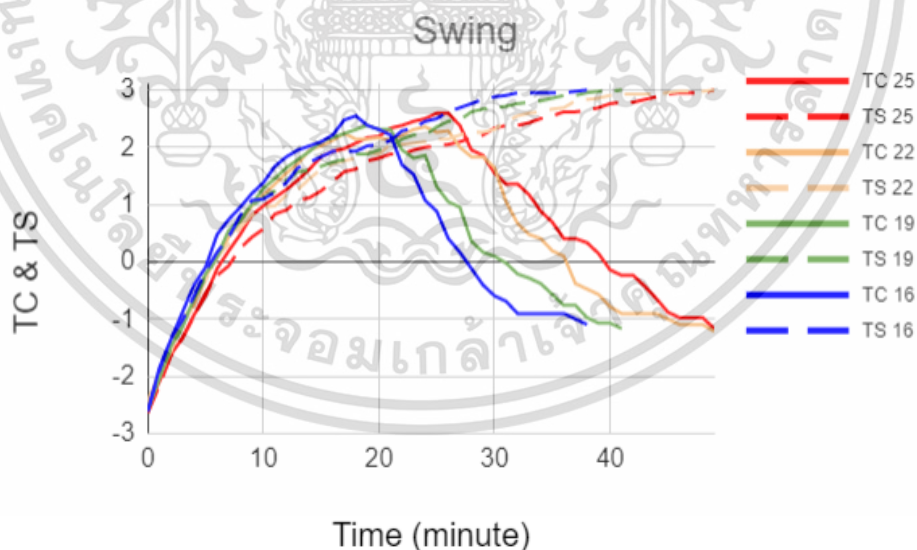
รูปที่ 4.19 กราฟความชันของความสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort) เทียบกับเวลาในช่วงผู้ถูกทดลองรู้สึกสบายของทั้ง 8 สถานะการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จากกราฟความสัมพันธ์ของความสบายเชิงความร้อน และความรู้สึกเชิงความร้อน พบว่าจุดที่ผู้ถูกทดลองรู้สึกไม่สบายและหนาวคือจุดที่ตัดกันของสองสภาวะนี้ดังรูปที่ 4.20 และ 4.21 จึงพบว่าสภาวะการทดลองที่ส่งผลให้ผู้ถูกทดลองรู้สึกสบาย และเย็นได้นานที่สุดคือ สภาวะการทดลองที่ 2 หรือ ที่อุณหภูมิ 25 °C และการกระจายลมแบบสวิง



รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ของความสบายเชิงความร้อน ความรู้สึกเชิงความร้อน และเวลาในรูปแบบการกระจายลมแบบคงที่ของทั้ง 8 สภาวะการทดลอง



รูปที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ของความสบายเชิงความร้อน ความรู้สึกเชิงความร้อน และเวลาในรูปแบบการกระจายลมแบบสวิง ของทั้ง 8 สภาวะการทดลอง

4.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลจากเครื่องปรับอากาศ

จุดประสงค์ของการวิเคราะห์ข้อมูลจากเครื่องปรับอากาศ คือ ต้องการทราบค่า NET และ $\Sigma X(t)$ โดยค่า $\Sigma X(t)$ เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณความร้อนที่ถูกนำออกไปจากห้องทดลองโดยเครื่องปรับอากาศ ซึ่งการที่จะหาค่า NET และ $\Sigma X(t)$ ได้นั้นต้องการข้อมูลทั้งหมด 3 ตัวแปรคือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม การวิเคราะห์ข้อมูลจากเครื่องปรับอากาศจึงจำเป็นต้องเก็บข้อมูลจากเครื่องปรับอากาศ ทั้งหมด 3 อย่าง คือ อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์, และความเร็วลมที่ตำแหน่งของผู้ทดสอบกับตำแหน่งลมกลับ (Return air) โดยสมการ NET คือ

$$NET = 37 - \frac{37 - T}{0.68 - 0.0014 \times H + \frac{1}{1.76 + 1.4 \times v^{0.75}}} - 0.29 \times T \times \left(1 - \frac{H}{100}\right) \quad (4.1)$$

จะเห็นได้ว่าจากสมการ NET มีทั้งหมด 3 ตัวแปร คือ

T = Temperature (°C)

H = Humidity (%)

V = Velocity (m/s)

ซึ่งจากสมการ NET จะเห็นได้ว่ามีทั้งหมด 3 ตัวแปร จึงนำข้อมูลของอุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์หาค่า NET ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เก็บข้อมูลอุณหภูมิที่นาฬิกาที่ความสูง 3 ระดับ (0.1 m, 0.6 m, and 1.1m) และอุณหภูมิลมกลับ จากนั้นจึงสร้างกราฟเพื่อดูแนวโน้มการลดลงของอุณหภูมิในห้องว่ามีค่าเร็วเพียงใดในแต่ละสภาวะการทดลองที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิที่ระดับความสูง 3 ระดับของแต่ละครั้งในการทดลอง

Temperature (°C)													
	Trial	Height from floor	Temperature										
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M1	1	1.1m	32.3	31.9	31.4	30.8	30.1	29.2	28.5	27.7	27	26.6	26.3
		0.6m	31.8	31.5	30.8	29.6	28.4	27.5	26.9	26.3	25.5	24.9	24.3
		0.1m	31.1	31.1	30.7	30	29.2	28.2	27.4	26.5	25.7	25.2	24.6
M2	2	1.1m	32.3	31.9	31.4	30.8	30.1	29.2	28.5	27.7	27	26.6	26.3
		0.6m	31.8	31.5	30.8	29.6	28.4	27.5	26.9	26.3	25.5	24.9	24.3
		0.1m	31.1	31.1	30.7	30	29.2	28.2	27.4	26.5	25.7	25.2	24.6
M3	3	1.1m	31.8	31.4	30.6	29.5	28.4	27.5	26.9	26.4	26	25.7	25.5
		0.6m	31.3	30.6	29.2	27.5	26.6	25.9	25.3	24.8	24.5	24.1	23.9
		0.1m	31.2	30.5	29.2	27.7	26.6	25.8	25.2	24.8	24.4	24.1	23.8
M4	4	1.1m	32.2	31.5	30.1	28.6	27.5	27	26.5	26.2	25.9	25.6	25.3
		0.6m	31.2	29.7	27.7	26.4	25.4	24.6	24.1	23.8	23.5	23.2	23
		0.1m	31.3	30.3	28.6	27	26.1	25.4	24.8	24.4	24.1	23.9	23.6
M5	5	1.1m	32.8	32.4	31.8	30.6	29.6	28.7	28	27.5	27.4	27.1	26.8
		0.6m	32.3	31.6	29.8	27.8	26.9	26.4	26	25.7	25.5	25.4	25
		0.1m	31.6	31.1	30.1	28.5	27.4	26.5	25.9	25.4	25.2	25.1	24.8
M6	6	1.1m	32.5	30.8	28.9	26.8	25.4	24.6	23.9	23.6	23.3	23	22.8
		0.6m	32.4	30.8	28.9	26.9	25.4	24.7	24.1	23.7	23.3	23.1	22.8
		0.1m	31.7	30.8	29.3	27.6	26.3	25.5	24.8	24.3	23.9	23.6	23.4
M7	7	1.1m	32.5	30.8	28.9	26.8	25.4	24.6	23.9	23.6	23.3	23	22.8
		0.6m	32.4	30.8	28.9	26.9	25.4	24.7	24.1	23.7	23.3	23.1	22.8
		0.1m	31.7	30.8	29.3	27.6	26.3	25.5	24.8	24.3	23.9	23.6	23.4
M8	8	1.1m	32.4	32.1	31.7	31.1	30.5	29.8	29.2	28.5	28.2	27.9	27.5
		0.6m	32.2	31.8	31	30	29	28.3	27.7	27.2	26.8	26.4	26.1
		0.1m	31.8	31.6	31.2	30.5	29.6	28.8	28	27.5	27	26.6	26.3
M9	9	1.1m	32.4	32.1	31.7	31.1	30.5	29.8	29.2	28.5	28.2	27.9	27.5
		0.6m	32.2	31.8	31	30	29	28.3	27.7	27.2	26.8	26.4	26.1
		0.1m	31.8	31.6	31.2	30.5	29.6	28.8	28	27.5	27	26.6	26.3
M10	10	1.1m	31.5	32.2	31.5	30.1	28.6	27.5	27	26.5	26.2	25.9	25.6
		0.6m	31.3	31.2	29.7	27.7	26.4	25.4	24.6	24.1	23.8	23.5	23.2
		0.1m	31.1	31.3	30.3	28.6	27	26.1	25.4	24.8	24.4	24.1	23.9

2. นำค่าอุณหภูมิทั้ง 3 ระดับความสูงจากผู้ทดลองทั้งหมด 42 คน มาเฉลี่ยหาค่าอุณหภูมิในแต่ละนาที โดยจะเรียกจุดที่ผู้ทดสอบนั่งทดลองอยู่ว่า subject position

ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 3 ระดับจากผู้ทดลองทั้งหมดที่จุดผู้ทดสอบ

F16	40	1.1m	32.8	32.4	31.9	30.6	29.6	28.7
		0.6m	32.9	31.6	29.8	27.8	26.9	26.4
		0.1m	31.6	31.1	30.1	28.9	27.4	26.5
F17	41	1.1m	31.6	31.3	30.1	28.5	27	25.9
		0.6m	31.4	30.7	29	26.8	25.4	24.4
		0.1m	31	30.4	29	27.1	25.8	24.8
F18	42	1.1m	31.6	31.3	30.1	28.5	27	25.9
		0.6m	31.4	30.7	29	26.8	25.4	24.4
		0.1m	31	30.4	29	27.1	25.8	24.8
Subject position			31.75984127	31.15952381	30.05952381	28.73571429	27.70634921	26.9047619

3. จากนั้นหาอุณหภูมิลมกลับ (Return air temperature) เฉลี่ยออกมาเช่นเดียวกับการหาอุณหภูมิเฉลี่ยที่จุดผู้ทดสอบ

ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิที่ตำแหน่งลมกลับของแต่ละครั้งในการทดลอง

RA (Return Air)											
Time	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M1	31.2	31.2	30.8	30.1	29.3	28.7	28	27.5	27.1	26.8	26.5
M2	31.9	31.8	31.3	30.8	30.3	29.7	29.2	28.8	28.3	28	27.7
M3	32.8	32.6	32.2	31.6	31	30.3	29.6	28.9	28.2	27.8	27.4
M4	31.5	31.5	31.3	31.1	30.8	30.4	29.9	29.5	29.1	28.8	28.5
M5	32.8	32.7	32.3	31.5	30.6	29.7	29	28.5	28.3	28	27.7
M6	32.9	32.7	32.4	31.9	31.3	30.8	30.3	29.8	29.5	29.1	28.8
M7	33.2	33.1	32.8	32.4	31.8	31.2	30.6	30.1	29.5	29.2	28.8
M8	31.9	31.8	31.3	30.8	30.3	29.7	29.2	28.8	28.3	28	27.7
M9	32.8	32.6	32.2	31.6	31	30.3	29.6	28.9	28.2	27.8	27.4
M10	33.2	30.9	30.6	30	29.2	28.4	27.8	27.4	27	26.7	26.4
M11	33.2	30.9	30.6	30	29.2	28.4	27.8	27.4	27	26.7	26.4
M12	31	30.9	30.6	30	29.2	28.4	27.8	27.4	27	26.7	26.4
M13	32.1	31.9	31.4	30.6	29.5	28.7	28.1	27.5	27.2	26.8	26.5
M14	32.1	31.9	31.4	30.6	29.5	28.7	28.1	27.5	27.2	26.8	26.5
M15	32.6	32.1	31.3	30.2	29.3	28.5	27.9	27.5	27.1	26.7	26.5
M16	32.6	32.1	31.3	30.2	29.3	28.5	27.9	27.5	27.1	26.7	26.5
M17	32.1	31.8	31.1	30.3	29.3	28.5	27.7	27	26.6	26.3	26.1
M18	32.1	31.8	31.1	30.3	29.3	28.5	27.7	27	26.6	26.3	26.1
M19	32.3	32.1	31.4	30.3	29.3	28.4	27.6	27.1	26.7	26.4	26
M20	32.3	32.1	31.4	30.3	29.3	28.4	27.6	27.1	26.7	26.4	26
M21	31.9	31.8	31.3	30.5	29.5	28.5	27.8	27.2	26.7	26.2	26.1
M22	31.9	31.8	31.3	30.5	29.5	28.5	27.8	27.2	26.7	26.2	26.1
M23	31.7	31.6	30.9	30	28.9	28.1	27.5	27	26.6	26.3	26.1
M24	31.7	31.6	30.9	30	28.9	28.1	27.5	27	26.6	26.3	26.1
F1	32.6	32.1	31.3	30.2	29.3	28.5	27.9	27.5	27.1	26.7	26.5
F2	32.1	31.9	31.4	30.6	29.5	28.7	28.1	27.5	27.2	26.8	26.5
F3	32.8	32.6	32.2	31.6	31	30.3	29.6	28.9	28.2	27.8	27.4
F4	33.2	31.9	31.4	30.6	29.5	28.7	28.1	27.5	27.2	26.8	26.5
F5	32.8	32.7	32.3	31.5	30.6	29.7	29	28.5	28.3	28	27.7

ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิเฉลี่ยที่ตำแหน่งลมกลับ

F16	32.3	32.1	31.4	30.3	29.3	28.4	27.6	27.1
F17	31.9	31.8	31.3	30.5	29.5	28.5	27.8	27.2
F18	31.9	31.8	31.3	30.5	29.5	28.5	27.8	27.2
RA	32.30238095	31.95	31.42380952	30.65952381	29.78809524	29.00714286	28.3547619	27.81666667

4. นำข้อมูลทั้งกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกที่จุดต่างๆ มาคำนวณหาค่า %RH ของจุดที่ผู้ทดสอบ และตำแหน่งลมกลับ จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ย %RH ของทั้งที่จุดที่ผู้ทดสอบ และตำแหน่งลมกลับ โดยสมการหาค่า %RH คือ

$$U = \frac{100 \left[\exp \left[1.8096 + \left(\frac{17.2694 T_w}{237.3 + T_w} \right) \right] - 7.866 \times 10^{-4} P (T - T_w) \left(1 + \frac{T_w}{610} \right) \right]}{\exp \left[1.8096 + \left(\frac{17.2694 T}{237.3 + T} \right) \right]} \quad (4.2)$$

เมื่อ U = Relative Humidity (%)

T = Dry bulb Temperature (°C)

T_w = Wet bulb Temperature (°C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P = Station Level Pressure (hPA)

ตารางที่ 4.7 ค่า %RH ที่นาที่ต่างๆ ที่จุดผู้ทดสอบ และตำแหน่งลมกลับ

		%RH								
		time	0	1	2	3	4	5	6	7
1	M1	B	52.98061365	55.25881899	58.41474539	62.36525284	65.40869527	67.51710527	69.10432227	70.17968876
		RA	50.43693457	51.33715028	53.65280838	57.55960432	61.65380514	64.26256507	66.41759633	67.9940542
		OA	63.14119363	63.60617168	64.00722256	64.00722256	64.00722256	62.8566607	62.9283235	62.8566607
2	M2	B	52.98061365	55.25881899	58.41474539	62.36525284	65.40869527	67.51710527	69.10432227	70.17968876
		RA	50.43693457	51.33715028	53.65280838	57.55960432	61.65380514	64.26256507	66.41759633	67.9940542
		OA	63.14119363	63.60617168	64.00722256	64.00722256	64.00722256	62.8566607	62.9283235	62.8566607
3	M3	B	60.28948466	62.81538994	68.25894405	74.10858614	76.52919615	76.910316	77.35724624	77.87045848
		RA	60.81540885	60.81540885	63.58226892	68.18531745	73.02131859	75.4582294	80.12334868	83.62328861
		OA	72.74091179	73.42915473	74.8133393	76.15826709	76.86091532	78.18312379	78.22872224	78.8966839
4	M4	B	60.28948466	62.81538994	68.25894405	74.10858614	76.52919615	76.910316	77.35724624	77.87045848
		RA	60.81540885	60.81540885	63.58226892	68.18531745	73.02131859	75.4582294	80.12334868	83.62328861
		OA	72.74091179	73.42915473	74.8133393	76.15826709	76.86091532	78.18312379	78.22872224	78.8966839
5	M5	B	59.87005261	62.32285464	66.04389553	69.37085972	70.17968876	68.41276487	68.8473601	69.36245039
		RA	55.11696647	55.59520555	56.97191145	59.8458378	63.43775454	65.97475448	68.12718053	69.82409028
		OA	65.18052017	64.61920257	65.74643074	65.1108499	64.54859488	64.47762973	64.47762973	64.47762973
6	M6	B	59.87005261	62.32285464	66.04389553	69.37085972	70.17968876	68.41276487	68.8473601	69.36245039
		RA	55.11696647	55.59520555	56.97191145	59.8458378	63.43775454	65.97475448	68.12718053	69.82409028
		OA	65.18052017	64.61920257	65.74643074	65.1108499	64.54859488	64.47762973	64.47762973	64.47762973
7	M7	B	52.98061365	55.25881899	58.41474539	62.36525284	65.40869527	67.51710527	69.10432227	70.17968876
		RA	50.43693457	51.33715028	53.65280838	57.55960432	61.65380514	64.26256507	66.41759633	67.9940542
		OA	63.14119363	63.60617168	64.00722256	64.00722256	64.00722256	62.8566607	62.9283235	62.8566607
8	M8	B	59.87005261	62.32285464	66.04389553	69.37085972	70.17968876	68.41276487	68.8473601	69.36245039
		RA	55.11696647	55.59520555	56.97191145	59.8458378	63.43775454	65.97475448	68.12718053	69.82409028
		OA	65.18052017	64.61920257	65.74643074	65.1108499	64.54859488	64.47762973	64.47762973	64.47762973
9	M9	B	59.87005261	62.32285464	66.04389553	69.37085972	70.17968876	68.41276487	68.8473601	69.36245039
		RA	55.11696647	55.59520555	56.97191145	59.8458378	63.43775454	65.97475448	68.12718053	69.82409028
		OA	65.18052017	64.61920257	65.74643074	65.1108499	64.54859488	64.47762973	64.47762973	64.47762973

ตารางที่ 4.8 ค่า %RH เฉลี่ยของจุดผู้ทดสอบ และตำแหน่งลมกลับ

Position	%RH (Average)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Subject position	54.29800906	56.99843235	61.24587237	66.13031963	68.63667874	69.57189792	70.45575862	71.11314569
RA	52.84052541	53.52262245	55.84140767	59.12047716	63.01926619	65.99460181	68.37636676	70.2001919

5. เมื่อได้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย ความชื้นเฉลี่ย และ ความเร็วลมมาแล้ว ซึ่งครบทั้ง 3 ตัวแปรของสมการ NET จึงสามารถนำมาคำนวณหาค่า NET ได้

โดยใช้โปรแกรม Microsoft word Excel ในการคำนวณหาค่า NET ในแต่ละนาที่ออกมาจะได้ดังตารางที่ 4.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ตารางคำนวณค่า NET

Time (min.)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T(B)	31.91	31.51	30.72	29.61	28.68	27.90	27.25	26.70	26.25	25.91	25.56
RH(B)	62.06	63.50	66.15	69.53	71.45	71.75	72.76	73.54	73.51	73.59	73.79
Term 1 (B)	5.09	5.49	6.28	7.39	8.32	9.10	9.75	10.30	10.75	11.09	11.44
Term 2 (B)	0.986507	0.984497	0.980785	0.976052	0.973364	0.972949	0.971525	0.970431	0.970483	0.970374	0.970086
Term 3 (B)	3.510834	3.335956	3.015665	2.616287	2.374852	2.285779	2.152606	2.048411	2.016909	1.984427	1.942556
NET (B)	28.33067	28.09154	27.58074	26.81069	26.0809	25.35836	24.81449	24.33775	23.90899	23.58241	23.26296

6. เมื่อได้ค่า NET มาแล้วจึงสามารถหาค่า $\Sigma X(t)$ โดยสมการของ $\Sigma X(t)$ คือ

$$\Sigma X(t) = \sum_{i=0}^n (NET(t_0) - NET(t_n)) \quad (4.3)$$

เมื่อ i = เวลาเริ่มต้นการทดลอง

n = เวลาที่ผู้ทดสอบรู้สึกหิว และไม่สบาย

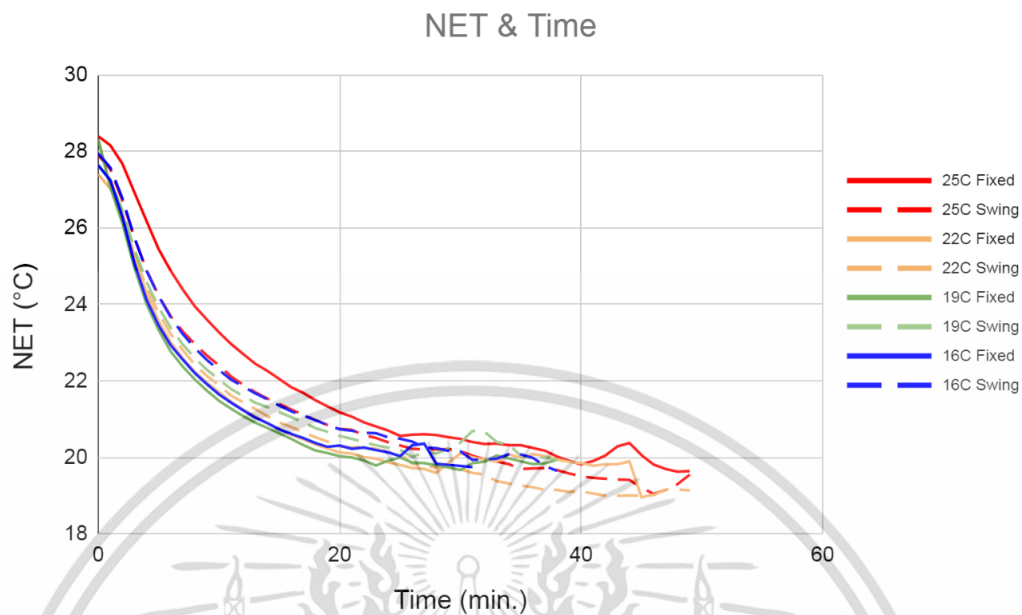
จะเห็นได้ว่าการจะหาค่า $\Sigma X(t)$ นั้น สืบเนื่องมาจากการใช้ค่า NET มาคำนวณหาต่อ จึงสร้างตารางหาค่า $\Sigma X(t)$ ต่อลงมาจากตารางหาค่า NET ได้ออกมาเป็นดังตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.10 ตารางคำนวณค่า $\Sigma X(t)$

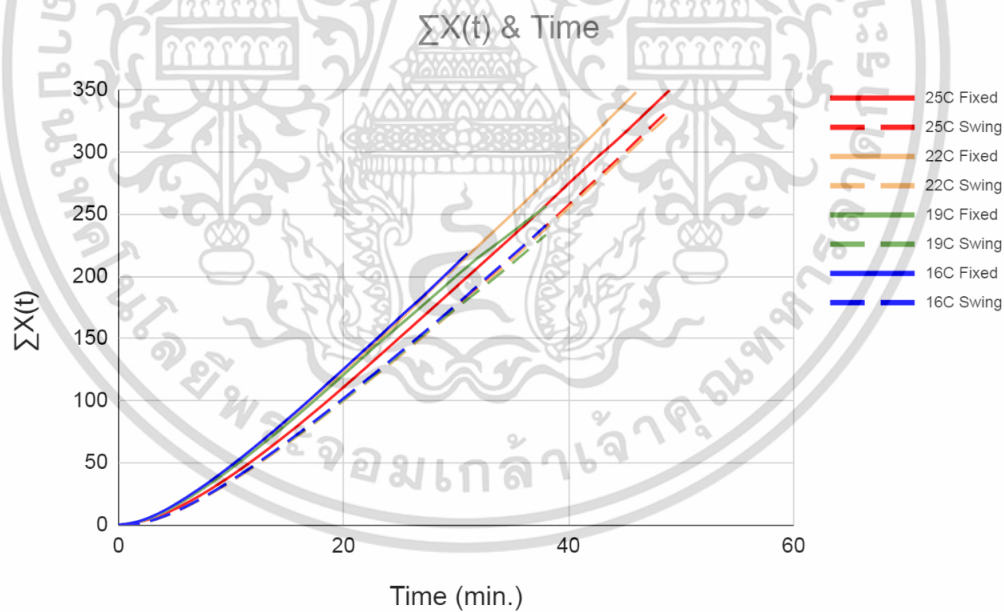
Time (min.)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T(B)	31.91	31.51	30.72	29.61	28.68	27.90	27.25	26.70	26.25	25.91	25.56
RH(B)	62.06	63.50	66.15	69.53	71.45	71.75	72.76	73.54	73.51	73.59	73.79
Term 1 (B)	5.09	5.49	6.28	7.39	8.32	9.10	9.75	10.30	10.75	11.09	11.44
Term 2 (B)	0.986507	0.984497	0.980785	0.976052	0.973364	0.972949	0.971525	0.970431	0.970483	0.970374	0.970086
Term 3 (B)	3.510834	3.335956	3.015665	2.616287	2.374852	2.285779	2.152606	2.048411	2.016909	1.984427	1.942556
NET (B)	28.33067	28.09154	27.58074	26.81069	26.0809	25.35836	24.81449	24.33775	23.90899	23.58241	23.26296
X(t) (B)	0	0.239129	0.749935	1.519984	2.249774	2.972313	3.516183	3.992924	4.421682	4.748257	5.067716
Time(min.)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Sigma X(t)$ (B)	0	0.239129	0.989064	2.509048	4.758822	7.731135	11.24732	15.24024	19.66192	24.41018	29.4779

7. สุดท้ายทำการสร้างกราฟเพื่อเปรียบเทียบค่า NET และค่า $\Sigma X(t)$ ของทั้ง 8 สภาวะการทดลอง เพื่อนำมาใช้หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่อไปในหัวข้อ 4.2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 กราฟเปรียบเทียบค่า NET ทั้ง 8 สภาวะ



รูปที่ 4.23 กราฟเปรียบเทียบค่า $\Sigma X(t)$ ทั้ง 8 สภาวะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การวิเคราะห์ร่วมกันระหว่างข้อมูลจากผู้ทดสอบและเครื่องปรับอากาศ

จากการรวบรวมผลโหวตแบบความสบายเชิงความร้อน และความรู้สึกเชิงความร้อนของผู้ทดลอง และได้ค่า NET, $\Sigma X(t)$, และลมกลับ มาจากเครื่องปรับอากาศ จึงนำทั้ง 3 ข้อมูลนี้มาวิเคราะห์ร่วมกันเพื่อสังเกตความรู้สึกของผู้ทดลองที่ได้รับผลมาจากเครื่องปรับอากาศ

จากการคำนวณพบว่า ผู้ทดลองจะรู้สึกสบาย (ค่าเฉลี่ย Thermal comfort = 2) เมื่อค่า NET, $\Sigma X(t)$, และอุณหภูมิที่ลมกลับ มีค่าเป็นดังนี้

ตารางที่ 4.11 ค่า NET, $\Sigma X(t)$, และอุณหภูมิที่ลมกลับที่ทำให้ผู้ทดลองรู้สึกสบาย (Thermal comfort = 2)

Condition	TC @ < 2	TC @ > 2	NET @ TC < 2	NET @ TC > 2	NET @ TC = 2
1	1.857142857	2.142857143	21.83370372	21.68459312	21.75914842
2	1.976190476	2.071428571	21.11448272	20.9769988	21.08006674
3	1.976190476	2.142857143	20.89235965	20.75156236	20.87224489
4	1.952380952	2.023809524	21.07985385	20.91114481	20.96739282
5	1.952380952	2.214285714	21.04972587	20.90117226	21.02271612
6	1.928571429	2.095238095	21.31888015	21.18366991	21.2609329
7	1.976190476	2.047619048	21.23297453	21.04388863	21.1699459
8	1.952380952	2.023809524	21.67824398	21.52177875	21.57326516
Range of NET ที่ทำให้คนรู้สึกเข้าสู่ภาวะสบายคือ 20.872 °C - 21.759 °C					
Condition	TC @ < 2	TC @ > 2	$\Sigma X(t)$ @ TC < 2	$\Sigma X(t)$ @ TC > 2	$\Sigma X(t)$ @ TC = 2
1	1.857142857	2.142857143	80.4053386	87.83234149	84.11884005
2	1.976190476	2.071428571	79.23841965	86.16917099	80.9711075
3	1.976190476	2.142857143	74.40569291	82.06428054	75.49977686
4	1.952380952	2.023809524	58.99644538	65.48884168	63.32470958
5	1.952380952	2.214285714	73.81376413	81.31459658	75.17755186
6	1.928571429	2.095238095	59.90424434	66.3626808	62.67214559
7	1.976190476	2.047619048	62.06608913	69.53683383	64.56632403
8	1.952380952	2.023809524	53.9642873	60.38982678	58.24784695
Range of $\Sigma X(t)$ ที่ทำให้คนรู้สึกเข้าสู่ภาวะสบายคือ 58.248 - 84.119					
Condition	TC @ < 2	TC @ > 2	RA @ TC < 2	RA @ TC > 2	RA @ TC = 2
1	1.857142857	2.142857143	25.62857143	25.47380952	25.55119048
2	1.976190476	2.071428571	25.77619048	25.64761905	25.74404762
3	1.976190476	2.142857143	25.62380952	25.46190476	25.60068027
4	1.952380952	2.023809524	25.58095238	25.44761905	25.49206349
5	1.952380952	2.214285714	25.83333333	25.6952381	25.80822511
6	1.928571429	2.095238095	26.1047619	25.95714286	26.0414968
7	1.976190476	2.047619048	26.42380952	26.24285714	26.36349206
8	1.952380952	2.023809524	26.64761905	26.43333333	26.5047619
Range of RA ที่ทำให้คนรู้สึกเข้าสู่ภาวะสบายคือ 25.492 °C - 26.505 °C					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model)

1. จากการเปรียบเทียบข้อมูลของกลุ่มผู้ทดลองจากหัวข้อ 4.2.1 จึงพบว่าสภาวะการทดลองที่ 7 (16°C Fixed) มีความชันของกราฟในช่วงเริ่มรู้สึกสบายที่ชันที่สุด ซึ่งผู้ถูกทดลองรู้สึกสบาย และรู้สึกเย็นที่เวลา 13 นาที ดังตารางที่ 4.27 จึงเลือกสภาวะการทดลองนี้เป็นสภาวะการทดลองที่ส่งผลให้ผู้ถูกทดลองรู้สึกสบายได้เร็วที่สุด

ตารางที่ 4.12 เวลาที่ผู้ทดลองเริ่มรู้สึกสบายของแต่ละสภาวะการทดลอง

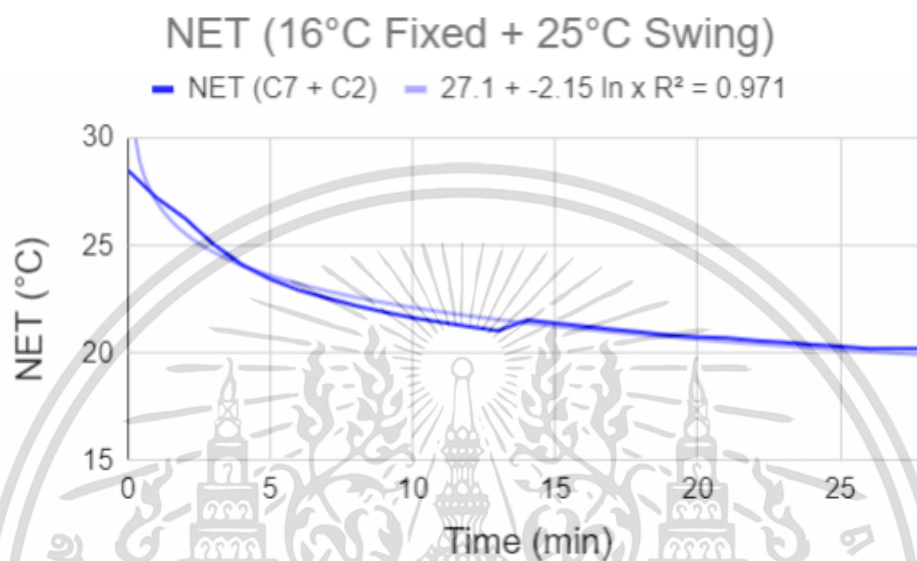
TC	Time (min) @ TC ≥ 2
Condition 1	17
Condition 2	18
Condition 3	15
Condition 4	15
Condition 5	15
Condition 6	15
Condition 7	13
Condition 8	14

2. จากการเปรียบเทียบข้อมูลของกลุ่มผู้ทดลองจากหัวข้อ 4.2.1 จึงพบว่าสภาวะการทดลองที่ 2 (25°C Swing) เป็นสภาวะที่ทำให้ผู้ทดลองรู้สึกสบายได้นานที่สุด ซึ่งผู้ทดลองจะเริ่มรู้สึกไม่สบาย และเริ่มรู้สึกหนาวในนาที่ที่ 28 ดังตารางที่ 4.28 จึงเลือกสภาวะการทดลองนี้เป็นสภาวะการทดลองที่ส่งผลให้ผู้ถูกทดลองรู้สึกสบายได้นานที่สุด

ตารางที่ 4.13 เวลาที่ผู้ทดลองเริ่มรู้สึกไม่สบายของแต่ละสภาวะการทดลอง

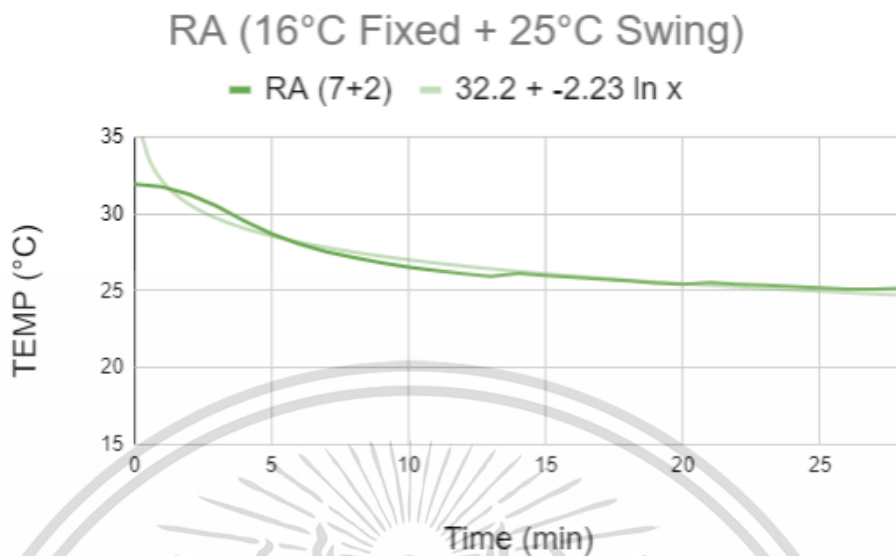
TC	Time (min) @ TC ≤ 2
Condition 1	27
Condition 2	28
Condition 3	21
Condition 4	27
Condition 5	20
Condition 6	21
Condition 7	15
Condition 8	21

3. นำชุดข้อมูล NET ของสภาวะการทดลองที่ 7 (16 °C Fixed) ตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 13 และสภาวะการทดลองที่ 2 (25 °C Swing) ตั้งแต่วันที่ 14 ถึงวันที่ 28 มารวมกันและหาเส้นแนวโน้ม ซึ่งสมการที่ได้คือ $27.1 + (-2.15 \ln x)$ ดังรูปที่ 4.24



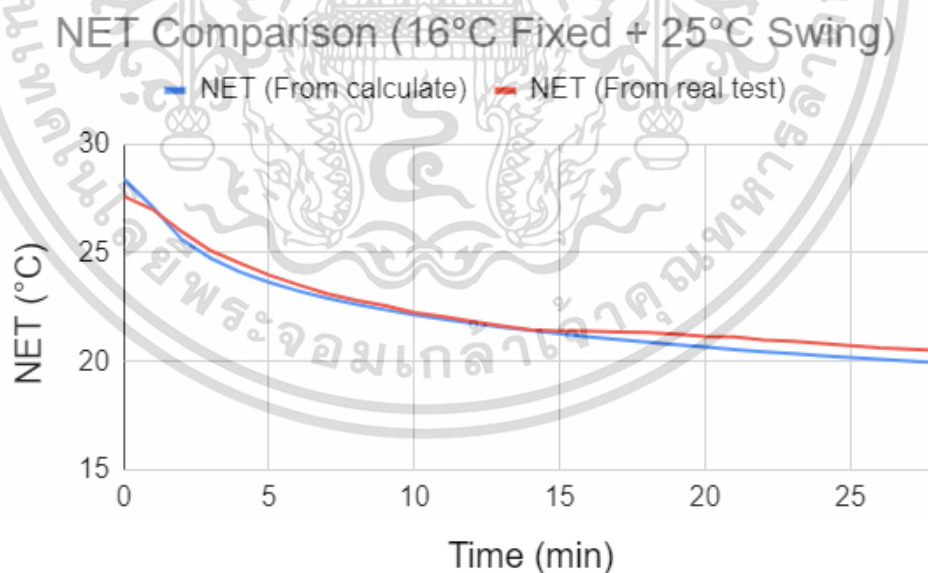
รูปที่ 4.24 การหาเส้นแนวโน้มจากชุดข้อมูล NET ที่รวมกันของสภาวะการทดลองที่ 7 (16 °C Fixed) และ 2 (25°C Swing)

4. นำชุดข้อมูลของอุณหภูมิกลับของสภาวะการทดลองที่ 7 (16 °C Fixed) ตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 13 และสภาวะการทดลองที่ 2 (25 °C Swing) ตั้งแต่วันที่ 14 ถึงวันที่ 28 มารวมกันและหาเส้นแนวโน้ม ซึ่งสมการที่ได้คือ $32.2 + (-2.23 \ln x)$ ดังรูปที่ 4.25



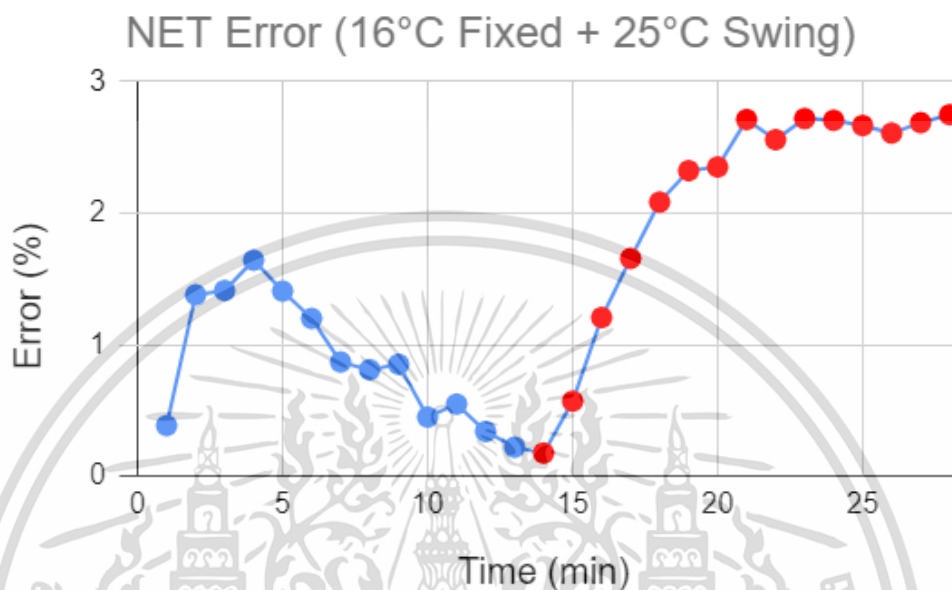
รูปที่ 4.25 การหาเส้นแนวโน้มจากชุดข้อมูลมถกลับที่รวมกันของสภาวะการทดลองที่ 7 (16 °C Fixed) และ 2 (25°C Swing)

5. เปรียบเทียบข้อมูลของ NET จากสมการที่ได้มาจากเส้นแนวโน้ม และข้อมูล NET จากการทดลองจริงดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 กราฟการเปรียบเทียบระหว่าง NET ของสมการที่ได้มาจากเส้นแนวโน้ม และ NET ที่ได้มาจากการทดลองจริง ที่สภาวะการทดลองที่ 7 (16 °C Fixed) รวมกับ 2 (25°C Swing)

จากรูปที่ 4.26 พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนกันระหว่างสมการที่ได้จากเส้นแนวโน้ม กับผลการทดลองจริง จึงทำการสร้างกราฟหาค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละระยะเวลา เป็นดังรูปที่ 4.27

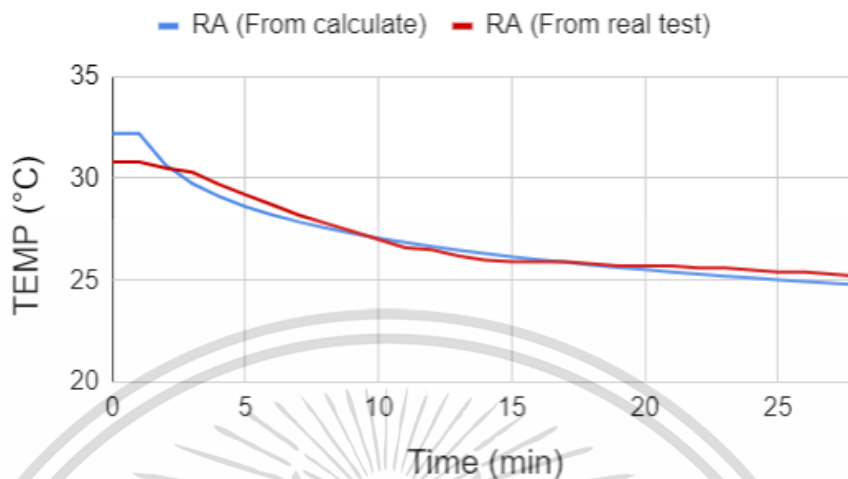


รูปที่ 4.27 กราฟค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง NET ของสมการที่ได้มาจากเส้นแนวโน้ม และ NET ที่ได้มาจากการทดลองจริง ที่สภาวะการทดลองที่ 7 (16 °C Fixed) รวมกับ 2 (25°C Swing)

พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนในช่วง 1 ถึง 13 นาทีแรกมีค่าน้อยกว่าช่วงนาทีที่ 14 ถึง 28 เนื่องจากการทดลองจริงได้ทำการเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 16 °C และการกระจายลมแบบคงที่ และเมื่อถึงนาทีที่ 14 ได้ทำการเปลี่ยนอุณหภูมิจาก 16°C เป็น 25 °C และการกระจายลมแบบสวิง ซึ่งต่างกับสมการที่ได้มาจากเส้นแนวโน้มที่เป็นช่วงข้อมูลที่นำมาต่อกันของสภาวะการทดลองที่ 7 และ 2 จึงส่งผลให้ช่วงหลังจากสภาวะการทดลองที่ 2 มีความคลาดเคลื่อนที่สูงขึ้นเล็กน้อย ดังรูปที่ 4.27

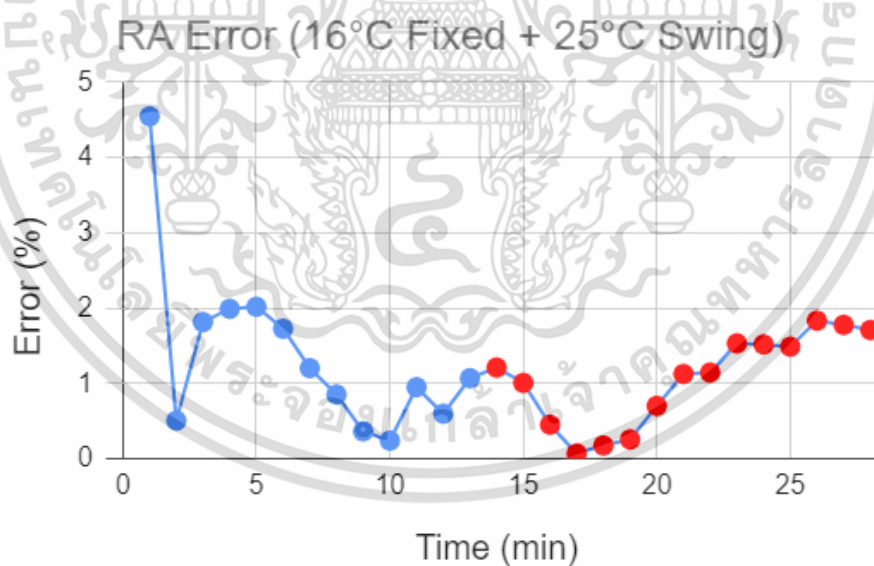
เปรียบเทียบข้อมูลของอุณหภูมิลมกลับจากสมการที่ได้มาจากเส้นแนวโน้ม และข้อมูลอุณหภูมิลมกลับ จากการทดลองจริงดังรูปที่ 4.28

RA Comparison (16°C Fixed + 25°C Swing)



รูปที่ 4.28 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างลมกลับของสมการที่ได้มาจากเส้นแนวโน้ม และลมกลับที่ได้มาจากการทดลองจริง ที่สภาวะการทดลองที่ 7 (16 °C Fixed) รวมกับ 2 (25°C Swing)

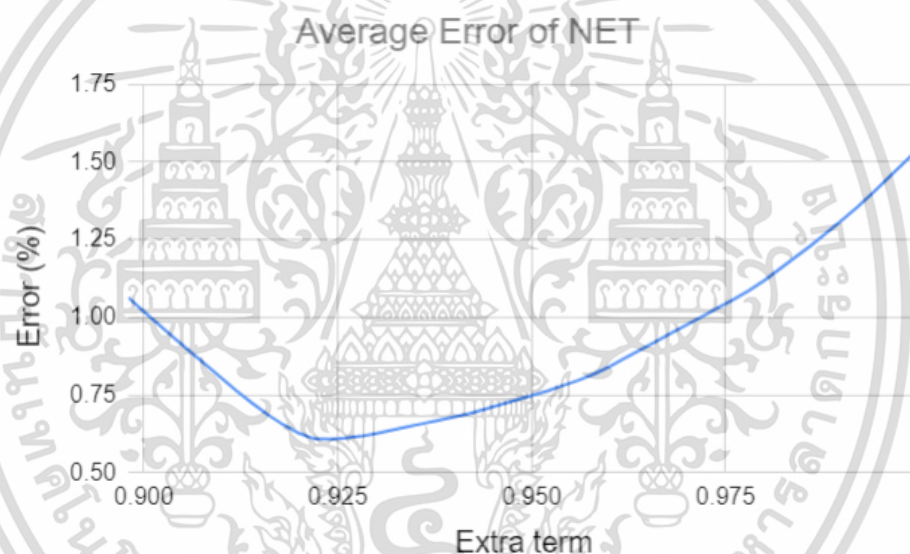
จากรูปที่ 4.28 พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนกันระหว่างสมการที่ได้จากเส้นแนวโน้ม กับผลการทดลองจริง จึงทำการสร้างกราฟหาค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละระยะเวลา เป็นดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 กราฟค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าลมกลับของสมการที่ได้มาจากเส้นแนวโน้ม และค่าลมกลับที่ได้มาจากการทดลองจริง ที่สภาวะการทดลองที่ 7 (16 °C Fixed) รวมกับ 2 (25°C Swing)

6. จากการสังเกตกราฟเปรียบเทียบของ NET ระหว่างค่าที่ได้จากสมการเส้นแนวโน้ม และค่าที่ได้จากการทดลองจริง จะพบว่าเส้นกราฟ NET ของสมการเส้นแนวโน้มจะมีค่าต่ำกว่าค่า NET ของการทดลองจริงอยู่เล็กน้อย โดยค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 1.545 เปอร์เซ็นต์

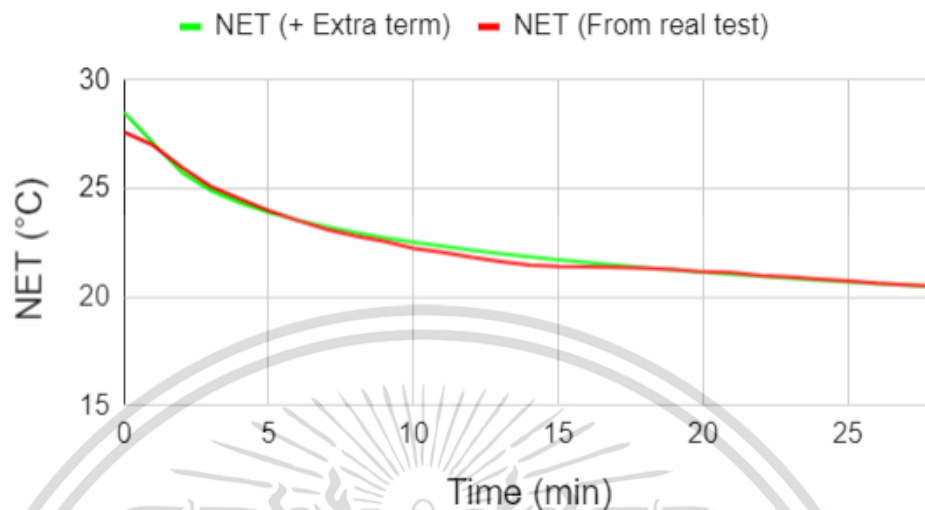
เนื่องจากต้องการให้ชุดข้อมูล NET ของสมการที่ได้มาจากเส้นแนวโน้มที่สภาวะการทดลองที่ 7 (16 °C Fixed) รวมกับ 2 (25°C Swing) มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น จึงทำการเพิ่มพจน์เพิ่มเติม (Extra term) เพื่อให้ค่าความคลาดเคลื่อนเข้าใกล้ 0 หรือมีค่าน้อยที่สุด โดยการใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial and Error) เริ่มจากการคูณเข้าไปที่สัมประสิทธิ์ข้างหน้า LN ด้วย 1 และลดค่าลงเรื่อยๆ จึงพบว่าค่าพจน์เพิ่มเติม ที่ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนเข้าใกล้ 0 มากที่สุดคือ 0.924 ซึ่งทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยใหม่เท่ากับ 0.607 เปอร์เซ็นต์ โดยผลของค่าความคลาดเคลื่อนจากการลองผิดลองถูกแสดงดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 ค่าความคลาดเคลื่อนของการลองผิดลองถูก ในการเพิ่มพจน์เพิ่มเติม ของ NET

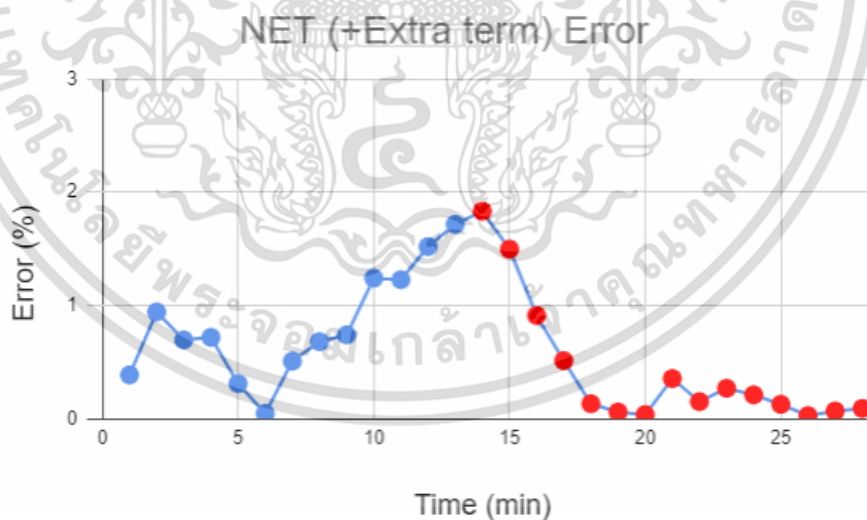
สมการใหม่ที่ได้จากการคูณพจน์เพิ่มเติม จึงเท่ากับ $27.1 + (-1.986 \ln x)$ จึงทำการเปรียบเทียบสมการ NET ใหม่ที่ได้จากการเพิ่มพจน์เพิ่มเติม และ NET ที่ได้จากการทดลองจริง ดังรูปที่ 4.31

NET Comparison (16°C Fixed + 25°C Swing)



รูปที่ 4.31 กราฟการเปรียบเทียบระหว่าง NET ที่เพิ่มพจน์เพิ่มเติม และ NET ที่ได้มาจากการทดลองจริง ที่สภาวะการทดลองที่ 7 (16 °C Fixed) รวมกับ 2 (25°C Swing)

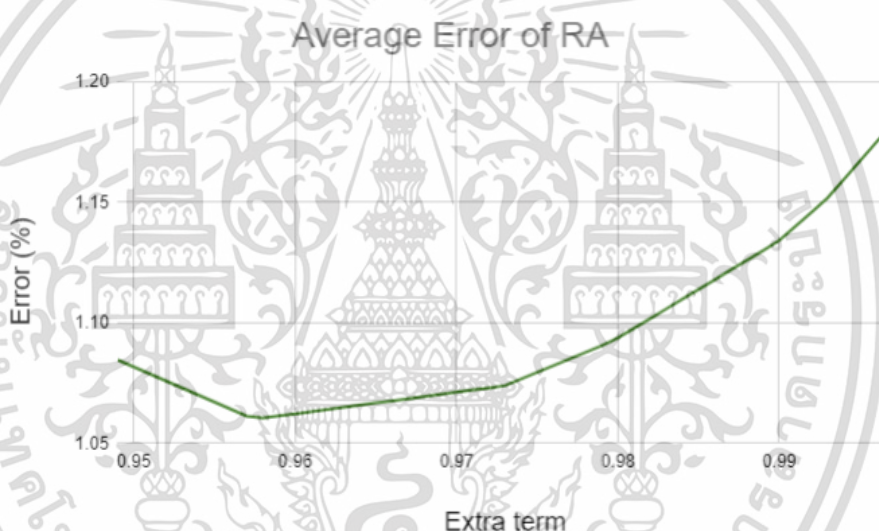
โดยค่าความคลาดเคลื่อนใหม่ของ NET ในแต่ละนาทีแสดงดังรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.32 กราฟค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง NET ที่เพิ่มพจน์เพิ่มเติม และ NET ที่ได้มาจากการทดลองจริง ที่สภาวะการทดลองที่ 7 (16 °C Fixed) รวมกับ 2 (25°C Swing)

จากการสังเกตกราฟเปรียบเทียบของค่าลมกลับ ระหว่างค่าที่ได้จากสมการเส้นแนวโน้ม และค่าที่ได้จากการทดลองจริง จะพบว่าเส้นกราฟค่าลมกลับของสมการเส้นแนวโน้ม จะมีค่าต่ำกว่าค่าลมกลับของการทดลองจริงอยู่เล็กน้อย โดยค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 1.21 เปอร์เซ็นต์

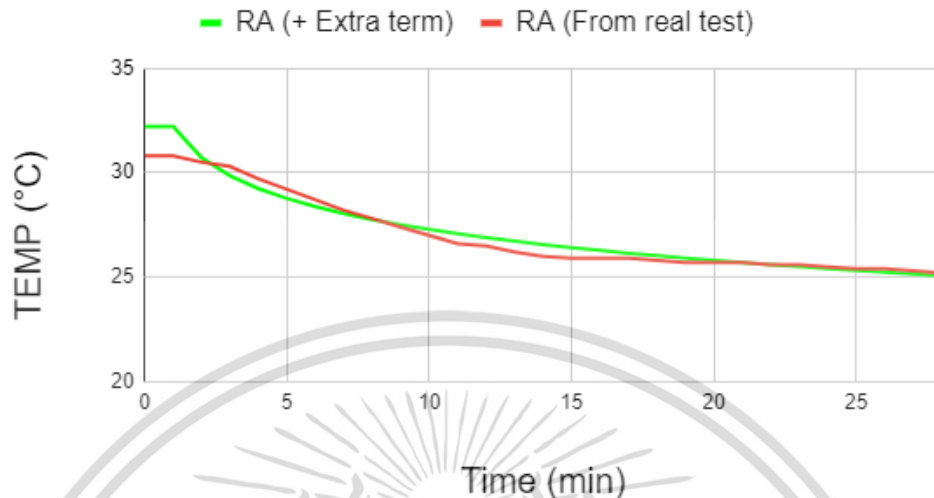
เนื่องจากต้องการให้ชุดข้อมูลอุณหภูมิลมกลับของสมการที่ได้มาจากเส้นแนวโน้ม ที่สภาวะการทดลองที่ 7 (16 °C Fixed) รวมกับ 2 (25°C Swing) มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น จึงทำการเพิ่มพจน์เพิ่มเติม เพื่อให้ค่าความคลาดเคลื่อนเข้าใกล้ 0 หรือมีค่าน้อยที่สุด โดยการใช้วิธีลองผิดลองถูก เช่นเดียวกัน โดยเริ่มจากการคูณเข้าไปที่สัมประสิทธิ์ข้างหน้า LN ด้วย 1 และลดค่าลงเรื่อยๆ จึงพบว่าค่าพจน์เพิ่มเติม ที่ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนเข้าสู่ 0 มากที่สุดคือ 0.958 ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 1.06 เปอร์เซ็นต์ โดยผลของค่าความคลาดเคลื่อนจากการลองผิดลองถูกแสดงดังรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.33 ค่าความคลาดเคลื่อนของการลองผิดลองถูกในการเพิ่มพจน์เพิ่มเติมของอุณหภูมิลมกลับ

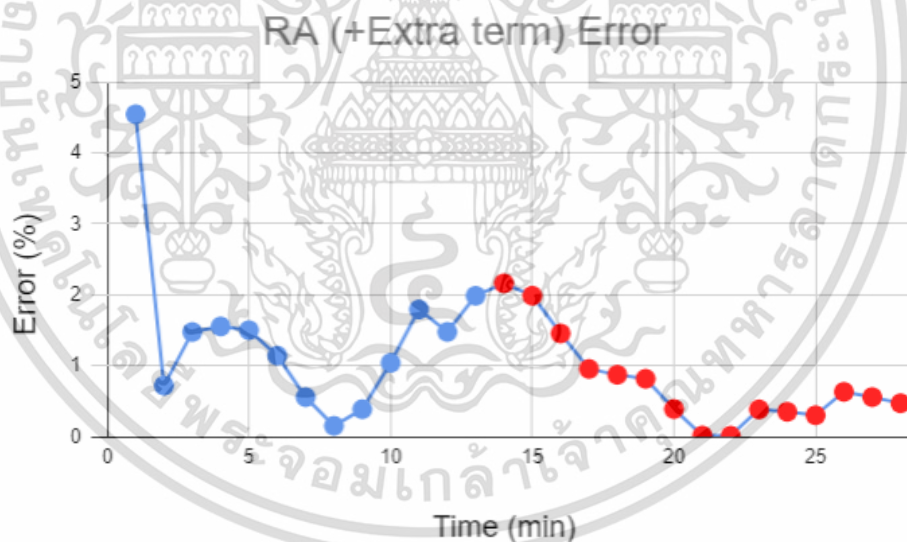
สมการใหม่ที่ได้จากการคูณพจน์เพิ่มเติม จึงเท่ากับ $32.2 + (-2.136 \ln x)$ จึงทำการเปรียบเทียบสมการของอุณหภูมิลมกลับใหม่ที่ได้จากการเพิ่มพจน์เพิ่มเติม และอุณหภูมิลมกลับที่ได้จากการทดลองจริง ดังรูปที่ 4.34

RA Comparison (16°C Fixed + 25°C Swing)



รูปที่ 4.34 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างค่าลมกลับที่เพิ่มพจน์เพิ่มเติม และค่าลมกลับที่ได้มาจากการทดลองจริง ที่สภาวะการทดลองที่ 7 (16 °C Fixed) รวมกับ 2 (25°C Swing)

โดยค่าความคลาดเคลื่อนใหม่ของอุณหภูมิลมกลับในแต่ละนาที่แสดงดังรูปที่ 4.35



รูปที่ 4.35 กราฟค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าลมกลับที่เพิ่มพจน์เพิ่มเติม และค่าลมกลับ ที่ได้มาจากการทดลองจริงที่สภาวะการทดลองที่ 7 (16 °C Fixed) รวมกับ 2 (25°C Swing)

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิ รูปแบบการกระจายลมของเครื่องปรับอากาศที่มีผลต่อความรู้สึกและความสบายของมนุษย์ สรุปได้ว่า

1. สภาพะการทำงานเครื่องปรับอากาศที่ทำให้มนุษย์สบายได้เร็วที่สุดคือ สภาพะที่มีอุณหภูมิตั้งค่า (Setting Temperature) เท่ากับ 16°C และรูปแบบการกระจายลมแบบคงที่ (Fixed Direction)
2. สภาพะการทำงานเครื่องปรับอากาศที่ทำให้มนุษย์สบายได้นานที่สุดคือ สภาพะที่มีอุณหภูมิตั้งค่า (Setting Temperature) เท่ากับ 25°C และรูปแบบการกระจายลมแบบแกว่ง (Swing Direction)
3. สามารถสร้างสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) จากการทดลองที่มีค่าความผิดพลาดในระดับต่ำ ซึ่งเป็นสมการแบบจำลองที่บ่งบอกถึงค่าการพิจารณาการรวมกันของผล กระทบจากอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็ว ในแต่ละหน้าที่ทำให้มนุษย์รู้สึกสบายได้รวดเร็วและคงความสบายได้นานที่สุด

ซึ่งผู้ที่สนใจจะศึกษาหรือพัฒนาเครื่องปรับอากาศสามารถนำข้อมูลการทำงานเครื่องปรับอากาศ และผลประเมินความรู้สึกของผู้ทดลองไปปรับปรุงและพัฒนารูปแบบการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศได้

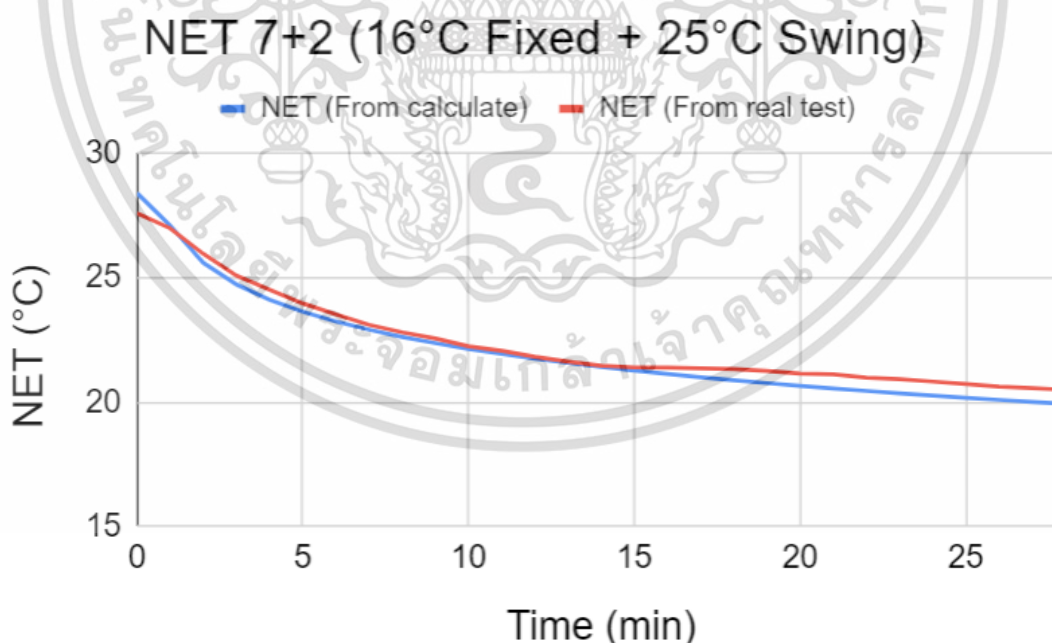
5.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

เนื่องจากผู้ศึกษามีระยะเวลาในการทดลองที่จำกัด จึงไม่สามารถนำปัจจัยที่มีผลต่อความรู้สึกมนุษย์อื่นๆมาทดสอบได้หมด เช่น ความเร็วลมของเครื่องปรับอากาศ, กิจกรรมของผู้ทดสอบ, ความชื้น, ตำแหน่งของห้อง, ตำแหน่งของผู้ทดสอบ, ขนาดของห้อง ฯลฯ จึงแนะนำให้ผู้สนใจทำการศึกษารูปแบบต่างๆที่แนะนำ รวมทั้งควรใช้เครื่องมือในการทดลอง เครื่องมือปรับสภาพห้องก่อนการทดลองที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เช่น Heater ควรใช้ที่มีกำลังการทำงานสูง เพื่อประหยัดเวลาในการทดสอบแต่ละสภาวะ

ปัญหาที่พบจากการทดสอบของแต่ละสถานะคือ ปัญหาที่ผู้ทดสอบรู้สึกไม่สบายเนื่องจากลมที่เป่าหน้า ซึ่งเป็นปัญหาความไม่สบายที่ไม่เกี่ยวข้องกับความรู้สึกร้อนหนาว จึงแนะนำให้ผู้สนใจศึกษาควรวางตำแหน่งการนั่งของผู้ทดสอบในหลายจุดมากยิ่งขึ้น และปัญหาที่พบอีกคือ ความรู้สึกสบายของผู้ทดสอบบางคนไม่เท่ากับผู้ทดสอบส่วนใหญ่ เนื่องจากผู้ทดสอบเป็นคนที่เคยชินกับสภาพอากาศร้อนหรือหนาว จึงแนะนำให้ผู้สนใจศึกษาเก็บผลการทดสอบให้ได้มากยิ่งขึ้น จากนั้นนำไปคัดกรองและแยกข้อมูลผู้ทดสอบที่มีความรู้สึกแตกต่างจากผู้ทดสอบส่วนใหญ่ เพื่อให้ได้ข้อมูลและผลการทดลองที่มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

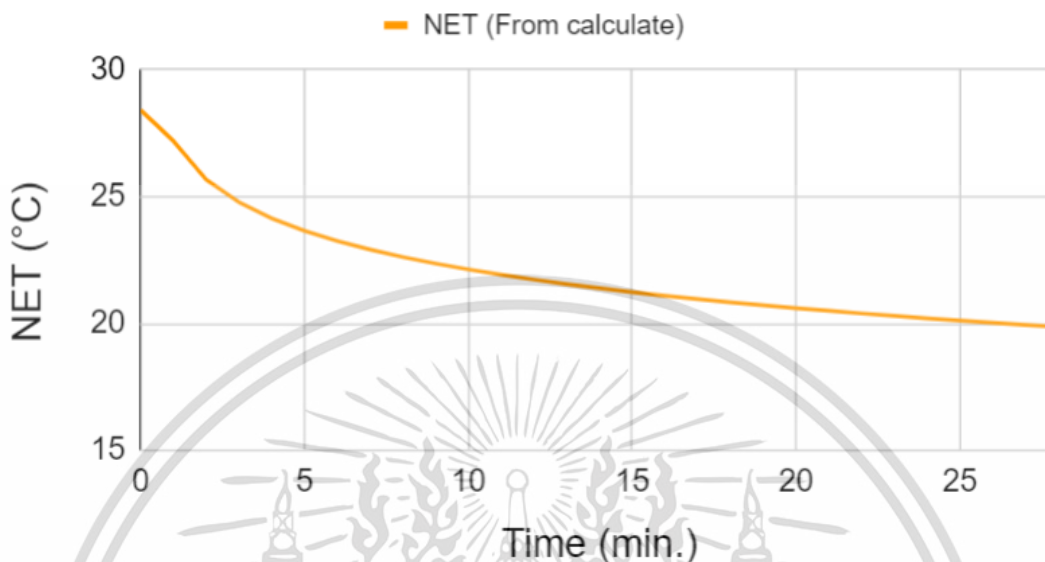
ปัญหาที่พบเนื่องจากโรคระบาดโควิด19 ที่ทำให้ทางสถาบันต้องปิดและไม่สามารถเข้าไปทดสอบห้องได้ ทำให้ข้อมูลในการทดลองแต่ละสถานะมีไม่มาก แต่ก็เพียงพอสำหรับการคำนวณและถือว่าข้อมูลที่ได้มีความแม่นยำและสามารถยอมรับได้

ปัญหาของการวิเคราะห์ที่พบคือ ไม่มีข้อมูลการทดสอบห้องของ สถานะการทดลอง 5+2 ,3+2 ,1+2 ซึ่งจัดทำขึ้นเพื่อรองรับการทำงานของเครื่องปรับอากาศตัวอื่นที่มีกำลังการทำงานต่ำ จึงไม่สามารถนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับสมการการทำนายได้ จึงแนะนำให้ผู้ที่สนใจจะศึกษาควรทดสอบห้องจริงในสถานะการทดลองข้างต้นก่อน



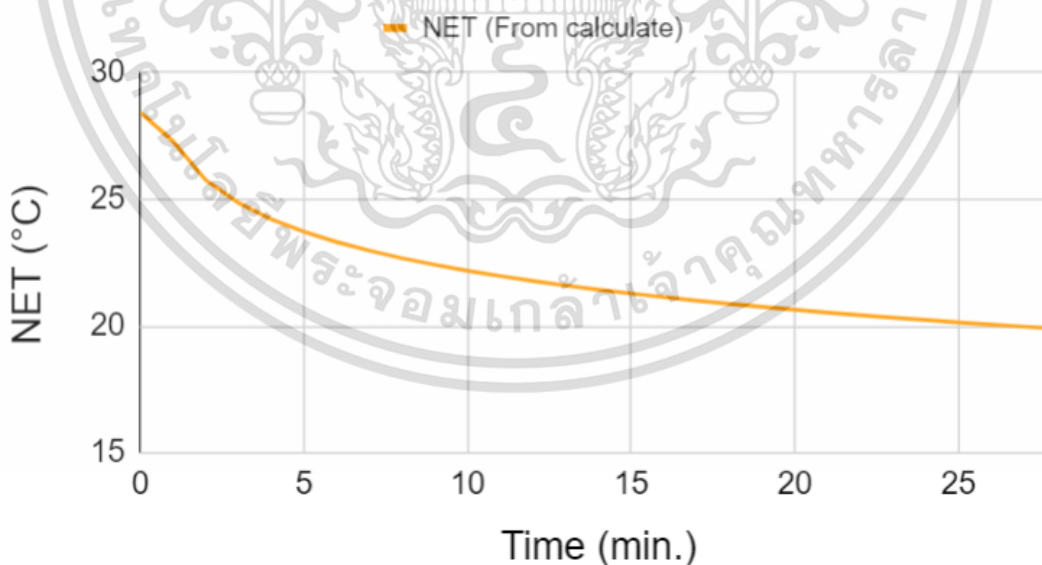
รูปที่ 5.1 กราฟความสัมพันธ์ของ NET Condition 7+2 กับเวลา โดยมีข้อมูลคำนวณเปรียบเทียบกับกรทดสอบห้องจริง

NET 5+2 (19°C Fixed + 25°C Swing)



รูปที่ 5.2 กราฟความสัมพันธ์ของ NET Condition 5+2 กับเวลา โดยมีข้อมูลคำนวณเพียงอย่างเดียว (ปัญหาของการวิเคราะห์)

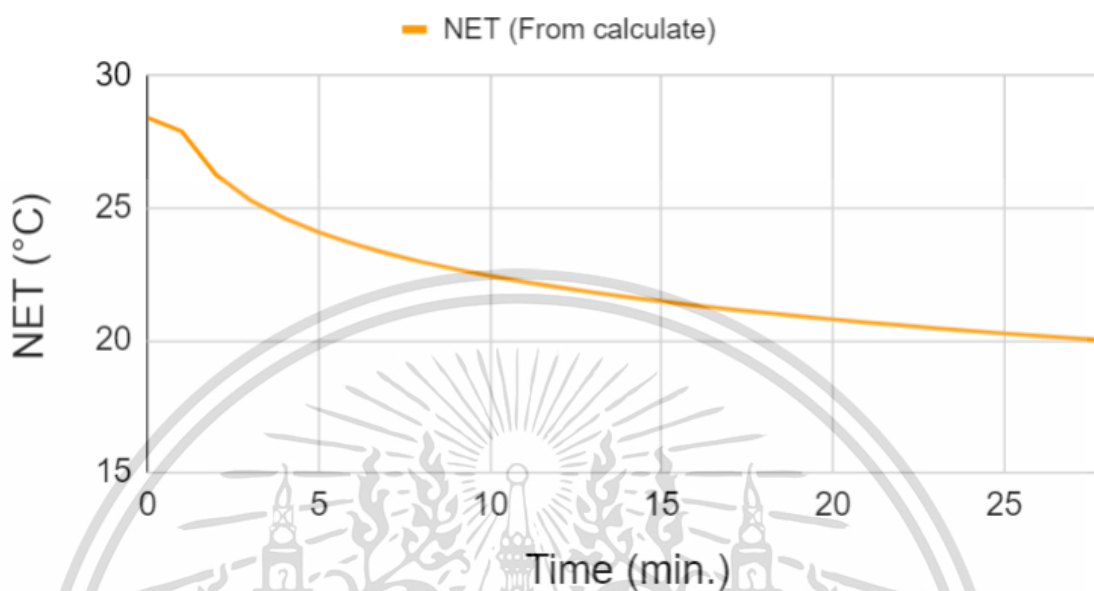
NET 3+2 (22°C Fixed + 25°C Swing)



รูปที่ 5.3 กราฟความสัมพันธ์ของ NET Condition 3+2 กับเวลา โดยมีข้อมูลคำนวณเพียงอย่างเดียว (ปัญหาของการวิเคราะห์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NET 1+2 (25°C Fixed + 25°C Swing)



รูปที่ 5.4 กราฟความสัมพันธ์ของ NET Condition 1+2 กับเวลา โดยมีข้อมูลคำนวณเพียงอย่างเดียว (ปัญหาของการวิเคราะห์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Gagge, A.P., and R.G. Nevins. (1976). Effect of energy con-servation guidelines on comfort,acceptability and health. **Final Report of Contract.**
- [2] Auliciems A. (1981). Towards a psycho-physiological model of thermal perception. **International Journal of Biometeorology.**25(2),109–122.
- [3] Bevan W. (1958). Perception: Evolution of a concept. **Psychological Review.** (65),34–55.
- [4] Parsons K. (2003). Human Thermal Environments. **Taylor & Francis.**
- [5] ASHRAE 55, ANSI/ASHRAE Standard 55. (2017). **Thermal environmental conditions for human occupancy.** Atlanta: American Society of Heating,Refrigerating and Air-Conditioning Engineer, Inc. 2009
- [6] Fanger, P.O. **Thermal Comfort.** Malabar, FL: Robert E. Krieger Publishing Co. 1982.
- [7] Yamtraipat N, Khedari J, Hirunlabh J. (2005). Thermal Comfort Standards for Air Conditioned Buildings in Hot and Humid Thailand Considering Additional Factors of Acclimatization and Education Level. **Solar Energy.**78, 504.
- [8] Bedford, T. **The Warmth Factor in Comfort at Work.** Industr. Hlth. Res. Bd., Report No. 76, London, HMSO, Inc.1936.
- [9] Hagino, M. and J. (1992). Hara. Development of a Method for Predicting Comfortable Airflow in the Passenger Compartment. **SAE Technical Paper Series 922131,** 1-10.
- [10] Houghton FC, Yaglo CP. (1923). Determining equal comfort lines. **J. Am. Soc. Heat. Vent. Eng.** 29, 165–176.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] Missenard, A. (1933). Etude physiologique et technique de la ventilation. **Léon Eyrolles, Paris.**
- [12] Gregorczyk, M., Cena, K. (1967). Distribution of Effective Temperature over the surface of the Earth, 111–123.
- [13] Zboril V., Bozhkov L. Yordanava B, Melikov A, Kosonen R. **Airflow distribution in Rooms with active chilled beams.** Technical University of Denmark, 2007.
- [14] Olgyay . V. **Design with Climate.** New Jersey : Princeton University Press, 1963.
- [15] Khedari , Yamtraipat, N., Pratinthong, N., and Hirunlabh, J. (2000). Thailand Ventilation Comfort Chart”. **Energy and buildings.** 32, 245-249.
- [16] Igor B., Igor W., Bernard F. **Numerical Modelling of Thermal Comfort Conditions in an indoor Space with Solar Radiation Sources.** University of Rijeka, 2015.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ตารางที่ 1.ก ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่จุดผู้ทดสอบ จุดที่อากาศกลับเข้าสู่เครื่องปรับอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ ของสภาวะที่ 1 (25 °C Fixed)

Time (min.)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
T(Subject position)	31.77	31.16	30.06	28.74	27.71	26.90	26.29	25.78	25.37	25.03	24.72	24.45	24.25	24.03	23.88	23.69
T(Return Air)	32.30	31.95	31.42	30.66	29.79	29.01	28.35	27.82	27.39	27.03	26.76	26.47	26.26	26.06	25.92	25.75
RH(Subject position)	54.30	57.00	61.25	66.13	68.64	69.57	70.46	71.11	71.02	70.59	70.99	70.48	69.73	69.30	68.54	68.61

16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
23.56	23.40	23.26	23.12	23.10	22.99	22.89	22.87	22.78	22.73	22.82	22.84	22.80	22.84	22.75	22.75	22.78	22.86	22.83	22.76
25.63	25.47	25.36	25.25	25.16	25.08	25.02	25.05	24.94	25.04	25.04	24.97	24.92	24.85	24.87	24.83	24.72	24.77	24.78	24.81
67.89	67.50	67.34	67.19	66.59	66.08	66.08	66.28	65.67	65.08	64.58	64.42	64.21	64.11	64.91	64.26	64.31	63.83	63.15	63.50

36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
22.68	22.56	22.43	22.30	22.32	22.50	22.73	23.01	23.11	22.74	22.40	22.27	22.22	22.24
24.94	24.86	24.78	24.68	24.51	24.51	24.55	24.59	24.71	24.80	24.78	24.73	24.60	24.53
63.00	63.44	62.99	63.37	63.08	62.54	62.71	63.26	63.33	61.82	62.14	62.41	65.19	65.73

ตารางที่ 2.ก ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่จุดผู้ทดสอบ จุดที่อากาศกลับเข้าสู่เครื่องปรับอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ ของสภาวะที่ 2 (25 °C Swing)

Time (min.)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
T(Subject position)	31.81	31.23	30.05	28.64	27.56	26.76	26.14	25.69	25.34	25.02	24.78	24.49	24.30	24.13	23.99	23.85
T(Return Air)	31.88	31.76	31.33	30.56	29.75	29.01	28.46	27.96	27.59	27.26	26.99	26.71	26.49	26.28	26.15	26.00
RH(Subject position)	58.12	59.92	63.03	67.24	69.68	70.94	71.69	72.23	72.20	72.31	71.67	71.32	70.73	70.04	69.44	69.06

16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
23.70	23.60	23.46	23.36	23.27	23.26	23.15	23.07	23.00	22.90	22.85	22.82	22.85	22.87	22.80	22.70	22.61	22.52	22.49	22.37
25.87	25.78	25.65	25.50	25.42	25.53	25.42	25.36	25.28	25.18	25.12	25.11	25.16	25.12	25.13	25.09	25.04	25.02	25.05	25.32
68.86	68.08	67.89	67.09	66.70	66.38	65.69	65.66	64.68	64.76	63.87	64.13	63.58	63.36	63.52	62.87	62.73	63.18	62.22	61.73

36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
22.40	22.40	22.36	22.26	22.19	22.17	22.14	22.12	22.09	21.89	21.76	21.85	22.02	22.32
25.60	25.69	25.80	25.84	25.91	25.90	25.98	26.01	26.18	26.31	26.43	26.49	24.72	24.62
61.54	61.68	61.43	61.34	61.25	60.67	60.62	60.70	61.06	60.44	59.47	59.95	60.02	59.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.ก ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่จุดผู้ทดสอบ จุดที่อากาศกลับเข้าสู่เครื่องปรับอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ ของสภาวะที่ 3 (22 °C Fixed)

Time (min.)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
T(Subject position)	31.80	31.09	29.63	28.00	26.85	26.00	25.41	24.96	24.60	24.32	24.05	23.83	23.66	23.49	23.34	23.21
T(Return Air)	31.62	31.52	31.01	30.18	29.29	28.50	27.92	27.42	27.03	26.70	26.45	26.20	25.96	25.77	25.62	25.46
RH(Subject position)	55.08	58.59	64.19	69.67	71.47	72.76	72.90	72.79	72.43	72.05	72.03	71.19	70.12	69.65	68.80	68.31

16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
23.07	22.96	22.83	22.72	22.63	22.63	22.55	22.48	22.41	22.36	22.28	22.25	22.18	22.46	22.62	22.58	22.58	22.57	22.63	22.60
25.33	25.20	25.08	24.99	24.90	24.92	24.91	24.78	24.66	24.57	24.72	24.63	24.61	24.53	24.64	24.36	24.41	24.36	24.36	24.31
67.64	67.19	66.92	66.72	66.37	65.88	65.38	65.55	64.84	64.37	64.20	64.22	63.20	62.96	64.15	63.94	63.54	63.38	62.45	61.60

36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
22.57	22.30	22.17	22.20	22.10	22.27	22.27	22.17	22.20	22.23	22.10
24.60	24.49	24.52	24.54	24.59	24.60	24.63	24.68	24.58	24.70	24.71
60.98	61.57	60.55	60.54	60.43	59.48	60.17	60.14	60.71	60.74	59.80

ตารางที่ 4.ก ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่จุดผู้ทดสอบ จุดที่อากาศกลับเข้าสู่เครื่องปรับอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ ของสภาวะที่ 4 (22 °C Swing)

Time (min.)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
T(Subject position)	31.44	30.87	29.70	28.28	27.20	26.38	25.75	25.26	24.86	24.55	24.30	24.05	23.86	23.70	23.54	23.39
T(Return Air)	31.71	31.61	31.10	30.27	29.34	28.53	27.89	27.37	26.94	26.68	26.36	26.11	25.93	25.76	25.58	25.45
RH(Subject position)	56.03	57.64	61.06	64.94	67.96	69.37	70.01	70.85	70.55	70.64	70.48	69.82	69.81	69.27	68.46	67.83

16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
23.27	23.15	23.04	22.94	22.81	22.81	22.85	22.76	22.68	22.65	22.41	22.37	22.29	22.34	22.28	22.20	22.15	21.99	21.92	21.87
25.32	25.20	25.09	24.96	24.90	24.87	24.84	24.91	24.87	24.79	24.69	24.60	24.53	24.66	24.72	24.72	24.70	24.44	24.40	24.34
67.83	66.97	66.66	66.15	65.93	65.37	65.42	65.54	65.62	65.13	64.05	64.21	64.04	63.94	63.55	63.04	62.98	62.53	62.48	62.16

36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
21.83	21.79	21.81	21.75	21.75	21.72	21.63	21.64	21.68	21.70	21.74	21.93	21.90	21.90
24.34	24.26	24.26	24.45	24.40	24.40	24.35	24.30	24.35	24.30	24.30	24.30	24.20	24.20
62.12	61.34	60.81	60.84	61.22	60.44	60.99	60.79	59.98	59.53	58.98	58.47	59.13	58.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.ก ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่จุดผู้ทดสอบ จุดที่อากาศกลับเข้าสู่เครื่องปรับอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ ของสภาวะที่ 5 (19 °C Fixed)

Time (min.)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
T(Subject position)	31.70	30.95	29.47	27.90	26.80	26.02	25.40	24.97	24.61	24.33	24.08	23.89	23.70	23.57	23.44	23.30
T(Return Air)	31.92	31.78	31.27	30.42	29.51	28.72	28.09	27.61	27.19	26.86	26.63	26.37	26.17	26.01	25.83	25.70
RH(Subject position)	55.74	59.17	65.35	70.00	71.56	72.83	73.12	73.35	73.26	72.62	72.13	71.32	71.12	70.06	69.82	69.48

16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
23.18	23.04	22.94	22.87	22.81	22.81	22.74	22.73	22.97	23.22	23.12	23.08	23.02	22.97	22.89	23.30	23.33	24.30	24.23	24.13
25.59	25.43	25.38	25.22	25.17	25.24	25.12	25.67	25.57	25.47	25.43	25.37	25.33	25.27	25.29	26.60	26.50	26.40	26.40	26.40
68.64	68.15	67.37	66.92	66.32	67.26	66.73	66.21	66.56	68.38	67.46	67.43	66.93	66.56	66.48	66.78	65.60	67.64	66.87	66.10

36	37	38
24.17	24.07	23.97
26.20	26.20	26.20
65.33	65.25	65.84

ตารางที่ 6.ก ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่จุดผู้ทดสอบ จุดที่อากาศกลับเข้าสู่เครื่องปรับอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ ของสภาวะที่ 6 (19 °C Swing)

Time (min.)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
T(Subject position)	31.92	31.28	30.01	28.52	27.37	26.53	25.89	25.43	25.03	24.71	24.47	24.24	24.08	23.90	23.80	23.69
T(Return Air)	31.91	31.78	31.27	30.41	29.58	28.85	28.30	27.85	27.45	27.11	26.83	26.60	26.40	26.26	26.10	25.96
RH(Subject position)	53.88	56.00	60.04	64.37	67.58	69.56	70.51	70.47	70.85	70.71	70.29	69.62	69.04	68.86	68.38	67.79

16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
23.57	23.42	23.31	23.20	23.12	23.06	22.98	22.92	22.87	22.79	22.63	22.81	22.75	22.89	23.08	23.41	23.38	23.10	23.00	22.73
25.90	25.76	25.62	25.48	25.40	25.34	25.25	25.25	25.24	25.24	25.12	25.08	25.23	25.23	25.44	26.16	26.12	25.70	25.60	25.55
67.42	67.30	66.47	66.50	65.89	65.42	65.13	64.42	64.12	64.37	63.51	62.82	63.21	63.10	62.89	63.06	63.13	62.85	63.34	62.24

36	37	38
22.63	22.70	22.67
25.50	25.10	25.00
62.59	61.92	61.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.ก ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่จุดผู้ทดสอบ จุดที่อากาศกลับเข้าสู่เครื่องปรับอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ ของสภาวะที่ 7 (16 °C Fixed)

Time (min.)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
T(Subject position)	32.28	31.32	29.70	27.98	26.81	26.06	25.49	25.06	24.68	24.39	24.13	23.90	23.72	23.52	23.37	23.21
T(Return Air)	31.92	31.75	31.26	30.49	29.53	28.70	28.05	27.53	27.17	26.82	26.53	26.30	26.11	25.94	25.79	25.61
RH(Subject position)	52.29	55.35	61.48	66.38	68.47	68.93	69.10	69.66	69.60	69.40	68.94	68.86	68.23	68.07	67.94	67.55

16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
23.11	23.01	22.90	22.81	22.83	22.74	22.84	22.79	22.74	22.67	23.04	23.10	22.37	22.30	22.20	22.13
25.51	25.41	25.30	25.20	25.10	25.02	24.95	24.94	24.84	25.13	25.27	25.27	24.85	24.87	24.80	24.80
67.00	66.82	66.11	65.81	66.15	66.08	64.89	64.33	64.06	63.26	62.09	61.81	65.04	65.77	67.24	67.98

ตารางที่ 8.ก ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่จุดผู้ทดสอบ จุดที่อากาศกลับเข้าสู่เครื่องปรับอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ ของสภาวะที่ 8 (16 °C Swing)

Time (min.)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
T(Subject position)	32.19	31.59	30.36	28.88	27.75	26.94	26.31	25.82	25.41	25.08	24.82	24.59	24.40	24.22	24.09	23.93
T(Return Air)	32.21	32.10	31.67	30.98	30.14	29.42	28.81	28.34	27.93	27.59	27.30	27.03	26.82	26.65	26.43	26.34
RH(Subject position)	54.73	56.53	60.13	64.19	66.63	68.11	68.64	68.93	69.22	69.05	68.70	68.11	67.92	67.80	67.14	66.78

16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
23.78	23.68	23.59	23.48	23.39	23.36	23.34	23.33	23.22	23.22	23.16	23.02	23.03	22.94	22.96	22.70	22.80	22.83	23.00	23.03
26.20	26.10	26.00	25.85	25.75	25.70	25.60	25.84	25.75	25.71	25.75	25.73	25.72	25.69	25.68	25.30	25.60	25.58	25.50	25.60
66.51	66.13	65.37	64.74	64.39	63.95	63.44	63.24	63.04	62.31	61.88	61.39	60.78	60.92	60.25	60.49	58.78	58.63	57.82	57.19

36	37	38
22.90	22.67	22.43
25.60	25.60	25.60
57.82	57.61	59.44

ตารางที่ 9.ก ค่าเฉลี่ยผลประเมินความรู้สึกและความสบายของผู้ทดลอง สภาวะที่ 1 (25 °C Fixed)

Time (min.)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
TC Average	-2.52	-2.17	-1.67	-1.29	-0.83	-0.55	-0.19	-0.07	0.29	0.57	0.88	1.05	1.19	1.45	1.69	1.76	1.86	2.14	2.19	2.21	2.36
TS Average	-2.55	-2.10	-1.69	-1.12	-0.95	-0.69	-0.38	-0.02	0.17	0.36	0.50	0.64	0.83	1.05	1.24	1.29	1.40	1.52	1.69	1.76	1.86

21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
2.38	2.45	2.45	2.17	2.14	2.14	2.05	1.83	1.81	1.81	1.83	1.36	1.17	0.79	0.69	0.31	0.12	0.02	-0.10	-0.21
1.86	1.95	1.95	2.07	2.10	2.10	2.12	2.19	2.21	2.24	2.23	2.35	2.40	2.49	2.53	2.64	2.68	2.71	2.73	2.76

41	42	43	44	45	46	47	48	49
-0.36	-0.57	-0.55	-0.55	-0.74	-0.95	-0.93	-1.02	-1.24
2.78	2.83	2.83	2.83	2.88	2.93	2.93	2.95	3.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10.ก ค่าเฉลี่ยผลประเมินความรู้สึกและความสบายของผู้ทดลอง สภาวะที่ 2 (25 °C Swing)

Time (min.)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
TC Average	-2.52	-2.10	-1.62	-1.33	-0.93	-0.60	-0.12	0.19	0.48	0.81	0.98	1.12	1.26	1.43	1.62	1.83	1.93	1.98	2.07	2.17	2.19
TS Average	-2.64	-2.17	-1.64	-1.33	-0.95	-0.55	-0.24	-0.07	0.24	0.43	0.57	0.83	0.90	1.07	1.12	1.24	1.40	1.57	1.62	1.76	1.81
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
	2.33	2.38	2.45	2.50	2.60	2.60	2.40	2.07	1.93	1.55	1.36	1.36	1.17	0.88	0.69	0.40	0.40	0.33	0.14	-0.14	
	1.88	1.88	1.95	2.00	2.02	2.05	2.10	2.17	2.21	2.33	2.38	2.38	2.43	2.50	2.55	2.62	2.62	2.64	2.69	2.76	
	41	42	43	44	45	46	47	48	49												
	-0.24	-0.24	-0.43	-0.64	-0.88	-0.98	-0.98	-0.98	-1.17												
	2.79	2.79	2.83	2.88	2.93	2.95	2.95	2.95	2.95												

ตารางที่ 11.ก ค่าเฉลี่ยผลประเมินความรู้สึกและความสบายของผู้ทดลอง สภาวะที่ 3 (22 °C Fixed)

Time (min.)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
TC Average	-2.43	-1.95	-1.48	-0.95	-0.60	-0.29	0.07	0.55	0.74	0.88	1.24	1.45	1.55	1.76	1.98	2.14	2.40	2.40	2.36	2.19	2.31
TS Average	-2.48	-1.95	-1.52	-1.12	-0.69	-0.33	-0.12	0.24	0.55	0.71	1.05	1.29	1.38	1.57	1.67	1.74	1.83	1.88	1.95	2.02	2.05
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
	2.14	1.76	1.67	1.26	1.10	0.79	0.62	0.14	-0.10	-0.10	-0.19	-0.19	-0.50	-0.60	-0.79	-1.05	-1.05	-1.05	-1.05	-1.05	
	2.10	2.21	2.24	2.36	2.40	2.48	2.52	2.64	2.71	2.74	2.76	2.76	2.83	2.86	2.90	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	
	41	42	43	44	45	46															
	-1.05	-1.05	-1.05	-1.05	-1.05	-1.14															
	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.95															

ตารางที่ 12.ก ค่าเฉลี่ยผลประเมินความรู้สึกและความสบายของผู้ทดลอง สภาวะที่ 4 (22 °C Swing)

Time (min.)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
TC Average	-2.40	-2.00	-1.57	-1.00	-0.76	-0.26	0.07	0.43	0.69	0.98	1.17	1.36	1.55	1.71	1.95	2.02	2.12	2.24	2.14	2.14	2.17
TS Average	-2.48	-1.90	-1.55	-1.07	-0.79	-0.33	0.07	0.31	0.60	0.81	0.95	0.98	1.17	1.26	1.45	1.62	1.71	1.76	1.81	1.90	1.88
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
	2.12	2.21	2.31	2.36	2.26	2.29	2.00	1.83	1.83	1.64	1.05	0.67	0.48	0.40	0.19	0.10	-0.38	-0.48	-0.57	-0.79	
	2.05	2.05	2.07	2.10	2.14	2.14	2.21	2.26	2.26	2.31	2.45	2.55	2.60	2.62	2.67	2.69	2.81	2.83	2.86	2.90	
	41	42	43	44	45	46	47	48	49												
	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-1.00	-1.10	-1.10	-1.10	-1.21												
	2.93	2.93	2.93	2.93	2.95	2.98	2.98	2.98	3.00												

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13.ก ค่าเฉลี่ยผลประเมินความรู้สึกและความสบายของผู้ทดลอง สภาวะที่ 5 (19 °C Fixed)

Time (min.)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
TC Average	-2.50	-1.95	-1.36	-0.88	-0.40	0.02	0.50	0.98	1.14	1.36	1.50	1.67	1.71	1.79	1.95	2.21	2.48	2.48	2.24	2.10	2.17
TS Average	-2.57	-1.81	-1.45	-0.90	-0.50	-0.10	0.31	0.74	1.02	1.21	1.50	1.64	1.76	1.81	1.81	1.90	1.95	2.00	2.10	2.14	2.14

21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
1.71	1.45	0.71	0.05	-0.02	-0.12	-0.31	-0.31	-0.40	-0.62	-0.71	-0.88	-0.88	-0.88	-0.98	-0.98	-0.98	-1.19
2.29	2.33	2.52	2.69	2.71	2.74	2.79	2.79	2.81	2.86	2.88	2.93	2.93	2.93	2.95	2.95	2.95	3.00

ตารางที่ 14.ก ค่าเฉลี่ยผลประเมินความรู้สึกและความสบายของผู้ทดลอง สภาวะที่ 6 (19 °C Swing)

Time (min.)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
TC Average	-2.60	-2.05	-1.48	-1.12	-0.64	-0.21	0.10	0.55	0.74	1.00	1.29	1.45	1.64	1.79	1.93	2.10	2.17	2.24	2.31	2.38	2.31
TS Average	-2.60	-1.95	-1.52	-1.14	-0.64	-0.29	0.10	0.45	0.71	0.98	1.12	1.24	1.43	1.57	1.60	1.67	1.74	1.79	1.88	1.88	1.95

21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
2.31	1.95	1.81	1.86	1.31	1.05	0.95	0.36	0.17	0.10	-0.02	-0.21	-0.29	-0.38	-0.57	-0.76	-0.76	-1.17
2.00	2.14	2.21	2.21	2.36	2.45	2.48	2.62	2.67	2.69	2.71	2.76	2.79	2.81	2.86	2.90	2.90	3.00

ตารางที่ 15.ก ค่าเฉลี่ยผลประเมินความรู้สึกและความสบายของผู้ทดลอง สภาวะที่ 7 (16 °C Fixed)

Time (min.)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
TC Average	-2.50	-1.81	-1.31	-0.76	-0.14	0.40	0.79	1.10	1.40	1.64	1.81	1.93	1.98	2.05	2.10	2.02	1.98	1.71	1.45	0.83	0.48
TS Average	-2.52	-1.67	-1.21	-0.71	-0.29	0.21	0.60	0.90	1.19	1.52	1.69	1.79	1.93	1.98	2.02	2.10	2.12	2.21	2.33	2.36	2.45

21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
0.07	0.07	-0.02	-0.24	-0.55	-0.74	-1.02	-1.02	-1.02	-1.02	-1.21
2.67	2.69	2.71	2.76	2.83	2.88	2.93	2.93	2.93	2.93	3.00

ตารางที่ 16.ก ค่าเฉลี่ยผลประเมินความรู้สึกและความสบายของผู้ทดลอง สภาวะที่ 8 (16 °C Swing)

Time (min.)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
TC Average	-2.62	-1.86	-1.36	-0.88	-0.40	-0.10	0.48	0.74	0.95	1.19	1.38	1.67	1.83	1.95	2.02	2.10	2.21	2.48	2.55	2.38	2.31
TS Average	-2.60	-1.90	-1.33	-1.02	-0.60	-0.17	0.17	0.43	0.81	1.07	1.10	1.21	1.38	1.64	1.74	1.83	1.93	1.93	1.93	2.02	2.05

21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
2.21	1.69	1.52	1.07	0.88	0.40	0.17	-0.12	-0.40	-0.60	-0.69	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-1.00	-1.10
2.12	2.29	2.33	2.45	2.50	2.62	2.69	2.76	2.83	2.88	2.90	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95	2.98	3.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

รูปที่ 1.ข แสดงแบบฟอร์มสำหรับใช้โหวตของผู้ถูกทดลอง

แบบทดสอบความรู้สึกสบายและร้อนหนาว

แบบทดสอบความรู้สึกสบายและร้อนหนาว

*จำเป็น

ชื่อเล่น / Condition(NUM) *

คำตอบของคุณ _____

เพศ *

ชาย

หญิง

เกณฑ์การให้คะแนน

ความรู้สึกสบาย

-3 = ไม่สบายมาก

-2 = ไม่สบาย

-1 = ไม่สบายเล็กน้อย

0 = เฉยๆ

1 = สบายเล็กน้อย

2 = สบาย

3 = สบายมาก

ความรู้สึกร้อน-หนาว

-3 = ร้อน

-2 = ร้อน

-1 = ร้อนเล็กน้อย

0 = เฉยๆ

1 = เย็นเล็กน้อย

2 = เย็น

3 = หนาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.ข แสดงแบบฟอร์มสำหรับใช้โหวตของผู้ถูกทดลอง (ต่อจากรูปที่ 1.ข)

นาทิต่อ *	-3	-2	-1	0	1	2	3
รู้สึกสบายแค่ ไหน(Comfort)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
รู้สึกร้อนหนาว อย่างไร(Sensation)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

นาทิต่อ *	-3	-2	-1	0	1	2	3
รู้สึกสบายแค่ ไหน(Comfort)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
รู้สึกร้อนหนาว อย่างไร(Sensation)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

นาทิต่อ *	-3	-2	-1	0	1	2	3
รู้สึกสบายแค่ ไหน(Comfort)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
รู้สึกร้อนหนาว อย่างไร(Sensation)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้