



การศึกษาภาวะสบายเชิงอุณหภาพของกลุ่มคนในโรงงานสิ่งทอ



โดย

นายสุจินต์ กุ้ยรัตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การศึกษาภาวะสบายเชิงคุณภาพของกลุ่มคนในโรงงานสิ่งทอ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

# THERMAL COMFORT OF PEOPLE IN TEXTILE FACTORIES



By  
MR. Suthimon KUIRAT

A Thesis Submitted in partial Fulfillment of Requirements  
for Master of Engineering (ENERGY ENGINEERING)  
Department of MECHANICAL ENGINEERING  
Graduate School, Silpakorn University  
Academic Year 2017  
Copyright of Graduate School, Silpakorn University



56406315 : วิศวกรรมพลังงาน แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทบัณฑิต

คำสำคัญ : ภาวะสบาย, โรงงานอุตสาหกรรม, Adaptive comfort, ค่าดัชนีทำนายการโหวตเฉลี่ย (PMV)

นาย สุธิมนต์ กุ้ยรัตน์: การศึกษาภาวะสบายเชิงคุณภาพของกลุ่มคนในโรงงานสิ่งทอ  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทสพล เขตเจนการ

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาภาวะสบายของกลุ่มคนในโรงงานสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม ในจังหวัดกรุงเทพฯ นครปฐม สมุทรสาคร และสมุทรปราการ ของประเทศไทย จำนวนทั้งหมด 7 โรงงาน โดยสุ่มสำรวจกลุ่มตัวอย่างจำนวน 843 คน จากจำนวนประชากรทั้งหมด 872 คน เพื่อให้ได้ระดับความเชื่อมั่น 95% ที่ค่าความคลาดเคลื่อน  $\pm 5\%$  ตามหลักทางสถิติ ทำการสำรวจด้วยแบบสอบถามและตรวจวัดปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (Air temperature,  $T_a$ ) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Relative humidity, %RH) ความเร็วลมโดยรอบ (Air speed,  $v$ ) และอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย (Mean radiant temperature,  $T_r$ ) รวมถึงค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clothing insulation,  $I_{clo}$ ) ระดับการเผาผลาญพลังงานของกิจกรรมที่ทำ (Metabolic rate,  $M$ ) และความรู้สึกของกลุ่มตัวอย่างในขณะนั้น โดยประเมินภาวะสบายใน 2 แนวทาง คือ ตามแนวทางของ ASHRAE ซึ่งประเมินโดยอาศัยค่าดัชนีทำนายการโหวตเฉลี่ย (Predicted mean vote, PMV) ที่คำนวณจากปัจจัยที่เกี่ยวข้อง และตามแนวทางของ Adaptive comfort ซึ่งจะประเมินโดยอาศัยค่าดัชนีการโหวตภาวะสบาย (Comfort vote, CV) ซึ่งเป็นความรู้สึกจริงของผู้ทำงาน รวมทั้งวิเคราะห์ปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อภาวะสบาย อันได้แก่ เพศ อายุ ดัชนีมวลกาย และการอยู่ในพื้นที่ปรับอากาศหรือไม่ปรับอากาศ โดยได้ทำการประเมินอุณหภูมิภาวะสบายในรูปแบบของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ( $T_a$ ) และอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ ( $T_o$ ) ของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด พบว่า การประเมินตามแนวทางของ ASHRAE ได้ค่า  $T_a = 25.34^\circ\text{C}$  หรือ  $T_o = 25.50^\circ\text{C}$  ส่วนในแนวทางของ Adaptive comfort นั้น ได้ค่า  $T_a = 26.25^\circ\text{C}$  หรือ  $T_o = 26.44^\circ\text{C}$  หมายความว่า อุณหภูมิภาวะสบายในรูปแบบอุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่วิเคราะห์ตามแนวทางของ ASHRAE จะต่ำกว่าความเป็นจริงอยู่ประมาณ  $0.91^\circ\text{C}$ ,  $0.94^\circ\text{C}$  ตามลำดับ โดยพบว่าสามารถใช้  $T_a$  หรือ  $T_o$  เป็นตัวชี้วัดก็ได้ และปัจจัยที่มีผลต่อภาวะสบายได้แก่ เพศ อายุ ดัชนีมวลกาย และการอยู่ในพื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ



56406315 : Major (ENERGY ENGINEERING)

Keyword : thermal comfort, industrial factory, adaptive comfort, Predicted Mean Vote (PMV)

MR. SUTHIMON KUIRAT : THERMAL COMFORT OF PEOPLE IN TEXTILE FACTORIES THESIS ADVISOR : THOSAPON KATEJANEKARN

### Abstract

This research aims to investigate the thermal comfort of employees who work in seven textile and garment factories located in Bangkok and the Nakhon Pathom, Samut Sakhon and Samut Praka provinces of Thailand. In order to get a 95% confidence interval with a  $\pm 5\%$  margin of error according to statistical principles, 843 subjects were randomly selected from a total population of 872. This study was conducted using a questionnaire and measured the related factor values, including air temperature ( $T_a$ ), relative humidity (%RH), air speed ( $v$ ), mean radiant temperature ( $T_r$ ), clothing insulation ( $I_{clo}$ ), metabolic rate ( $M$ ) and the immediate thermal sensation of the sample population. In this study, the thermal comfort was assessed via two evaluation methods: the ASHRAE model using PMV value (Predicted Mean Vote value) which was computed from the related factors, and the Adaptive Comfort Model using CV value (Comfort Vote value) which reflected the employees' actual sensation. The assessment also took other factors affecting thermal comfort into consideration, including gender, age, body mass index and the work environment (air-conditioned or non-air-conditioned). Dry bulb temperature ( $T_a$ ) and operative temperatures ( $T_o$ ) were measured and calculated from the whole sample for the thermal comfort assessment. It was discovered during the ASHRAE evaluation that the dry bulb temperature ( $T_a$ ) and operative temperature ( $T_o$ ) were 25.34 °C and 25.50°C whereas those figures in the Adaptive Comfort Model were 26.25°C and 26.44°C in comparison. This illustrated that the dry bulb temperature ( $T_a$ ) and operative temperature ( $T_o$ ) using the ASHRAE model were about 0.91°C and 0.94°C lower than those of the Adaptive Comfort Model, and these results indicated that the dry bulb temperature ( $T_a$ ) and the operative

temperature ( $T_o$ ) can be used as indicators to assess the thermal comfort. The study also found that the factors that affected the thermal comfort were gender, age, body mass index, and air-conditioned or non-air-conditioned workplaces.





## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดีได้ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ซึ่งผู้มีพระคุณท่านแรกและผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทศพล เขตเจนการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำในการจัดทำงานวิจัย อีกทั้งให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนในทุกๆ ด้านอย่างยิ่ง รวมไปถึงการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ให้การวิจัยนี้เป็นไปอย่างถูกต้องจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท่านต่อไปคือผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธบดินทร์ แสงสว่าง และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ ชัยวิวัฒน์วรกุล ที่รับเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์และได้ให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวิจัย ซึ่งทางผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่สนับสนุนและอำนวยความสะดวกอันเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินการจัดทำงานวิจัยฉบับนี้ จึงทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณครอบครัวของข้าพเจ้าที่คอยเป็นกำลังใจ และให้ความสนับสนุนด้านการศึกษา ท้ายที่สุดขอขอบพระคุณผู้ที่เกี่ยวข้องในการช่วยเหลือทุกท่าน ที่ไม่สามารถกล่าวนามได้ทั้งหมดข้างต้น

สุธิมนต์ กุ้ยรัตน์



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ฅ
บทที่ 1.....	1
บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	5
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2.....	6
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ภาวะความสบายเชิงความร้อน.....	6
2.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อภาวะสบายของมนุษย์.....	7
2.2.1 ปัจจัยทางกายภาพของสิ่งแวดล้อม.....	7
2.2.1.1 อุณหภูมิอากาศ.....	8
2.2.1.2 ความเร็วอากาศภายในห้อง.....	8
2.2.1.3 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ.....	8
2.2.1.4 อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย.....	8
2.2.2 ปัจจัยของบุคคล.....	9
2.2.2.1 ระดับการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย.....	9

2.2.2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า.....	11
2.3 มาตรฐานของความสบายทางความร้อน (Comfort standards).....	13
2.3.1 การประเมินความรู้สึกสบายในแนวทางของ ASHRAE.....	13
2.3.1.1 ดัชนีการโหวต.....	14
2.3.1.2 วิธีเชิงวิเคราะห์.....	15
2.3.2 การประเมินความรู้สึกสบายในแนวทางของ Adaptive comfort.....	18
บทที่ 3.....	25
วิธีการดำเนินการ.....	25
3.1 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย.....	25
3.2 กลุ่มตัวอย่างและสถานที่ทำการสำรวจสอบถาม.....	28
3.3 เครื่องมือสำหรับงานวิจัย.....	29
3.3.1 เครื่องมือวัดอุณหภูมิโกลบ (.....)	29
3.3.2 เครื่องมือวัดความเร็วลมแบบเส้นขดลวดความร้อน.....	29
3.3.3 เครื่องมือวัดความชื้นของอากาศ.....	30
3.4 ระยะเวลาการทำการวิจัย.....	30
บทที่ 4.....	32
ผลการดำเนินการและอภิปรายผล.....	32
4.1 การวิเคราะห์อุณหภูมิภาวะสบาย.....	34
4.2 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อภาวะสบาย.....	36
4.2.1 เพศ.....	36
4.2.2 อายุ.....	37
4.2.3 ดัชนีมวลกาย (BMI).....	39
4.2.4 การอยู่ในพื้นที่ปรับอากาศและพื้นที่ไม่ปรับอากาศ.....	40
4.3 อุณหภูมิภาวะสบายของอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม.....	41

บทที่ 5..... 46

    สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ ..... 46

        5.1 สรุปผลการวิจัย..... 46

    รายการอ้างอิง..... 48

    ประวัติผู้เขียน..... 55



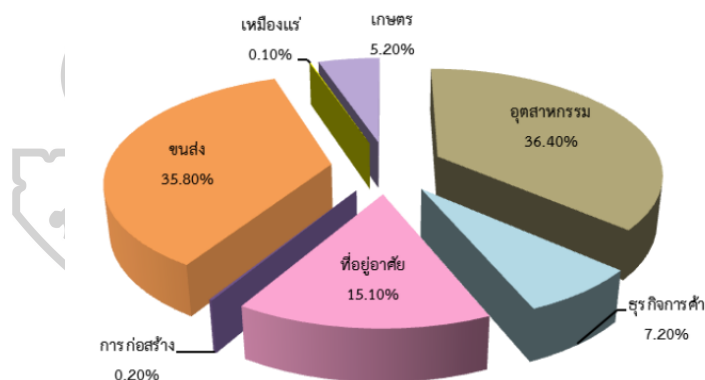
## บทที่ 1

### บทนำ

สำหรับเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงที่มาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์เรื่องการศึกษาภาวะสบายเชิงอุณหภูมิของกลุ่มคนในโรงงานสีทอรวมถึงวัตถุประสงค์ ขอบเขต และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันโลกประสบกับปัญหาภาวะโลกร้อน (Global warming) ซึ่งสาเหตุส่วนใหญ่มาจากพฤติกรรมของมนุษย์ เช่น ด้านอุตสาหกรรม ด้านการคมนาคม ด้านการเกษตร ด้านที่อยู่อาศัย และด้านการพาณิชย์ เป็นต้น โดยภาคส่วนที่ส่งผลต่อภาวะโลกร้อนมากที่สุด คือ ภาคอุตสาหกรรม ซึ่งมีสัดส่วนการใช้พลังงานสูงถึงร้อยละ 36.40 [1]



รูปที่ 1.1 สัดส่วนการใช้พลังงานของประเทศไทย [1]

การใช้พลังงานของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี โดยในปี 2560 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) คาดการณ์แนวโน้มการใช้ไฟฟ้าว่าจะเติบโตใกล้เคียงกับอัตราการขยายตัวของเศรษฐกิจ (GDP) ที่ระดับ 3-4% เนื่องจากเศรษฐกิจในประเทศยังชะลอตัวตามทิศทางเศรษฐกิจโลก ขณะที่ค่าไฟฟ้าจะใกล้เคียงกับปี 2559 เพราะต้นทุนค่าเชื้อเพลิงโดยเฉพาะราคาก๊าซธรรมชาติยังทรงตัวตามทิศทางราคาน้ำมันดิบ ในส่วนแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศ (PDP) ปี 2558-2579 นั้นพบว่า ในปี 2560 อัตราการใช้ไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 31,385 เมกะวัตต์ เพิ่มขึ้น

จากปี 2559 อยู่ 30,218 เมกะวัตต์ ขณะที่กำลังการผลิตติดตั้งอยู่ที่ 40,000 เมกะวัตต์ ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศ [2]

ระบบปรับอากาศเป็นระบบที่ใช้พลังงานมากที่สุดในอาคาร มีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าถึงร้อยละ 60 โดยการปรับอากาศในอาคารนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อมุ่งเน้นให้ผู้อยู่อาศัยเกิดภาวะสบาย (Thermal comfort) [3] ส่วนการปรับอากาศในโรงงานอุตสาหกรรมมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้พนักงานรู้สึกสบายมุ่งเน้นเพื่อประสิทธิภาพในการทำงานและผลผลิตของงานจากทฤษฎีการจูงใจของเฮอริชเบิร์ก (Herzberg's Theory) พบว่า ปัจจัยสุขอนามัย อันได้แก่ ความมั่นคงในการทำงาน ค่าตอบแทน และสภาพทางกายภาพของงาน ฯลฯ ซึ่งรวมถึงอากาศและลักษณะสภาพแวดล้อม มีผลต่อความพึงพอใจในการทำงาน [4] เมื่อมีความรู้สึกพึงพอใจจะส่งผลให้พนักงานมีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น และทำให้ได้ผลผลิตมากขึ้นตามมา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในแคลิฟอร์เนียที่กล่าวว่าการปรับปรุงระบบควบคุม การระบายอากาศ อุณหภูมิ และแสงสว่าง จะมีผลโดยตรงกับการเพิ่มผลผลิต [5] ดังนั้นในโรงงานอุตสาหกรรมจึงควรมีการออกแบบระบบปรับอากาศและระบบควบคุมที่เหมาะสมเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและผลผลิตของงาน

หลายปีที่ผ่านมาประเทศไทยประสบปัญหาด้านพลังงานเป็นอย่างมาก เนื่องจากประชาชนในประเทศใช้พลังงานกันอย่างฟุ่มเฟือย รัฐบาลจึงจัดตั้งโครงการรวมพลังหาร 2 ขึ้นมา โดยโครงการมีวัตถุประสงค์เพื่อรณรงค์ปลูกจิตสำนึกให้ประชาชนใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยโครงการนี้มุ่งสนับสนุนการรณรงค์ประชาสัมพันธ์สร้างจิตสำนึกการใช้พลังงานอย่างรู้คุณค่า และปรับเปลี่ยนพฤติกรรมให้ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยการย้ำเตือนการคิดก่อนใช้ทุกครั้งและทำให้เป็นนิสัย พร้อมกับแนะนำวิธีใช้พลังงานที่สามารถนำไปปฏิบัติใช้ในชีวิตประจำวันได้ทันทีและเห็นผลประหยัดอย่างเป็นรูปธรรม เช่น การเปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน อย่างหลอดไฟ LED และปรับอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศที่ 25°C เป็นต้น [6] ซึ่งจากการที่รัฐบาลออกมารณรงค์ให้ปรับอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศที่ 25°C นั้น สอดคล้องกับการศึกษาของสมาคมวิศวกรทำความร้อน ทำความเย็น และปรับอากาศแห่งอเมริกา (American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineer, ASHRAE) ที่ประเมินภาวะความรู้สึกสบายของมนุษย์ โดยกล่าวว่า อุณหภูมิภาวะสบายของมนุษย์อยู่ที่ 25°C และในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 30-60% [7] โดยภาวะสบายจะขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ด้าน ด้านแรก คือ ปัจจัยทางกายภาพของสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ฯลฯ ในด้านที่สอง คือ ปัจจัยด้านบุคคล เช่น เสื้อผ้าที่สวมใส่ และกิจกรรมที่ทำ เป็นต้น ซึ่งจะทำให้การทดลองโดยให้กลุ่มตัวอย่างอยู่ในห้องทดลองที่มีการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อภาวะสบาย ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ฯลฯ [8] แต่งานวิจัยที่ผ่านมาตามแนวทางของ Adaptive comfort ซึ่งมีแนวความคิดที่เชื่อว่ามนุษย์มี

ความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ และไม่สามารถกำหนดปัจจัยต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติจำพวก อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม และอื่นๆ ที่มีผลต่อภาวะสบายได้ พบว่าในเขตภูมิอากาศแบบร้อน อุณหภูมิภาวะสบายของคนอยู่ที่ 26.4–31.0°C ยกเว้นที่ประเทศออสเตรเลียที่มีอุณหภูมิภาวะสบายอยู่ที่ 25.1°C ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 งานวิจัยการสำรวจภาวะสบายที่ผ่านมาในเขตภูมิอากาศแบบร้อน

ผู้วิจัย	อุณหภูมิสบาย (°C)		ประเทศ	สถานที่สำรวจ
	T <sub>a</sub>	T <sub>o</sub>		
Sekhar [9]	28.9	28.9	สิงคโปร์	อาคาร
de Dear and Brager [10]		28.5	สิงคโปร์	อาคาร
Wong et al. [11]		28.9	สิงคโปร์	อาคาร
Wong and Khoo [12]		28.8	สิงคโปร์	อาคาร
Karyono [13]	26.4	26.7	อินโดนีเซีย	อาคาร
Feriadi and Wong [14]	29.1	29.2	อินโดนีเซีย	อาคาร
Khedari et al. [15]	29.5		ไทย	อาคาร
Tun [16]		27.0	ไทย	อาคาร
มานิตย์ ศรีประเสริฐ และคณะ [17]	28.1	28.3	ไทย	อาคาร
พงศ์ตะวัน นันทศิริ และ สักการ ราชีสุทธิ [18]	28.9-29.0		ไทย	อาคาร
Memon et al. [19]		29.3	ปากีสถาน	อาคาร
Nguyen et al. [20]		29.8	เอเชียตะวันออกเฉียงใต้	อาคาร
de Dear et al. [21]		25.1	ออสเตรเลีย	อาคาร
Zhao et al. [22]	30.0		จีน	มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1.1 งานวิจัยการสำรวจภาวะสบายที่ผ่านมาในเขตภูมิอากาศแบบร้อน (ต่อ)

ผู้วิจัย	อุณหภูมิสบาย (°C)		ประเทศ	สถานที่ สำรวจ
	T <sub>a</sub>	T <sub>o</sub>		
Wijewardane and Jayasinghe [23]		31.0	ศรีลังกา	โรงงาน
Kosala et al. [24]		30.0	ศรีลังกา	โรงงาน

\*หมายเหตุ

T<sub>a</sub> หมายถึง สมการอุณหภูมิสบาย (Neutral temperature) อยู่ในรูปอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ

T<sub>o</sub> หมายถึง สมการอุณหภูมิสบาย อยู่ในรูปของอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ

ET\* หมายถึง สมการอุณหภูมิสบาย อยู่ในรูปของอุณหภูมิเอฟเฟคทีฟ

ดังนั้นสำหรับในประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น [25] จึงน่าจะปรับอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศให้สูงกว่า 25°C ได้ โดยการปรับอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศให้เพิ่มสูงขึ้น 1°C จะช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าได้ถึง 10% [16]

งานวิจัยการสำรวจภาวะสบายที่ผ่านมา ส่วนใหญ่เป็นการสำรวจภาวะสบายของคนในอาคาร แต่การสำรวจภาวะสบายของคนในโรงงานอุตสาหกรรมนั้นมีการศึกษาค่อนข้างน้อย [9-22] จึงมีแนวคิดที่จะทำการศึกษาระบายของคนที่อยู่ในโรงงานอุตสาหกรรม [23, 24] เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับสภาพแวดล้อมและออกแบบระบบปรับอากาศภายในโรงงานอุตสาหกรรมได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ เพื่อประหยัดพลังงานและเพิ่มผลผลิตของงานได้ โดยวิเคราะห์ภาวะสบายตามแนวทางของ ASHRAE และ Adaptive comfort แล้วเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา

สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ จะทำการสำรวจในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม เนื่องจากอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มมีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของไทย มีสัดส่วนมูลค่าเพิ่มต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศเป็นอันดับ 4 รองจากอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมเครื่องจักรสำนักงาน และอุตสาหกรรมยานยนต์ ตามลำดับ คิดเป็นมูลค่า 245 พันล้านบาท หรือร้อยละ 2.2 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมทั้งประเทศ โดยมูลค่า GDP ขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 3 ระหว่างปี 2550-2554 มีมูลค่าการส่งออกสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มเฉลี่ยประมาณ 150,000 ล้านบาทต่อปี ซึ่งถือว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจไทยสูง [20] งานวิจัยฉบับนี้จึงศึกษาขึ้นมาเพื่อทำการสำรวจหาภาวะสบายของคนในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม ว่าแท้จริงแล้วความรู้สึกสบายจะประกอบด้วยปัจจัยใดบ้าง และในปริมาณเท่าไร เพราะอุณหภูมิที่ท่า



การสำรวจมานั้นอาจจะสูงกว่า 25°C ก็เป็นไปได้ และนั่นแสดงว่าอาจสามารถตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศที่สูงกว่า 25°C ได้ ซึ่งจะทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้มากขึ้น และช่วยลดภาระค่าไฟฟ้าที่เป็นค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่ในโรงงานนั้นๆ ได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาภาวะสบายของกลุ่มคนในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาภาวะสบายของกลุ่มคนในโรงงานอุตสาหกรรม โดยศึกษาทั้ง 2 แนวทาง คือ ASHRAE และ Adaptive comfort

1.3.2 สํารวจกลุ่มตัวอย่างของคนในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม จำนวนของกลุ่มตัวอย่างจะคํานวณตามวิธีของ Yamane ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่าความคลาดเคลื่อน  $\pm 5\%$

1.3.3 ตรวจสอบตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1.3.3.1 อุณหภูมิอากาศ

1.3.3.2 ความชื้นสัมพัทธ์

1.3.3.3 ความเร็วลมโดยรอบ

1.3.3.4 อุณหภูมิโกลบ

1.3.3.5 ระดับกิจกรรม

1.3.3.6 เสื้อผ้าที่สวมใส่

1.3.4 วิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่คาดว่าจะมีผลต่อภาวะสบาย เช่น เพศ อายุ ดัชนีมวลกาย และการอยู่ในพื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบภาวะสบายของคนในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม

1.4.2 เป็นแนวทางให้กับโรงงานอุตสาหกรรมในการปรับสภาพแวดล้อมหรือระบบปรับอากาศที่เหมาะสม เพื่อประหยัดพลังงานและเพิ่มผลผลิตของงานได้

## บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาเรื่องภาวะสบายของคนในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทยนั้นจำเป็นที่จะต้องศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อภาวะความสบาย มาตรฐานของความสบายทางความร้อน (Comfort standards) ซึ่งมี 2 แนวทาง คือ การประเมินความรู้สึกสบายในแนวทางของ ASHRAE thermal sensation scale และการประเมินความรู้สึกสบายในแนวทางของ Adaptive comfort ในแนวทางที่สองนั้นจำเป็นต้องศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา และทำการสำรวจภาวะสบายของคนในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม โดยอาศัยหลักทางสถิติในการสำรวจกลุ่มตัวอย่าง เพื่อให้ได้ภาวะสบายนั้นเป็นภาวะตัวแทนของคนในโรงงานอุตสาหกรรมได้อย่างเหมาะสม

### 2.1 ภาวะความสบายเชิงความร้อน

ภาวะสบายของผู้อยู่อาศัยภายในอาคารนั้นเป็นหัวใจในการออกแบบสร้างอาคารต่างๆ จึงได้มีการศึกษาภาวะสบายอยู่เสมอ เนื่องจากมีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของผู้อยู่อาศัย อีกทั้งยังส่งผลต่อในเรื่องของการใช้พลังงานเพื่อปรับสภาวะอากาศให้รู้สึกสบาย

ในปี ค.ศ. 1923 Houghten and Yagloglou [26] ได้ทำการทดลองหาความรู้สึกสบายที่มีผลมาจากอุณหภูมิและความชื้น และได้ทำโมโนแกรม (Monogram) ขึ้นมาใช้เป็นครั้งแรก โดยในการทดลองได้สร้างห้องที่สามารถควบคุมภาวะอากาศได้ขึ้นมา 2 ห้อง ในห้องที่ 1 อากาศนิ่งและมีความชื้น 100% ทำการปรับอุณหภูมิไว้ค่าหนึ่ง แล้วให้คนเข้าไป หลังจากนั้นออกมาเข้าห้องที่ 2 ทำการปรับอุณหภูมิและความชื้นให้ต่างจากห้องที่ 1 ประจักษ์ว่าคนในห้องทดลองจะมีความรู้สึกสบายเหมือนอยู่ในห้องที่ 1 ณ จุดนี้ จะได้ค่าดัชนีขึ้นมา 2 ค่า ได้แก่ อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (Operative temperature) และอุณหภูมิเอฟเฟคทีฟ (Effective temperature) โดยอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ คือ อุณหภูมิตัวแทนที่รวมเอาค่าอุณหภูมิของอากาศและอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ยของผนังอาคารเข้าไว้ด้วยกันในรูปของอุณหภูมิตัวแทนเพียงค่าเดียว สามารถคำนวณได้จากอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศ ( $T_a$ ) อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย (Mean radiant temperature,  $T_r$ ) สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ( $h_c$ ) และสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน ( $h_r$ )

$$T_0 = \frac{(h_c T_a + h_r T_r)}{(h_c + h_r)} \quad (2.1)$$

เมื่อ	$h_c$	คือ	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน
	$h_r$	คือ	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน
	$T_a$	คือ	อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ
	$T_r$	คือ	อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย

อุณหภูมิเอฟเฟคทีฟ (Effective temperature, ET) คือ ค่าอุณหภูมิตัวแทนที่รวมเอาค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟและความชื้นของอากาศเข้าด้วยกัน ดังนั้น สภาวะ 2 สภาวะมีค่าอุณหภูมิเอฟเฟคทีฟเดียวกัน อาจจะเป็นไปได้ว่าสภาวะทั้งสองนั้นมีอุณหภูมิและความชื้นที่ต่างกัน

$$ET^* = T_0 + 0.39LR(P_v - 0.5P_{ET,s}) \quad (2.2)$$

เมื่อ	LR	คือ	อัตราส่วนของเลวิส (Lewis Ratio) มีค่า 16.5 K/kPa
	$P_v$	คือ	ความดันไอน้ำในอากาศ
	$P_{ET,s}$	คือ	ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิเอฟเฟคทีฟ
	$T_0$	คือ	อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ

เมื่อทดสอบหลายๆ ครั้ง ก็นำค่าเหล่านี้มาทำเป็นโมโนแกรม หรือกราฟเพื่อใช้หาอุณหภูมิความสบายที่สภาวะอากาศต่างๆ

## 2.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อภาวะสบายของมนุษย์

จะเห็นได้ว่าปัจจัยหรือตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อภาวะสบายของมนุษย์นั้นมีหลายประการด้วยกัน ซึ่งสามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 2 กลุ่ม [26] ดังต่อไปนี้

### 2.2.1 ปัจจัยทางกายภาพของสิ่งแวดล้อม

การประเมินความรู้สึกสบายนั้นมีปัจจัยที่สำคัญ คือ ปัจจัยที่เกี่ยวกับสภาพแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (Air temperature) ความเร็วอากาศภายในห้อง (Air speed) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Relative humidity) และอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ยของผนังห้อง (Mean radiant temperature)

2.2.1.1 อุณหภูมิอากาศ (Air temperature) อาจจะเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ทำให้บุคคลเกิดความสบาย เพราะเมื่ออุณหภูมิอากาศสูงก็จะทำให้การนำความร้อนและการพาความร้อนจากร่างกายไปสู่บรรยากาศนั้นทำได้ไม่ดีนัก แต่ในทางกลับกัน ถ้าอุณหภูมิอากาศไม่สูงการนำความร้อนและการพาความร้อนจากร่างกายก็จะทำได้ดี

2.2.1.2 ความเร็วอากาศภายในห้อง (Air speed) นั้นมีผลต่อการพาความร้อนจากร่างกาย เช่น เมื่ออุณหภูมิอากาศสูงแต่มีลมพัดผ่านอยู่เสมอ ก็ทำให้สามารถพาความร้อนออกจากร่างกายไปได้มากกว่าไม่มีลมหรือความเร็วลมมีค่าน้อย แต่ถ้าค่าความเร็วอากาศนั้นมีค่ามากเกินไปอาจจะทำให้บุคคลรู้สึกไม่สบายเนื่องจากการรำคาญได้

2.2.1.3 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Relative humidity) มีผลต่อการระเหยของเหงื่อของคน เช่น สภาวะก่อนฝนตก ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมาก เหงื่อจึงระเหยออกไปได้ยาก ทำให้รู้สึกอึดอัด ไม่สบายตัว

2.2.1.4 อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย (Mean radiant temperature) คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของผนังทั้ง 6 ด้านของห้อง ซึ่งถ้าอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ยสูง จะทำให้เกิดการแผ่รังสีความร้อนมาสู่ร่างกายของบุคคลที่อยู่ภายในห้องนั้นมากด้วย โดยวิธีการหาอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ยจะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า โกลบเทอร์โมมิเตอร์ ประกอบด้วยภาชนะห่อหุ้มทรงกลมทาสีดำไว้ด้านนอก และมีปลายของเครื่องมือวัดอุณหภูมิเสียบไว้ภายในอยู่บริเวณศูนย์กลางของลูกภาชนะทรงกลม สำหรับการวัดการแผ่รังสีความร้อนกับวัตถุต้องใช้เวลาประมาณ 15-20 นาที เพื่อให้การถ่ายเทความร้อนอยู่ในสภาวะสมดุล และเวลาวัดจะให้เครื่องมือวัดอยู่เหนือพื้นประมาณ 1.5 เมตร จึงจะได้อุณหภูมิโกลบ ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ยได้ จากสมการ

$$T_r = \left[ (T_g + 273.15)^4 + \frac{1.10 \times 10^5 v^{0.6}}{\varepsilon D^{0.4}} (T_g - T_a) \right]^{1/4} - 273.15 \quad (2.3)$$

เมื่อ	$T_g$	คือ อุณหภูมิที่อ่านจากโกลบเทอร์โมมิเตอร์
	$\varepsilon$	คือ ค่าการแผ่รังสีความร้อนมีค่า 0.95
	$D$	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกภาชนะทรงกลมสีดำ
	$T_a$	คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ

## 2.2.2 ปัจจัยของบุคคล

ปัจจัยของบุคคลนั้นประกอบไปด้วย ระดับการทำงานหรือกิจกรรมที่ทำซึ่งพิจารณาในรูปอัตรา การเผาผลาญพลังงานของร่างกาย และชนิดของเสื้อผ้าที่สวมใส่

2.2.2.1 ระดับการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย (Metabolic rate, M) สามารถอธิบายได้ใน เทอมของ met โดย  $1 \text{ met} = 58.2 \text{ W/m}^2$  ซึ่งค่าการสูญเสียจากกระบวนการเผาผลาญพลังงานของ ร่างกายนั้นขึ้นอยู่กับการทำงานต่างๆ ของแต่ละบุคคลซึ่งในวันหนึ่งๆ นั้นเป็นการทำกิจกรรมที่ไม่ ต่อเนื่อง ดังนั้นเวลาคำนวณการสูญเสียจากกระบวนการเผาผลาญของร่างกายจะพิจารณากิจกรรมทำ อย่างต่อเนื่องใน 1 ชั่วโมง ระดับการเผาผลาญพลังงานของกิจกรรมต่างๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ระดับการเผาผลาญพลังงานของกิจกรรมต่างๆ [27]

กิจกรรม	W/m <sup>2</sup>	met
พักผ่อน		
นอนหลับ	40	0.7
นอน	45	0.8
นั่ง เหยียด	60	1.0
ยืน ผ่อนคลาย	70	1.2
การเดิน		
3.2 km/h (0.9 m/s)	115	2.0
4.3 km/h (1.2 m/s)	150	2.6
6.4 km/h (1.8 m/s)	220	3.8
กิจกรรมทางสำนักงาน		
นั่งอ่านหนังสือ	55	1.0
การเขียน	60	1.0
การพิมพ์	65	1.1
นั่งจัดการเอกสาร	70	1.2
ยืนจัดการเอกสาร	80	1.4
การเดิน	100	1.7
ยกของ	120	2.1

ตารางที่ 2.1 ระดับการเผาผลาญพลังงานของกิจกรรมต่างๆ [27] (ต่อ)

กิจกรรม	W/m <sup>2</sup>	met
ขับรถ		
รถยนต์	60 to 115	1.0 to 2.0
กิจวัตรประจำวัน	70	1.2
เชื่อมต่ออุปกรณ์	105	1.8
การต่อสู้	140	2.4
หนัก	185	3.2
กิจกรรมประกอบอาชีพอื่น ๆ		
การปรุงอาหาร	95 to 115	1.6 to 2.0
ทำความสะอาดบ้าน	115 to 200	2.0 to 3.4
นั่ง มีเคลื่อนไหวของแขนและขาอย่างหนัก	130	2.2
งานเครื่อง		
เครื่องเลื่อยไม้ (Table Saw)	105	1.8
แสง (อุตสาหกรรมไฟฟ้า)	115 to 140	2.0 to 2.4
หนัก	235	4.0
ยกถุงขนาด 50 กิโลกรัม	235	4.0
ยกของและทำงานตัด	235 to 280	4.0 to 4.8
กิจกรรมสันทนาการและอื่น ๆ		
การเดินเร็ว	140 to 255	2.4 to 4.4
เพาะกาย / การออกกำลังกาย	175 to 235	3.0 to 4.0
เทนนิส	210 to 270	3.6 to 4.0
บาสเกตบอล	290 to 440	5.0 to 7.6
การแข่งขันมวยปล้ำ	410 to 505	7.0 to 8.7

2.2.2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า (Clothing insulation,  $I_{cl}$ )  
 เสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่มนั้นถือว่าเป็นฉนวนทางความร้อนอย่างหนึ่งที่ทำให้ร่างกายเราอบอุ่นหรือรู้สึกกำลังสบาย โดยเสื้อผ้านั้นมีผลต่อการประเมินค่าภาวะความสบายของมนุษย์ ซึ่งค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้านั้นอยู่ในหน่วยของ clo ซึ่ง 1 clo มีค่าเท่ากับ  $0.155 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$  หรือเมื่อเทียบกับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่มีค่า  $6.45 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$  [26] ค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าชนิดต่างๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.2 สามารถคำนวณค่าความเป็นฉนวนรวมของเสื้อผ้าทั้งหมดที่สวมใส่ได้จากสมการ

$$I_{cl} = \sum_i I_{cl,i} \quad (2.4)$$



ตารางที่ 2.2 สัมประสิทธิ์การต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าชนิดต่างๆ [27]

ลักษณะเสื้อผ้า	$I_{clo}$	ลักษณะเสื้อผ้า	$I_{clo}$
เสื้อและเสื้อสตรี		ชุดเดรสและกระโปรง	0.14
เสื้อไม่มีแขน	0.12	กระโปรง (บาง)	0.23
เสื้อเชิ้ตแขนสั้น	0.19	กระโปรง (หนา)	0.23
เสื้อเชิ้ตแขนยาว	0.25	เสื้อแขนยาว (บาง)	0.33
เสื้อเชิ้ตแขนยาวผ้าสักหลาด	0.34	เสื้อแขนยาว (หนา)	0.47
เสื้อกีฬาแขนสั้น	0.17	เสื้อแขนสั้น (บาง)	0.29
เสื้อคลุม	0.34	เสื้อไม่มีแขน คอกกลมลึก (บาง)	0.23
กางเกงขายาว	0.06	เสื้อไม่มีแขน คอกกลมลึก (หนา)	0.27
กางเกงและคอลเลกชั่น		ชุดนอนและเสื้อคลุม	
กางเกงขายาว	0.06	เสื้อไม่มีแขน ชุดสั้น (บาง)	0.18
กางเกงขาสั้น	0.08	เสื้อไม่มีแขน ชุดสั้น (หนา)	0.20
กางเกงขาสั้นเดินเล่น	0.15	ชุดโรงพยาบาลแขนสั้น	0.31
กางเกงขายาวตรง(บาง)	0.24	เสื้อคลุมแขนยาว (หนา)	0.46
กางเกงขายาวตรง(หนา)	0.28	ชุดนอนแขนยาว (หนา)	0.57
กางเกงขายาว	0.30	ชุดนอนแขนสั้น (บาง)	0.42
กางเกงทำงาน	0.49	เสื้อคลุมห่อแขนยาวยาว (หนา)	0.69
		เสื้อคลุมห่อแขนยาวสั้น (หนา)	0.48
		เสื้อคลุมสั้น (บาง)	0.34
ชุดชั้นใน		สูทแจ็กเก็ตและเสื้อกั๊ก	
กางเกงชั้นในผู้ชาย	0.04	มีกระดุมแถวเดียว (บาง)	0.36
กางเกงชั้นในผู้หญิง	0.03	มีกระดุมแถวเดียว (หนา)	0.44
บรา	0.01	มีกระดุมสองแถว (บาง)	0.42
เสื้ยัดคอกกลม	0.08	มีกระดุมสองแถว (หนา)	0.48
ชุดชั้นในแบบเต็มตัว	0.16	เสื้อกั๊ก (บาง)	0.10



ตารางที่ 2.2 สัมประสิทธิ์การต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าชนิดต่างๆ [27] (ต่อ)

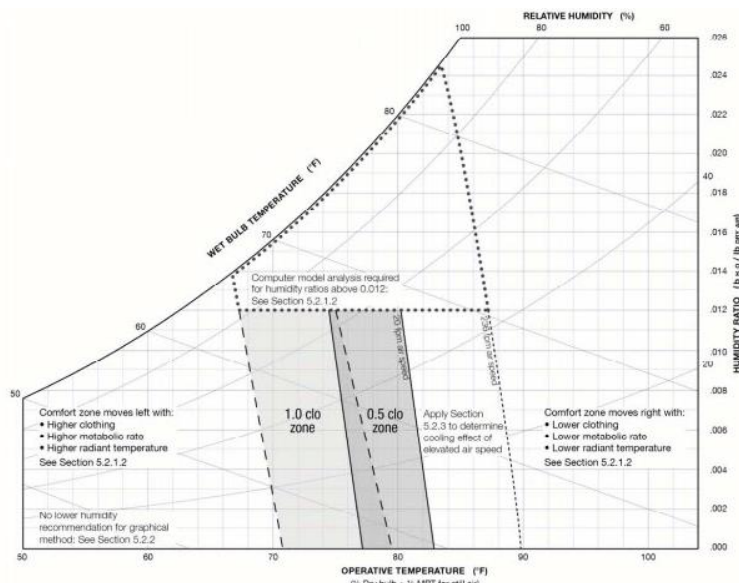
ลักษณะเสื้อผ้า	$I_{clo}$	ลักษณะเสื้อผ้า	$I_{clo}$
กระโปรงซับในผู้หญิง	0.14	เสื้อกั๊ก (หนา)	0.17
เสื้อชั้นในแบบยาว	0.20		
กางเกงชั้นในแบบยาว	0.15		
รองเท้า		เสื้อกันหนาว	
รองเท้าแตะ/สายหนัง	0.02	เสื้อกั๊ก (บาง)	0.13
รองเท้าแตะสวมในบ้าน	0.03	เสื้อกั๊ก (หนา)	0.22
ถุงเท้ายาว	0.06	แขนยาว (บาง)	0.25
ถุงเท้าสั้น	0.03	แขนยาว (หนา)	0.36
รองเท้าบูท	0.10		

### 2.3 มาตรฐานของความสบายทางความร้อน (Comfort standards)

การศึกษาเรื่องของภาวะความรู้สึกสบายของมนุษย์นั้นได้มีการศึกษากันมาอย่างยาวนาน สำหรับการศึกษาในเรื่องนี้นั้นได้แบ่งออกเป็นแนวทางใหญ่ๆ 2 แนวทาง

#### 2.3.1 การประเมินความรู้สึกสบายในแนวทางของ ASHRAE thermal sensation scale

การประเมินความรู้สึกสบายในแนวทางของ ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers) ได้นำวิธีของ Houghten and Yagloglou มาใช้เป็นแนวทางในการศึกษาต่อและทำการสร้างแผนภูมิความสบายขึ้นมาใช้บนไซโครเมตริกชาร์ต โดยประเมินค่าจากการทำนายปฏิกิริยาจากกลุ่มตัวอย่างที่ได้จากการทดลองในห้องทดลองที่มีการควบคุมปัจจัยทางกายภาพต่างๆ เช่น ความเร็วอากาศ อุณหภูมิ และความชื้นภายในห้องให้คงที่ และประเมินว่าปัจจัยต่างๆ นั้นมีผลต่อปฏิกิริยาความรู้สึกสบายของคนในห้องอย่างไร [13] โดยการทดลองมีเงื่อนไขคือ กลุ่มคนทดลองอยู่ในท่านั่งสวมใส่เสื้อผ้าปกติ (ค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า = 0.6 clo) ค่าความเร็วลมทดสอบไม่เกิน 0.15 m/s ทำกิจกรรมที่สม่ำเสมอโดยระดับการเผาผลาญพลังงานของคนในห้อง 1.5 met และคิดค่าการสูญเสียจากกระบวนการเผาผลาญพลังงานของร่างกายสูงสุด 2 met ภายในห้องทดลองที่มีการปรับอากาศ ซึ่งแผนภูมินี้ถูกนำมาใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 ต่อมาได้มีการปรับปรุงแก้ไขให้เหมาะสมซึ่งอ้างอิงตาม ASHRAE Standard 55 - 2010 [28] พบว่า ภาวะสบายอยู่ระหว่างอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ 21-28°C และอยู่ที่เส้นความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 10-80% โดยขอบเขตแผนภูมินี้ได้ถูกนำมาใช้อ้างอิงสำหรับอากาศเป็นแผนภูมิมาตรฐานที่ใช้ทั่วโลก ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ช่วงขอบเขตที่รู้สึกสบาย ASHRAE Standard 55 - 2010 [28]

การทดลองของ Fanger [29] ซึ่งได้ทำการทดลองเพื่อจะหาอุณหภูมิที่ชาวเดนมาร์กรู้สึกสบาย โดยใช้คนทดสอบ 256 คน สวมเสื้อผ้าที่มีค่าความต้านทานความร้อน 0.6 clo นั่งอยู่ในห้องทดสอบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง อุณหภูมิอากาศในห้องเท่ากับอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย ความเร็วอากาศในห้องทดสอบ 0.1 m/s อุณหภูมิอากาศมี 4 ระดับ คือ 21.1°C, 23.3°C, 25.6°C และ 27.8°C ความชื้นสัมพัทธ์มี 2 ระดับ คือ 30% และ 70%

2.3.1.1 ดัชนีการโหวต (Comfort votes) ดัชนีการโหวตเป็นตัวเลขซึ่งกำหนดขึ้นเพื่อบอกถึงระดับความรู้สึกที่มีต่อสภาวะอากาศในขณะนั้น เนื่องจากคนเรามีความรู้สึกที่ต่างกันออกไป โดยค่าที่ได้นั้นเป็นค่าที่ได้จากการทดลองของ Fanger โดยปัจจุบันสมาคม ASHRAE นำมาใช้อย่างแพร่หลายโดยเรียกว่า ASHRAE thermal sensation scale ซึ่งมี 7 ระดับดังนี้

ตารางที่ 2.3 ระดับความรู้สึกเชิงความร้อน [27]

ค่า PMV	ความรู้สึก
+3	ร้อน
+2	อุ่น
+1	ค่อนข้างอุ่น
0	พอดี
-1	ค่อนข้างเย็น
-2	เย็น
-3	หนาว

2.3.1.2 วิธีเชิงวิเคราะห์ (Analytical method) Fanger [29] เสนอกระบวนการทำนายความรู้สึกสบายที่แท้จริงของมนุษย์โดยตั้งสมมติฐานที่ชัดเจนในลักษณะที่เน้นไปทาง Physiological Strain คือ การถูกกดดันด้านสรีรวิทยาโดยสิ่งแวดล้อม Fanger ได้บันทึกผลโหวตความรู้สึกสบาย (Comfort vote, CV) ของคนในห้องทดลอง และได้ทำนายความรู้สึกสบายว่าขึ้นอยู่กับข้อกำหนดสภาพแวดล้อมของผู้อาศัยนั้นๆ นั่นคือ ปัจจัยเรื่องเสื้อผ้าและกิจกรรม และ Fanger ยังได้เสนอสมการเพื่อใช้สำหรับทำนายการโหวตเฉลี่ย (Predicted mean vote, PMV) ในปัจจุบันสมาคมวิศวกรรม ASHRAE ได้นำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเรียกว่า ASHRAE thermal sensation scale [26]

$$PMV = [0.303 \exp(-0.036M) + 0.028]L \quad (2.5)$$

เมื่อ M คือ อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย  
L คือ ความร้อนสูญเสียจากร่างกายคน

โดยสามารถหาค่าความร้อนสูญเสียจากร่างกายคน (Heat loss, L) ได้ดังสมการ

$$\begin{aligned}
 L = & (M - W) \\
 & - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} [(T_{cl} + 273.15)^4 - (T_r + 273.15)^4] \\
 & - f_{cl} h_c (T_{cl} - T_a) \\
 & - 3.05 [5.73 - 0.007(M - W) - p_v] \\
 & - 0.42 [(M - W) - 58.15] \\
 & - 0.0173M (5.87 - p_v) \\
 & - 0.0014M (34 - T_a)
 \end{aligned} \tag{2.6}$$

เมื่อ	W	คือ	การเผาผลาญพลังงานเนื่องจากการทำงาน
	$f_{cl}$	คือ	สัมประสิทธิ์ของเสื้อผ้า
	$T_{cl}$	คือ	อุณหภูมิผิวเสื้อผ้า
	$T_r$	คือ	อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย
	$P_v$	คือ	ความดันไอน้ำในอากาศ
	$h_c$	คือ	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน
	$T_a$	คือ	อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ

โดยสัมประสิทธิ์การพาความร้อน  $h_c$  หาได้จาก

$$h_c = \begin{cases} 2.38(T_{cl} - T_a)^{0.25}, 2.38(T_{cl} - T_a)^{0.25} > 12.1\sqrt{v} \\ 12.1\sqrt{v}, 2.38(T_{cl} - T_a)^{0.25} < 12.1\sqrt{v} \end{cases} \tag{2.7}$$

อุณหภูมิเสื้อผ้า ( $T_{cl}$ ) หาได้จาก

$$\begin{aligned}
 T_{cl} = & 35.7 - 0.0275(M - W) \\
 & - R_{cl} \left\{ 3.96 \times 10^{-9} f_{cl} [(T_{cl} + 273.15)^4 - (T_r + 273.15)^4] + f_{cl} h_c (T_{cl} - T_a) \right\}
 \end{aligned} \tag{2.8}$$

โดยค่าสัมประสิทธิ์ของเสื้อผ้า (Clothing Factor,  $f_{cl}$ ) นั้นหาค่าได้ดังสมการ

$f_{cl} = A_c / A_D$  , อัตราส่วนพื้นที่เสื้อผ้ากับพื้นที่ของร่างกาย

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.0 + 0.2I_{clo}, I_{clo} < 0.5clo \\ 1.05 + 0.1I_{clo}, I_{clo} > 0.5clo \end{cases}$$

(2.9)

ค่าความต้านทานของเสื้อผ้า ( $R_{cl}$ ) หาได้จาก

$$R_{cl} = 0.155I_{cl} \quad (2.10)$$

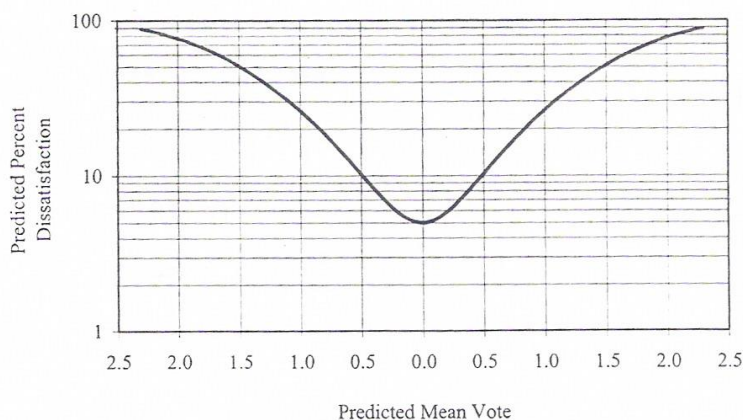
และค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า ( $I_{clo}$ )

$$I_{cl} = \sum_i I_{cl,i} \quad (2.11)$$

เนื่องจากความรู้สึกสบายของมนุษย์นั้นไม่มีทางเหมือนกันแม้จะอยู่ในสภาวะแวดล้อมเดียวกัน บางคนรู้สึกสบายแต่บางคนอาจจะไม่สบายก็ได้ ซึ่งในทางปฏิบัติอาจจะอธิบายค่าความรู้สึกนี้ได้ยาก เนื่องจากไม่มีสภาวะใดที่ทุกคนรู้สึกสบายทั้งหมด ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดดัชนีอีกตัวหนึ่งที่บอกให้ทราบถึงเปอร์เซ็นต์ของกลุ่มคนที่รู้สึกไม่สบาย (Predicted percentage dissatisfied) หรือ  $PPD$  ซึ่งหาได้จากสมการ

$$PPD = 100 - 95 \exp[-(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)] \quad (2.12)$$

โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $PMV$  และ  $PPD$  อธิบายโดยการทดลองของ Fanger ได้ทดลองกับชาวเดนมาร์ก 1,296 คน และ Nevins และ Rohles ทำการทดลองกับชาวอเมริกา ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $PMV$  และ  $PPD$  ดังรูปที่ 2.2 [15]



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีทำนายการโหวตเฉลี่ย (Predicted mean vote) กับเปอร์เซ็นต์ของกลุ่มคนที่รู้สึกไม่สบาย (Predicted percentage dissatisfied)[28]

### 2.3.2 การประเมินความรู้สึกสบายในแนวทางของ Adaptive comfort

การประเมินความสบายในแนวทางของ Adaptive comfort คือ การศึกษาความรู้สึกสบายของคนภายใต้สภาวะแวดล้อมทั่วไปที่ไม่มีการควบคุมปัจจัยใดๆ ซึ่งในแต่ละวันนั้นปัจจัยทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันออกไป ไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดได้ โดยเชื่อว่าผู้ที่อยู่อาศัยในสภาพแวดล้อมต่างๆ นั้นจะสามารถปรับตัวเองให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมได้ หรือที่เรียกว่า Adaptive comfort ในสภาพแวดล้อมที่อยู่อาศัยที่เคยชิน ในขณะที่ทำกิจกรรมใดๆ ในที่นั้นๆ เป็นประจำ เช่น คนที่อาศัยอยู่ในเมืองหนาวก็จะรู้สึกสบายที่อุณหภูมิต่ำกว่าคนที่อาศัยอยู่ในเมืองร้อน การศึกษาดำเนินไปหลากหลายรูปแบบอย่างต่อเนื่องทั่วโลกภายใต้สมมติฐานเรื่องการปรับตัวได้ของมนุษย์

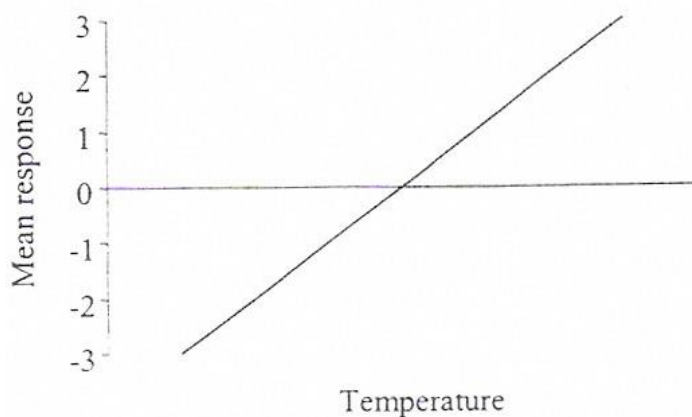
Ellis และ Webb ได้ศึกษาภาวะความรู้สึกสบายของมนุษย์ในแนวทางของ Adaptive comfort ภายใต้ภูมิอากาศเขตร้อนชื้นและได้สรุปเป็นแบบจำลองดังนี้ [26]

$$e_{ci} = T_{wb} + x(T_{db} - T_{wb}) - y\sqrt{v} \quad (2.13)$$

- เมื่อ  $e_c$  คือ อุณหภูมิที่บุคคลรู้สึกสบาย  
 $T_{db}$  คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ  
 $T_w$  คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ  
 $x, y$  คือ พารามิเตอร์ในฟังก์ชันของ  $e_{ci}$   
 $v$  คือ ความเร็วลม

ภาวะที่ดีที่สุด คือ  $e_{ci}$  มีค่า  $25.5^\circ\text{C}$

Humphreys (1975) ได้ศึกษารายงานและเฝ้าสังเกตปฏิกิริยาตอบสนองของมนุษย์โดยอธิบายเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาตอบสนองของมนุษย์กับอุณหภูมิว่า มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาตอบสนองของมนุษย์กับอุณหภูมิ [27]

สภาวะความรู้สึกลสบายเชิงความร้อนของมนุษย์ในแนวทางของ Adaptive Comfort นั้นได้มีผู้ศึกษากันอย่างกว้างขวางโดยการศึกษาแต่ละครั้งนั้นจะมีสมการแบบจำลองที่ใช้คำนวณอุณหภูมิสบาย (Neutral temperature,  $T_n$ ) ซึ่งทั้งอยู่ในรูปของอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ หรืออุณหภูมิเอฟเฟคทีฟ

Humphreys ได้สนใจและศึกษาปฏิกิริยาของตอบสนองของมนุษย์ที่อยู่ภายในห้องที่ไม่มีการปรับอากาศโดยสนใจอุณหภูมิภายในห้องเป็นหลัก

$$T_n = 11.9 + 0.534T_i \quad (2.14)$$

เมื่อ  $T_i$  คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในห้อง

Auliciems ได้สร้างแบบจำลองสำหรับอาคาร ซึ่งเป็นอาคารที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศได้ ความสัมพันธ์เป็น

$$T_n = 17.6 + 0.31T_m \quad (2.15)$$

เมื่อ  $T_m$  คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายในเดือนนั้นๆ

Nicol ได้ทำการสำรวจที่ประเทศปากีสถานและได้สมการแบบจำลองดังนี้

$$T_n = 17.0 + 0.38T_m \quad (2.16)$$

de Dear and Brager [10] ได้ทำการสำรวจอาคาร 2 ประเภท คือ อาคารที่มีการปรับอากาศ และอาคารที่ไม่มีการปรับอากาศ โดยมี 2 สมการดังนี้

เมื่อมีการปรับอากาศ

$$T_n = 22.6 + 0.04ET^* \quad (2.17)$$

เมื่อไม่มีการปรับอากาศ

$$T_n = 18.9 + 0.225ET^* \quad (2.18)$$

Kwok and Wai [30] ได้ทำการสำรวจอาคารที่มีการปรับอากาศที่ประเทศฮ่องกง ได้สมการแบบจำลองดังนี้

$$T_n = 18.303 + 0.158T_{\text{outdoor}} \quad (2.19)$$

Feridi and N. H. Wong [14] ได้ทำการสำรวจที่พักอาศัยในชุมชนประเทอินโดนีเซีย และได้ความสัมพันธ์เป็นสมการแบบจำลองดังนี้

$$T_n = 0.59OT - 17.21 \quad (2.20)$$



Wijewardance and M. T. R. Jayasinghe [23] ได้ทำการสำรวจในโรงงานประเทศศรีลังกา โดยใช้สมการจำลองดังนี้

$$T_n = 17.6 + 0.31T_o \quad (2.21)$$

พรเจตน์ ลุ่มยิ้ม และ วัชรพงษ์ ทองหล้า [31] ได้ทำการสำรวจในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอของประเทศไทยโดยใช้สมการจำลองภาวะสบาย 2 รูปแบบ

รูปแบบที่อ้างอิงอุณหภูมิกระเปาะแห้ง

$$T_n = 0.2641T_a - 6.6863 \quad (2.22)$$

รูปแบบที่อ้างอิงอุณหภูมิโอเปอร์เทิฟ

$$T_n = 0.2518T_o - 6.2845 \quad (2.23)$$

Nematchoua et al. [32] ได้ศึกษาและสำรวจประเภทอาคารโรงเรียนภายในประเทศแคเมอรูนของทั้ง 2 เมือง และได้สมการแบบจำลองดังนี้

เมืองยาอุนเด

$$T_n = 0.407T_a - 9.855 \quad (2.24)$$

เมืองอาลา

$$T_n = 0.355T_a - 8.843 \quad (2.25)$$

พงศ์ตะวัน นันทศิริ และ สักการ ราชสีสุทธิ [18] ได้ศึกษาสภาวะสบายของคนที่พักอาศัยในชุมชนโดยใช้วิธีการสำรวจภาคสนามทั้ง 2 สภาพอากาศ และได้สมการแบบจำลองดังนี้

สภาพอากาศฤดูหนาว

$$T_n = 0.1148T_a - 4.7913 \quad (2.26)$$

สภาพอากาศฤดูฝน

$$T_n = 0.1847T_a - 6.6027 \quad (2.27)$$

De dear et al. [21] ได้สนใจสำรวจในอาคารโรงเรียนประเทศออสเตรเลียทั้งแบบปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ และได้สมการแบบจำลองดังนี้

$$T_n = 0.12T_o - 2.78 \quad (2.28)$$

Zhao et al. [22] ได้ศึกษาและสำรวจสภาพอากาศบริเวณพื้นที่ภายในมหาวิทยาลัยกวางโจวประเทศจีน โดยสนใจสภาพอากาศภายนอกอาคาร และได้สมการแบบจำลองดังนี้

$$T_n = 0.205SET^* - 4.899 \quad (2.29)$$

เมื่อ SET คือ Standard effective temperature

McIntyre [33] ได้เสนอดัชนีผลไหวตความรู้สึกสบายในอีกแบบหนึ่ง นั่นคือความรู้สึกที่ต้องการภายใต้คำถามที่ว่าต้องการให้สภาวะภายในห้องเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

เย็นลง (Cooler)      ไม่เปลี่ยนแปลง (No change)      อุ่นขึ้น (Warmer)

ตารางที่ 2.4 งานวิจัยการสำรวจภาวะสบายที่ผ่านมา

ลำดับ	ผู้วิจัย	แนวทางการสำรวจ				ประเทศ	สถานที่สำรวจ
		ASHRAE	Adaptive Comfort				
			T <sub>a</sub>	T <sub>o</sub>	ET		
1	Fanger [29]	✓				เดนมาร์ก	อาคาร
2	Busch [34]	✓			✓	ไทย	อาคาร
3	Khedari et al. [15]	✓				ไทย	อาคาร
4	นุภาพ แยมไตรพัฒน์, โจเซฟ เคดารี และคณะ [35]		✓			ไทย	อาคาร
5	มานิตย์ ศรีประเสริฐ, วิชชุทิพย์ สบายสุขและคณะ [17]	✓	✓	✓	✓	ไทย	อาคาร
6	ผศ.ดร.ทสพล เขตเจนการ [36]	✓	✓	✓	✓	ไทย	อาคาร
7	Tun [16]	✓		✓	✓	ไทย	อาคาร
8	สุภารัตน์ รัตนวิจิตร [37]	✓	✓	✓		ไทย	อาคาร
9	พงศ์ตะวัน นันทศิริ และ สักการ ราชีสุทธิ [18]	✓	✓			ไทย	อาคาร
10	Sekhar [9]	✓	✓	✓		สิงคโปร์	อาคาร
11	de Dear and Brager [10]	✓		✓		สิงคโปร์	อาคาร
12	Wong et al. [11]	✓		✓		สิงคโปร์	อาคาร
13	Wong and Khoo [12]	✓		✓		สิงคโปร์	อาคาร
14	Nicol and Roaf [38]	✓	✓			ปากีสถาน	อาคาร
15	Nicol and Humphreys [39]	✓				ปากีสถาน	อาคาร
16	Memon et al. [19]	✓		✓	✓	ปากีสถาน	อาคาร
17	Kwok et al. [40]	✓		✓		สหรัฐอเมริกา	อาคาร
18	Karyono [13]	✓	✓	✓		อินโดนีเซีย	อาคาร
19	Feriadi and Wong [14]	✓	✓			อินโดนีเซีย	อาคาร
20	Nakano et al. [41]	✓				ญี่ปุ่น	อาคาร
21	Chirattananon, Rakwamsuk [42]	✓	✓			ไม่ระบุ	อาคาร
22	Bouden and Ghrab [43]	✓	✓			ตูนิเซีย	อาคาร
23	Corgnati et al. [44]	✓				อิตาลี	อาคาร

ตารางที่ 2.4 งานวิจัยการสำรวจภาวะสบายที่ผ่านมา (ต่อ)

ลำดับ	ผู้วิจัย	แนวทางการสำรวจ				ประเทศ	สถานที่สำรวจ
		ASHRAE	Adaptive comfort				
			T <sub>a</sub>	T <sub>o</sub>	ET		
24	Nguyen et al. [20]	✓	✓	✓	✓	เอเชียตะวันออกเฉียงใต้	อาคาร
25	Nematchoua et al. [32]	✓	✓	✓		แคเมอรูน	อาคาร
26	Katafygiotou and Serghides [45]	✓				ไซปรัส	อาคาร
27	de Dear et al. [21]			✓		ออสเตรเลีย	อาคาร
28	Manu et al. [46]	✓	✓			อินเดีย	อาคาร
29	Mui and Chan [30]	✓		✓		จีน	อาคาร
30	Liu et al. [47]			✓		จีน	อาคาร
31	Zhao et al. [22]		✓			จีน	มหาวิทยาลัย
32	พรเจตน์ ลุ่มยิ้ม และ วัชรพงษ์ ทองหล้า [31]	✓	✓	✓	✓	ไทย	โรงงาน
33	Katejanekarn et al. [48]	✓	✓	✓	✓	ไทย	โรงงาน
34	Wijewardane and Jayasinghe [23]	✓		✓		ศรีลังกา	โรงงาน
35	Kosala et al. [24]	✓		✓		ศรีลังกา	โรงงาน
36	De Melo Pinto et al. [49]	✓				บราซิล	โรงงาน

\*หมายเหตุ

T<sub>a</sub> หมายถึง สมการอุณหภูมิสบาย (Neutral temperature) อยู่ในรูปอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ

T<sub>o</sub> หมายถึง สมการอุณหภูมิสบายอยู่ในรูปของอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ

ET\* หมายถึง สมการอุณหภูมิสบายอยู่ในรูปของอุณหภูมิเอฟเฟคทีฟ

### บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ

การวิจัยเรื่อง “การศึกษาภาวะสบายเชิงอุณหภูมิของกลุ่มคนในโรงงานสิ่งทอ” มีรายละเอียดเกี่ยวกับการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. ขั้นตอนการศึกษาวิจัย
2. กลุ่มตัวอย่างสำหรับงานวิจัย
3. สถานที่ที่ทำการสำรวจและสอบถาม
4. เครื่องมือสำหรับงานวิจัย
5. ระยะเวลาทำการวิจัย

#### 3.1 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

การวิจัยของวิทยานิพนธ์หัวข้อ “การศึกษาภาวะสบายเชิงอุณหภูมิของกลุ่มคนในโรงงานสิ่งทอ” มีขั้นตอนการศึกษาวิจัยดังแสดงในรูปที่ 3.1 และมีรายละเอียด ดังนี้

3.1.1 ศึกษาการประเมินภาวะสบายในแนวทางของ ASHRAE thermal sensation scale และในแนวทางของ Adaptive comfort และรวบรวมข้อมูลรวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.2 ติดต่อประสานงานกับโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อที่จะทำการสำรวจและสอบถามกลุ่มตัวอย่าง

3.1.3 วางแผนและเตรียมการสำรวจ เตรียมแบบสอบถาม อุปกรณ์เครื่องมือสำหรับตรวจวัดปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่ใช้ในการสำรวจและสอบถามกลุ่มตัวอย่าง

3.1.4 ทำการสำรวจและสอบถามกลุ่มตัวอย่าง ทำการสำรวจในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม ทั้งหมด 7 โรงงาน ในจังหวัดกรุงเทพฯ นครปฐม สมุทรสาคร และสมุทรปราการของประเทศไทย โดยการตอบแบบสอบถามและตรวจวัดค่าตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง จากจำนวนประชากร 843 คน เพื่อให้ได้ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ค่าความคลาดเคลื่อน  $\pm 5\%$  ตามหลักสถิติซึ่งพบว่าต้องใช้จำนวนกลุ่มตัวอย่าง 399 คนขึ้นไป โดยทั้งหมดเป็นพนักงานที่อยู่ในสภาพอากาศแวดล้อมทั่วไปของโรงงานอุตสาหกรรม การสำรวจจะทำหลังจากที่กลุ่มตัวอย่างอยู่ในโรงงานเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง เพื่อให้กลุ่มตัวอย่างได้มีเวลาปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อม [7] พื้นที่ที่ทำการสำรวจนั้น มีทั้งส่วนที่มีการปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ในการสำรวจแต่ละพื้นที่จะทำการตรวจวัดปัจจัยสิ่งแวดล้อมตามแนวทางของ ASHRAE Standard 55 ได้แก่

3.1.4.1 อุณหภูมิอากาศ ตั้งเครื่องมือวัดที่เหนือระดับพื้น 0.1, 1.1 และ 1.7 เมตร

3.1.4.2 ความเร็วลม ตั้งเครื่องมือวัดที่เหนือระดับพื้น 0.1, 1.1 และ 1.7 เมตร โดยจะต้องวัดเป็นเวลา 3 นาทีก่อนที่จะเก็บค่า

3.1.4.3 ความชื้นสัมพัทธ์ จะตั้งเครื่องมือวัดในพื้นที่ที่อยู่อาศัยโดยวัดที่เหนือระดับพื้น 1.1 เมตร

3.1.4.4 อุณหภูมิโกลบ ตั้งเครื่องมือวัดในตำแหน่งกลางห้องที่ทำการสำรวจ โดยวัดที่เหนือระดับพื้น 1.5 เมตร โดยตั้งเครื่องมือทิ้งไว้เป็นเวลาประมาณ 15 - 20 นาทีก่อนที่จะเก็บค่า เพื่อให้การถ่ายเทความร้อนอยู่ในภาวะสมดุล

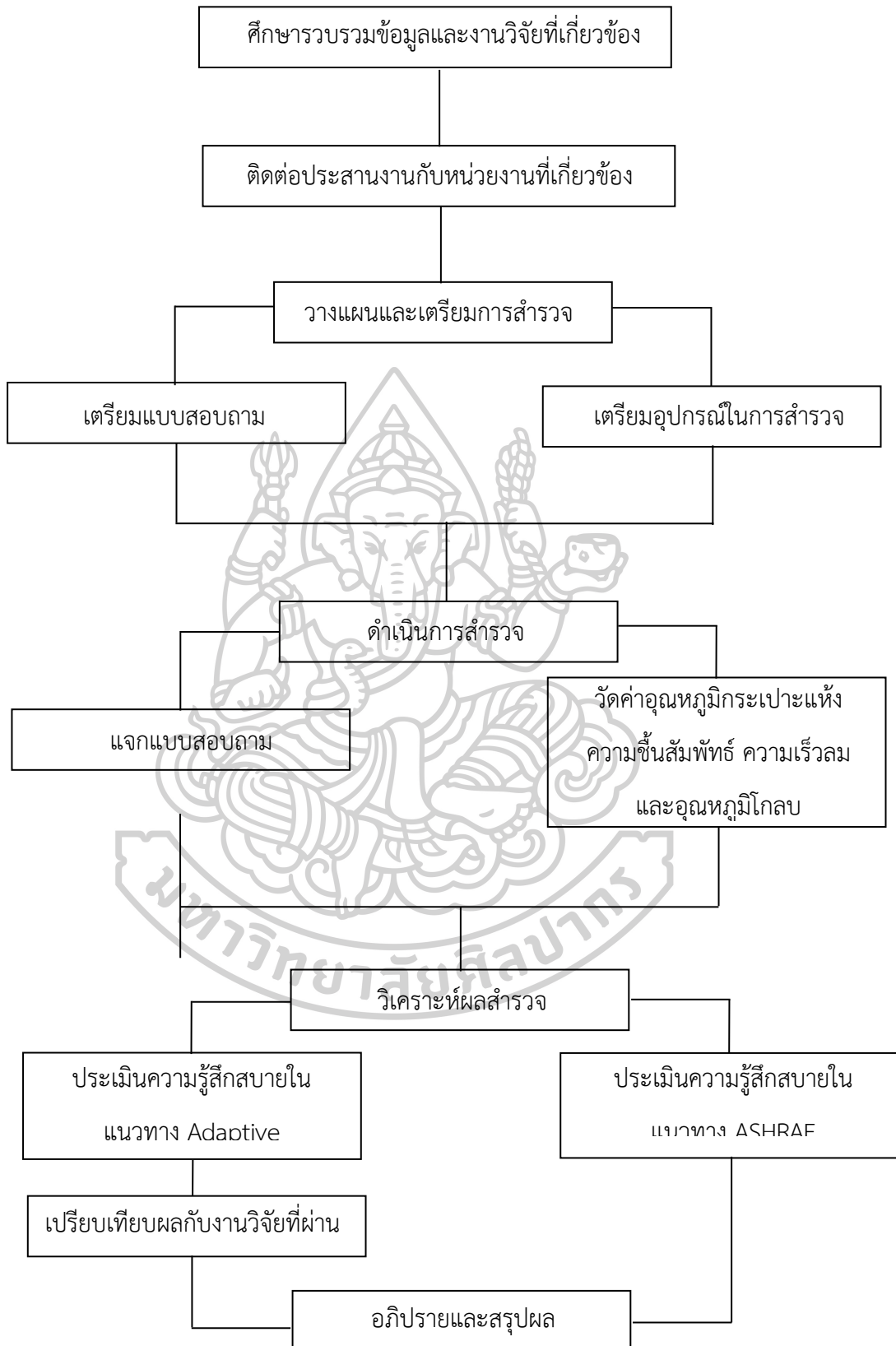
ส่วนปัจจัยด้านบุคคลและข้อมูลอื่นๆ จะใช้แบบสอบถามในการรวบรวม ประกอบด้วย เสื้อผ้า กิจกรรมที่ทำ เพศ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และค่าดัชนีการไหลทภาวะสบาย (Comfort vote, CV) ซึ่งอิงกับค่าตัวเลขระดับความรู้สึกสบาย และถือเป็นความรู้สึกของกลุ่มคนตัวอย่าง ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจจะนำมาวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อภาวะสบาย และแจกแจงปัจจัยที่มีผลต่อภาวะสบาย อันได้แก่ เพศ อายุ ดัชนีมวลกาย และการอยู่ในพื้นที่ปรับอากาศหรือไม่ปรับอากาศ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาภาวะสบายทั้งในแนวทางของ ASHRAE และในแนวทาง Adaptive comfort เพื่อเปรียบเทียบกัน

3.1.5 ประเมินภาวะสบายในแนวทางของ ASHRAE thermal sensation scale โดยนำค่าที่ได้จากการสำรวจและการตรวจวัด มาคำนวณหาค่าดัชนีทำนายการไหลทเฉลี่ย (Predicted mean vote, PMV) และเปอร์เซ็นต์ของกลุ่มคนที่ไม่รู้สึกสบาย (Predicted percentage dissatisfied, PPD) โดยจะสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีทำนายการไหลทเฉลี่ยกับอุณหภูมิอากาศ ( $T_a$ ) และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีทำนายการไหลทเฉลี่ยกับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ ( $T_o$ ) จากนั้น ทำการหาเส้นตัวแทนข้อมูล (Curve fitting) จุดตัดของเส้นตัวแทนกับแกนนอน (ค่า PMV = 0) จะเป็นอุณหภูมิภาวะสบายในแนวทางของ ASHRAE

3.1.6 ประเมินภาวะสบายในแนวทาง Adaptive comfort โดยนำค่าการสำรวจที่ได้จาก Comfort vote และการตรวจวัดมาวิเคราะห์ และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลทจากแบบสอบถามกับอุณหภูมิอากาศ ( $T_a$ ) และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลทจากแบบสอบถามกับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ ( $T_o$ ) จากนั้น ทำการหาเส้นตัวแทนข้อมูล (Curve fitting) จุดตัดของเส้นตัวแทนกับแกนนอน (ค่า CV = 0) จะเป็นอุณหภูมิภาวะสบายในแนวทางของ Adaptive comfort

3.1.7 วิเคราะห์ผลการสำรวจที่ได้ในแนวทางของ ASHRAE thermal sensation scale และเปรียบเทียบอุณหภูมิภาวะสบายจากการสำรวจที่ได้ในแนวทางของ Adaptive comfort กับงานวิจัยที่ผ่านมา

3.1.8 สรุปผลการประเมินภาวะสบายของคนในโรงงานอุตสาหกรรม และเสนอแนะแนวทางในการปรับสภาพอากาศในโรงงานอุตสาหกรรม



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย

### 3.2 กลุ่มตัวอย่างและสถานที่ทำการสำรวจสอบถาม

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้สำรวจประชากรในโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งได้สำรวจกลุ่มตัวอย่างของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มทั้ง 7 โรงงาน ได้แก่

- บริษัท ศรียงปั่นด้าย จำกัด  
229/1 หมู่ 4 ซอยโรงเหล็ก ตำบลอ้อมน้อย อำเภอกระทุ่มแบน จังหวัดสมุทรสาคร 74130  
จำนวน 123 คน
- บริษัท นินยางการทออุตสาหกรรม จำกัด  
19 หมู่ 5 ถนนเศรษฐกิจ 1 ตำบลท่าไม้ อำเภอกระทุ่มแบน จังหวัดสมุทรสาคร 74110  
จำนวน 154 คน
- บริษัท เวิลด์นิตติ้ง เทคโนโลยี จำกัด  
55/7 หมู่ 6 ถนนต้นสน ตำบลนาดี อำเภอเมืองสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรสาคร 74000  
จำนวน 92 คน
- บริษัท ลักกี้สตาร์การทอ จำกัด  
33/8, 33/11 หมู่ 4 ตำบลอ้อมใหญ่ อำเภอสสามพราน จังหวัดนครปฐม 73160.  
จำนวน 76 คน
- บริษัท ประเสริฐสมบูรณ์การทอ จำกัด  
65/2-4 หมู่ 8 ตำบลอ้อมใหญ่ อำเภอสสามพราน จังหวัดนครปฐม 73160  
จำนวน 160 คน
- บริษัท สินเจริญการทอ จำกัด  
38/5 หมู่ 7 ถนน สุขสวัสดิ์, บางจาก พระประแดง, สมุทรปราการ 10130  
จำนวน 122 คน
- บริษัท จอลี่เทคโนโลยี จำกัด  
86/179 หมู่ 3 ถนนเอกชัย 34 แขวงบางขุนเทียน เขตจอมทอง จังหวัดกรุงเทพมหานครฯ  
10150  
จำนวน 116 คน



### 3.3 เครื่องมือสำหรับงานวิจัย

3.3.1 เครื่องมือวัดอุณหภูมิโกลบ (Globe thermometer) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีลักษณะดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.2 โดยเครื่องมือนี้ สามารถวัดอุณหภูมิโกลบได้ตั้งแต่ 0-80°C ที่ความละเอียด 0.1°C ค่าความคลาดเคลื่อน  $\pm 0.6\%$  [50]



รูปที่ 3.2 เครื่องมือวัดอุณหภูมิโกลบ

3.3.2 เครื่องมือวัดความเร็วลมแบบเส้นขดลวดความร้อน (Hot wire anemometer) และ อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีลักษณะดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.3 โดยเครื่องมือนี้สามารถวัดความเร็วลมได้ตั้งแต่ 0-20 m/s ค่าความละเอียด 0.01 m/s ค่าความคลาดเคลื่อน  $\pm 0.03 \text{ m/s} + 5\% \text{ of mv.}$  และสามารถวัดอุณหภูมิอากาศได้ในช่อง  $-20-70^{\circ}\text{C}$  ค่าความละเอียด 0.1°C ค่าความคลาดเคลื่อน  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  (0-60°C) [51]



รูปที่ 3.3 เครื่องมือวัดความเร็วลมแบบเส้นขดลวดความร้อน

3.3.3 เครื่องมือวัดความชื้นของอากาศที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีลักษณะดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.4 โดยเครื่องนี้สามารถวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศได้ในช่อง 0-100%RH ที่ความละเอียด 0.1%RH ค่าความคลาดเคลื่อน  $\pm 2\%RH$  (+2-+98%RH) [52]



รูปที่ 3.4 เครื่องมือวัดความชื้นของอากาศ

3.3.4 แบบสอบถามซึ่งประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ ของกลุ่มตัวอย่างที่อยู่ภายในห้องที่ทำการสำรวจ ใช้เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์และคำนวณหาภาวะสบาย ตัวอย่างของแบบสอบถามที่ใช้ในการสำรวจในงานวิจัยนี้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

### 3.4 ระยะเวลาการทำการวิจัย

เริ่มทำการสำรวจสอบถามกลุ่มตัวอย่างสำหรับการวิจัยในเดือนมีนาคม 2560 และสรุปผลการวิจัยพร้อมเขียนรายงานการวิจัยแล้วเสร็จภายในเดือนพฤษภาคม 2560 ซึ่งการดำเนินการตลอดระยะเวลาการวิจัยสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน

รายการดำเนินงาน	ระยะเวลาของการดำเนินการวิจัย
ศึกษารวบรวมข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับภาวะสบายของคน	มกราคม 2559 - พฤศจิกายน 2559
ติดต่อประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง	ธันวาคม 2559
วางแผนและเตรียมการสำรวจ	มกราคม 2560 - กุมภาพันธ์ 2560
ดำเนินการสำรวจกลุ่มตัวอย่าง	มีนาคม 2560 - พฤษภาคม 2560
วิเคราะห์ผลที่ได้จากการสำรวจ	พฤษภาคม 2560 - กรกฎาคม 2560
เปรียบเทียบผลกับงานวิจัยการสำรวจภาวะสบายที่ผ่านมา	กรกฎาคม 2560 - มกราคม 2561
อภิปรายและสรุปผล	พฤษภาคม 2561 - มิถุนายน 2561



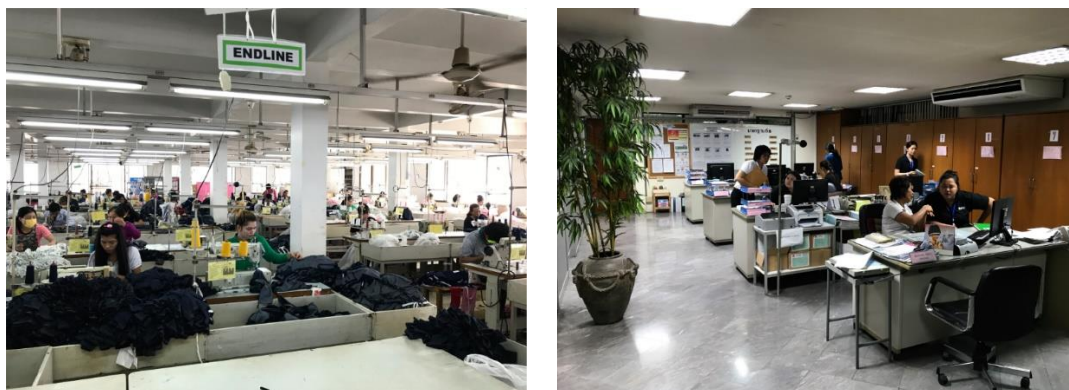
## บทที่ 4

### ผลการดำเนินการและอภิปรายผล

การสำรวจได้ดำเนินการในช่วงระหว่างเดือนมีนาคม 2560 ถึงเดือนพฤษภาคม 2560 ซึ่งถือว่าเป็นช่วงฤดูร้อนของไทย [53] เริ่มทำการสำรวจระหว่าง 8.30–16.00 น. โดยทำการสำรวจตรวจวัดและถามแบบสอบถามกับคนที่อยู่ในพื้นที่ที่มีการปรับอากาศและไม่ปรับอากาศทั่วทั้งโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งหมด 7 โรงงาน โดยมีจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่นำข้อมูลมาใช้งานได้จริง 843 คน จากจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่สำรวจทั้งหมด 872 คน โดยแบ่งออกเป็นแรงงานไทย 708 คน แรงงานพม่า 127 คน แรงงานกัมพูชา 6 คน และแรงงานลาว 20 คน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ทั้งนี้ ไม่ได้นำข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างที่มีอาการป่วยหรือเป็นไข้หวัดมาวิเคราะห์ เพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาดของผลลัพธ์ โดยทำการตรวจวัดในบริเวณที่มีผู้คนทำงานอยู่ แล้วจึงนำค่าที่ได้จากการเฉลี่ยมาคำนวณและวิเคราะห์ผล โดยข้อมูลที่ได้จากการสำรวจสรุปได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.2

**ตารางที่ 4.1** สรุปจำนวนประชากรแรงงานในโรงงานอุตสาหกรรม

โรงงาน	แรงงานไทย		แรงงานพม่า		แรงงานกัมพูชา		แรงงานลาว		จำนวนประชากร
	คน	%	คน	%	คน	%	คน	%	
1	7	6%	113	92%	0	0%	3	2%	123
2	145	94%	3	2%	0	0%	6	4%	154
3	92	100%	0	0%	0	0%	0	0%	92
4	104	84%	6	5%	6	5%	8	6%	124
5	77	100%	0	0%	0	0%	0	0%	88
6	164	97%	5	3%	0	0%	0	0%	169
7	119	98%	0	0%	0	0%	3	2%	122
<b>ทั้งหมด</b>	<b>708</b>	<b>81%</b>	<b>127</b>	<b>15%</b>	<b>6</b>	<b>1%</b>	<b>20</b>	<b>2%</b>	<b>872</b>



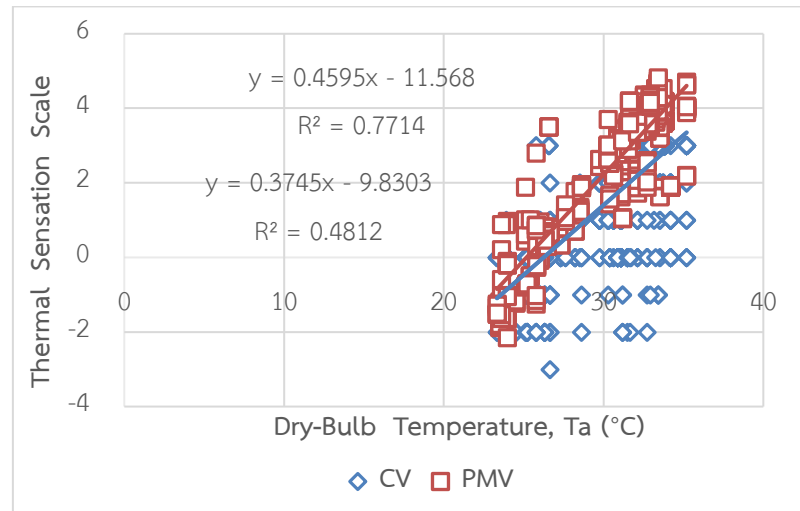
รูปที่ 4.8 สภาพแวดล้อมการทำงานระหว่างการสำรวจ

ตารางที่ 4.2 สรุปข้อมูลตัวแปรต่างๆ จากการสำรวจ

ตัวแปร	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
$T_a$ (°C)	23.33	35.20	31.09	2.91
$T_o$ (°C)	23.12	35.00	31.06	2.89
$T_r$ (°C)	22.80	34.80	31.02	2.93
Relative humidity (%)	37.30	82.53	62.21	9.53
Air velocity (m/s)	0.01	0.67	0.24	0.14
Clothing level (clo)	0.06	1.18	0.53	0.22
Metabolic rate (met)	1.00	2.10	1.46	0.33

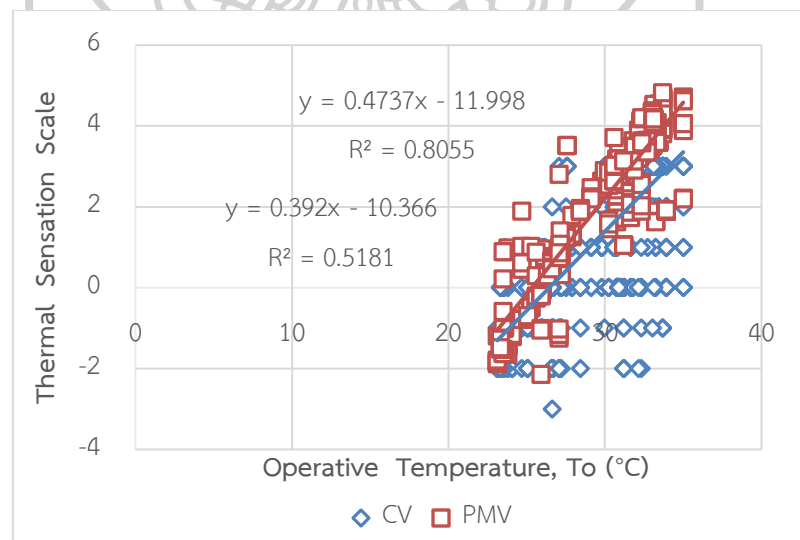
จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยมีค่า 31.09°C ซึ่งค่าที่ได้แทบจะไม่แตกต่างจากค่าของอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ 31.06°C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมีค่า 62.21% และความเร็วลมเฉลี่ยมีค่า 0.24 m/s ส่วนค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า เป็นผลรวมมาจากเสื้อผ้าที่คนทำงานสวมใส่ เช่น เสื้อยืดคอปก 0.08 clo, กางเกงยีนส์ 0.49 clo, ชุดชั้นใน 0.04 clo, ถุงเท้า 0.02 clo, รองเท้า 0.02 clo เป็นต้น สำหรับการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย กำหนดให้เท่ากับ 1.0, 1.2, 1.4 และ 2.1 met ซึ่งเทียบเท่ากับระดับกิจกรรมการทำงานในสำนักงาน กิจกรรมนั่งทำงานในไลน์การผลิต กิจกรรมยืนทำงานในไลน์การผลิต และกิจกรรมเดินหรือยกของ ตามลำดับ

#### 4.1 การวิเคราะห์อุณหภูมิภาวะสบาย



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า PMV, CV และอุณหภูมิภาวะสบาย

รูปที่ 4.1 กับ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ภาวะสบายตามแนวทางของ ASHRAE โดยภาวะสบายหมายถึงจุดที่เส้นตัวแทนของข้อมูลตัดกับแกนนอนซึ่งตรงกับค่า  $PMV = 0$  จากรูปจะเห็นว่า ภาวะสบายในรูปของอุณหภูมิภาวะสบาย ( $T_a$ ) และอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ ( $T_o$ ) มีค่าเท่ากับ  $25.18^\circ\text{C}$  และ  $25.33^\circ\text{C}$  ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า PMV, CV และอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ

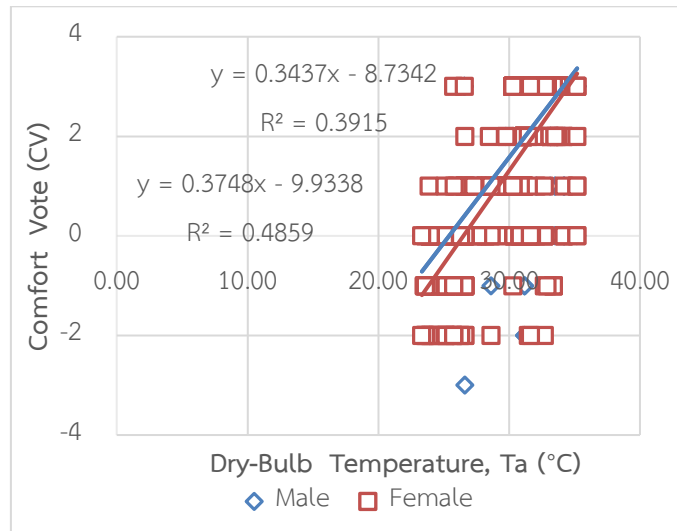
รูปที่ 4.1 กับ 4.2 ยังแสดงผลการวิเคราะห์ภาวะสบายตามแนวทางของ Adaptive comfort ที่อาศัย CV ซึ่งเป็นความรู้สึกจริงของกลุ่มตัวอย่างในการวิเคราะห์ โดยภาวะสบาย คือ จุดตัดของเส้นตัวแทนข้อมูลกับแกนนอนที่ตรงกับค่า  $CV = 0$  จากรูปจะพบว่า อุณหภูมิภาวะสบายในรูปของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ( $T_a$ ) และอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ ( $T_o$ ) มีค่าเท่ากับ  $26.25^{\circ}\text{C}$  และ  $26.44^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ

นอกจากนั้นแล้วรูปที่ 4.1 และ 4.2 ยังแสดงให้เห็นอีกว่าอุณหภูมิภาวะสบายตามแนวทางของ ASHRAE มีค่า  $T_a = 25.18^{\circ}\text{C}$  และ  $T_o = 25.33^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ และอุณหภูมิภาวะสบายตามแนวทาง Adaptive comfort มีค่า  $T_a = 26.25^{\circ}\text{C}$  และ  $T_o = 26.44^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าอุณหภูมิภาวะสบายในรูปของอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่วิเคราะห์ตามแนวทางของ ASHRAE จะต่ำกว่าแนวทาง Adaptive comfort อยู่ประมาณ  $1.07^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิภาวะสบายในรูปของอุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่วิเคราะห์ตามแนวทางของ ASHRAE จะต่ำกว่าในแนวทางของ Adaptive comfort อยู่ประมาณ  $1.11^{\circ}\text{C}$  ซึ่งหมายความว่าอุณหภูมิสบายที่ทำนายตามแนวทางของ ASHRAE จะต่ำกว่าอุณหภูมิจริงของกลุ่มตัวอย่างอยู่ประมาณ  $1^{\circ}\text{C}$

ทั้งนี้ หากพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดที่  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  อาจกล่าวได้ว่าอุณหภูมิภาวะสบายในรูปของ  $T_a$  และ  $T_o$  ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น ในการวิเคราะห์อุณหภูมิภาวะสบายต่อจากนี้ จะวิเคราะห์ในรูปของอุณหภูมิกระเปาะแห้งเพียงอย่างเดียว

## 4.2 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อภาวะสบาย

การวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อภาวะสบายประกอบด้วยปัจจัยต่างๆ ได้แก่ เพศ อายุ ดัชนีมวลกาย และการอยู่ในพื้นที่ปรับอากาศหรือไม่ปรับอากาศ



รูปที่ 4.3 อุณหภูมิภาวะสบายของเพศชายและเพศหญิง

### 4.2.1 เพศ

การวิเคราะห์เกี่ยวกับปัจจัยเพศ พบว่าในงานนี้เพศมีผลต่ออุณหภูมิภาวะสบายอย่างมีนัยสำคัญ โดยเพศหญิงมีอุณหภูมิภาวะสบายที่สูงกว่าเพศชายอยู่ 1.09°C คือ มีอุณหภูมิภาวะสบายอยู่ที่ 26.50°C ในขณะที่เพศชายมีอุณหภูมิภาวะสบายอยู่ที่ 25.41°C ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.3 ซึ่งสาเหตุที่เพศหญิงมีอุณหภูมิภาวะสบายสูงกว่าเพศชาย อาจจะอธิบายได้ว่าเสื้อผ้าที่สวมใส่ของเพศหญิงบางกว่า [54] และมีอัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกายต่ำกว่าเพศชาย [13] ซึ่งผลของงานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.3



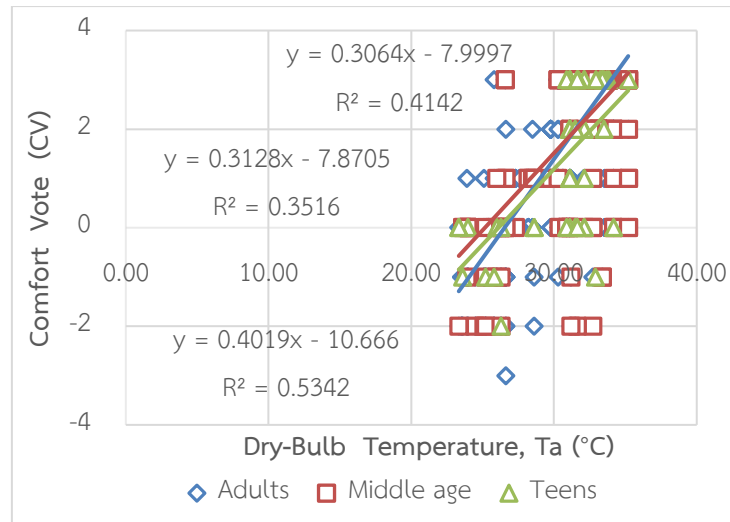
ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิภาวะสบายของเพศชายและเพศหญิง

ผู้วิจัย	จำนวนกลุ่มตัวอย่าง (คน)			อุณหภูมิภาวะสบาย (°C)		ผลต่างอุณหภูมิภาวะสบาย (°C)
	ชาย	หญิง	รวม	ชาย	หญิง	
Beshir and Ramsey [55]	31	15	46	23.40	24.90	1.50
Karyono [13]	345	227	569	25.20	26.30	1.10
Busch [34]	-	-	1,100	24.60	25.40	0.80
พรเจตน์ ลุ่มยิ้ม และ วัชรพงษ์ ทองหล้า [31]	204	195	399	25.44	25.68	0.30
งานวิจัยนี้	381	462	843	25.41	26.50	1.09

#### 4.2.2 อายุ

ตารางที่ 4.4 ระยะพัฒนาการของมนุษย์ [56]

ช่วงวัย	ช่วงอายุ
ระยะก่อนเกิด	ตั้งแต่เริ่มปฏิสนธิ - ระยะคลอด
วัยทารก	ตั้งแต่เกิด - 2 ปี
วัยเด็ก	2 - 12 ปี
วัยย่างเข้าสู่วัยรุ่น	12 - 14 ปี
วัยรุ่น	14 - 21ปี
วัยผู้ใหญ่	21 - 40 ปี
วัยกลางคน	40 - 60 ปี
วัยผู้สูงอายุ	60 ปีขึ้นไป



รูปที่ 4.4 อุณหภูมิภาวะสบายของคนแต่ละช่วงวัย

ผลของการวิเคราะห์เกี่ยวกับปัจจัยอายุ โดยแบ่งกลุ่มอายุดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.4 พบว่าในงานนี้ อายุมีผลต่ออุณหภูมิภาวะสบายอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอุณหภูมิภาวะสบายของวัยรุ่น วัยผู้ใหญ่ และวัยกลางคนอยู่ที่  $26.11^{\circ}\text{C}$ ,  $25.16^{\circ}\text{C}$  และ  $26.54^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.4 เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิภาวะสบายระหว่างวัยรุ่นกับวัยผู้ใหญ่ พบว่ามีอุณหภูมิภาวะสบายที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยจะต่างกันประมาณ  $0.95^{\circ}\text{C}$  และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างวัยผู้ใหญ่กับวัยกลางคน พบว่ามีอุณหภูมิภาวะสบายที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยจะต่างกันประมาณ  $1.38^{\circ}\text{C}$  จากการพิจารณาลักษณะการทำงานในโรงงานที่สำรวจ พบว่ากลุ่มของวัยผู้ใหญ่มีระดับการทำงานที่หนักกว่า จึงส่งผลให้มีอุณหภูมิภาวะสบายที่ต่ำกว่ากลุ่มวัยรุ่นและวัยกลางคน และจากการที่พบว่าอุณหภูมิสบายของวัยกลางคนสูงที่สุดนั้นสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาจาก Karyono ที่พบว่าอุณหภูมิภาวะสบายของคนที่มีอายุ 40 ปีขึ้นไปมีอุณหภูมิภาวะสบายที่สูงกว่าคนที่มีอายุน้อยกว่า 40 ปี เนื่องจากระดับความหนักในการทำงานของร่างกายน้อยกว่า [13] ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.5

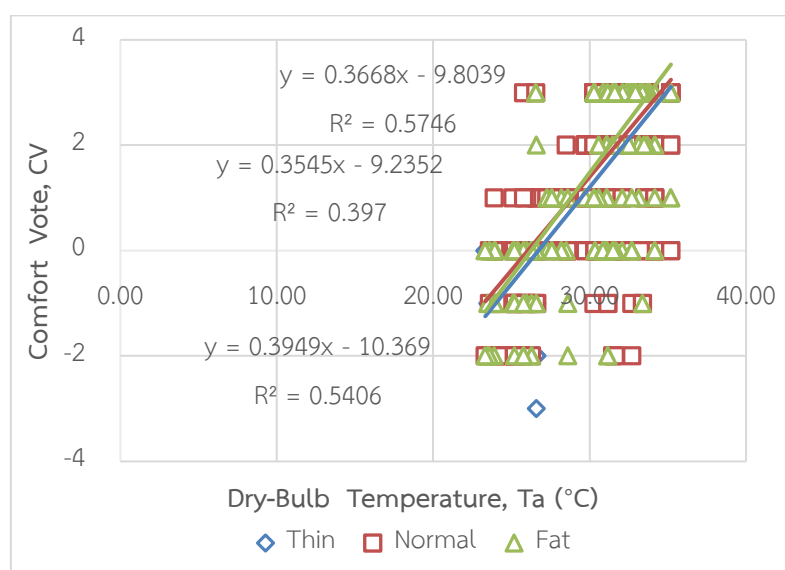
ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิภาวะสบายของคนแต่ละช่วงวัย

ผู้วิจัย	จำนวนกลุ่มตัวอย่าง (คน)				อุณหภูมิภาวะสบาย ( $^{\circ}\text{C}$ )			ผลต่างอุณหภูมิภาวะสบาย ( $^{\circ}\text{C}$ )
	วัยรุ่น	วัยผู้ใหญ่	วัยกลางคน	รวม	วัยรุ่น	วัยผู้ใหญ่	วัยกลางคน	
Karyono [13]				596	26.5		26.4	0.1
ASHRAE [57]								0.6
Marincic [58]				150				0.6
งานวิจัยนี้	54	580	209	843	26.11	25.16	26.54	0.95-1.38

### 4.2.3 ดัชนีมวลกาย (BMI)

ตารางที่ 4.6 ดัชนีมวลกาย (BMI) ตามเกณฑ์สำหรับประชากรเอเชีย [58]

ดัชนีมวลกาย (kg/m <sup>2</sup> )	
กลุ่ม	เกณฑ์สำหรับประชากรเอเชีย
น้ำหนักน้อย	< 18.5
น้ำหนักปกติ	18.5 - 22.99
น้ำหนักเกิน	≥ 23



รูปที่ 4.5 อุณหภูมิภาวะสบายของแต่ละช่วงดัชนีมวลกาย

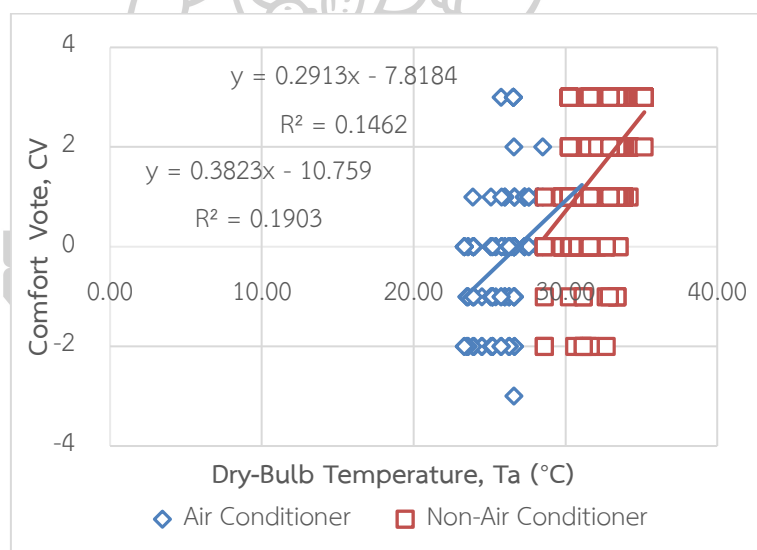
การวิเคราะห์เกี่ยวกับปัจจัยดัชนีมวลกาย (น้ำหนักในหน่วย kg ทหารด้วยส่วนสูงในหน่วย m<sup>2</sup>) โดยแบ่งกลุ่มดัชนีมวลกายดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.6 พบว่าในงานนี้ ปัจจัยดัชนีมวลกายมีผลต่ออุณหภูมิภาวะสบาย โดยอุณหภูมิภาวะสบายของกลุ่มคนผอม กลุ่มคนปกติ และกลุ่มคนอ้วนอยู่ที่ 26.73°C, 26.05°C และ 26.26°C ตามลำดับ จากการพิจารณาผลทดลองของกลุ่มคนผอมกับกลุ่มคนปกติ พบว่ามีอุณหภูมิภาวะสบายที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยจะต่างกันประมาณ 0.68°C และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิภาวะสบายของกลุ่มคนปกติกับกลุ่มคนอ้วน กลับพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยจะต่างกันประมาณ 0.21°C การที่กลุ่มคนปกติกับกลุ่มคนอ้วนมีอุณหภูมิภาวะสบายที่ต่ำกว่ากลุ่มคนผมนั้นอาจมาจากสาเหตุที่ว่าคนอ้วนมีไขมันเป็นฉนวน [59-61] จึงส่งผลให้มีอุณหภูมิภาวะสบายที่ต่ำกว่ากลุ่มคนผอมดังแสดงในรูปที่ 4.5 งานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา

ของ Karyono ที่พบว่ากลุ่มคนอ้วนมีอุณหภูมิภาวะสบายที่แตกต่างกับกลุ่มคนปกติอยู่ที่  $0.7^{\circ}\text{C}$  และแตกต่างกับกลุ่มคนผอมอยู่ที่  $1.0^{\circ}\text{C}$  [13] ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 อุณหภูมิภาวะสบายของของแต่ละช่วงดัชนีมวลกาย

ผู้วิจัย	จำนวนกลุ่มตัวอย่าง (คน)				อุณหภูมิภาวะสบาย ( $^{\circ}\text{C}$ )			ผลต่างอุณหภูมิภาวะสบาย ( $^{\circ}\text{C}$ )
	ผอม	ปกติ	อ้วน	รวม	ผอม	ปกติ	อ้วน	
Karyono [13]	199	273	49	521				0.7-1.0
Marincic [58]				150	33.0		32.5	0.5
Blaza and Garrow [62]	5		5	10	23.2-26.4	23.3-26.2		0.1-3.1
Fanger [29]	128		128	256				0.17-0.26
งานวิจัยนี้	94	415	336	845	26.73	26.05	26.26	0.21-0.68

#### 4.2.4 การอยู่ในพื้นที่ปรับอากาศและพื้นที่ไม่ปรับอากาศ



รูปที่ 4.6 อุณหภูมิภาวะสบายของคนที่อยู่ในพื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ

ผลของการวิเคราะห์เกี่ยวกับปัจจัยการอยู่ในพื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ พบว่าในงานนี้ การอยู่ในพื้นที่ปรับอากาศหรือไม่ปรับอากาศมีผลต่ออุณหภูมิภาวะสบายอย่างมีนัยสำคัญ โดยคนที่อยู่ในพื้นที่ปรับอากาศมีอุณหภูมิภาวะสบายที่ต่ำกว่าคนที่อยู่ในพื้นที่ไม่ปรับอากาศอยู่ประมาณ  $1.30^{\circ}\text{C}$  หรือมีอุณหภูมิภาวะสบายอยู่ที่  $26.84^{\circ}\text{C}$  ในขณะที่คนที่อยู่ในพื้นที่ไม่ปรับอากาศมีอุณหภูมิภาวะสบาย

อยู่ที่ 28.14°C ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.6 ซึ่งผลของงานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.8

**ตารางที่ 4.8** อุณหภูมิภาวะสบายของคนที่อยู่ในพื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ

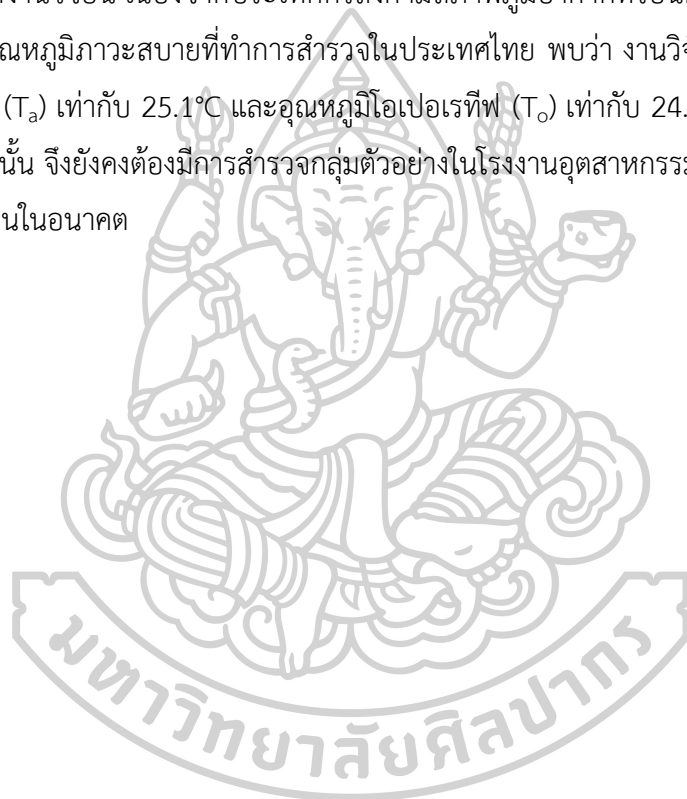
ผู้วิจัย	จำนวนกลุ่มตัวอย่าง (คน)			อุณหภูมิภาวะสบาย (°C)		ผลต่างอุณหภูมิภาวะสบาย (°C)
	ปรับ	ไม่ปรับ	รวม	ปรับ	ไม่ปรับ	
พรเจตน์ กลุ่มยิ้ม และ วัชรพงษ์ ทองหล้า [31]	62	337	399	25.41	26.51	1.10
งานวิจัยนี้	158	687	845	26.84	28.14	1.30

#### 4.3 อุณหภูมิภาวะสบายของอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม

**ตารางที่ 4.9** ผลจากงานวิจัยนี้เทียบกับผลของงานวิจัยที่ผ่านมา

ผู้วิจัย	อุณหภูมิสบาย (°C)		ประเทศ	สถานที่
	T <sub>a</sub>	T <sub>o</sub>		
Sekhar [9]	28.9	28.9	สิงคโปร์	อาคาร
de Dear and Brager [10]		28.5	สิงคโปร์	อาคาร
Wong et al. [11]		28.9	สิงคโปร์	อาคาร
Wong and Khoo [12]		28.8	สิงคโปร์	อาคาร
Karyono [13]	26.4	26.7	อินโดนีเซีย	อาคาร
Feridi and Wong [14]	29.1	29.2	อินโดนีเซีย	อาคาร
Khedari et al. [15]	29.5		ไทย	อาคาร
Tun [16]		27.0	ไทย	อาคาร
มานิตย์ ศรีประเสริฐ และคณะ [17]	28.1	28.3	ไทย	อาคาร
พงศ์ตะวัน นันทศิริ และ สักการ ราศีสุทธิ [18]	28.9 - 29.0		ไทย	อาคาร
Memon et al. [19]		29.3	ปากีสถาน	อาคาร
Nguyen et al. [20]		29.8	เอเชียตะวันออกเฉียงใต้	อาคาร
de Dear et al. [21]		25.1	ออสเตรเลีย	อาคาร
Zhao et al. [22]	30.0		จีน	มหาวิทยาลัย
Wijewardane and Jayasinghe [23]		31.0	ศรีลังกา	โรงงาน
Kosala et al. [24]		30.0	ศรีลังกา	โรงงาน
พรเจตน์ กลุ่มยิ้ม และ วัชรพงษ์ ทองหล้า [31]	25.1	24.7	ไทย	โรงงาน
งานวิจัยนี้	26.25	26.44	ไทย	โรงงาน

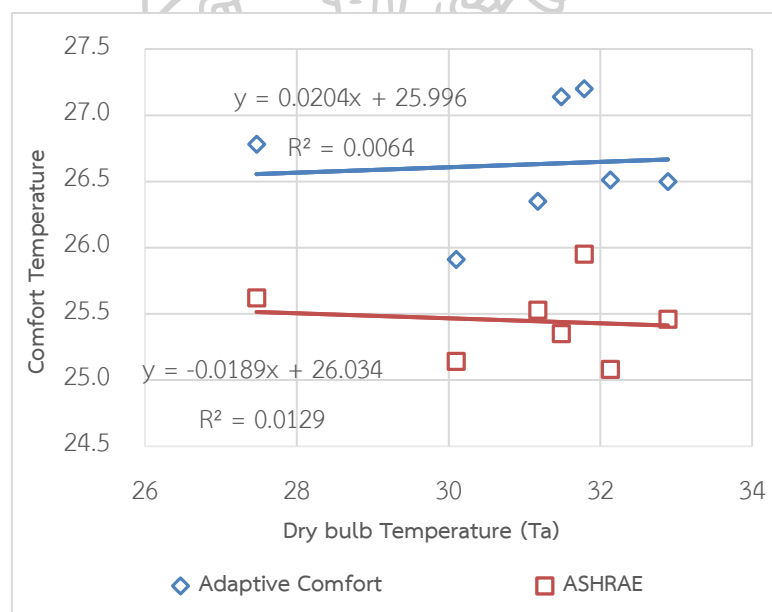
จากตารางที่ 4.9 จะพบว่าอุณหภูมิภาวะสบายในงานวิจัยที่ผ่านมามีค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ( $T_a$ ) อยู่ในช่วง  $25.1-30.0^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ ( $T_o$ ) อยู่ในช่วง  $24.7-30.0^{\circ}\text{C}$  ส่วนอุณหภูมิภาวะสบายของงานวิจัยนี้มีค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ( $T_a$ ) เท่ากับ  $26.25^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ ( $T_o$ ) เท่ากับ  $26.44^{\circ}\text{C}$  ซึ่งถือว่าสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่ได้ทำการสำรวจภาวะสบายในโรงงานอุตสาหกรรมของประเทศศรีลังกา 2 งานวิจัย และงานวิจัยของประเทศไทย 1 งานวิจัย พบว่า งานวิจัยในประเทศศรีลังกา 2 งานวิจัยมีค่าอุณหภูมิภาวะสบายในรูปแบบของอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ ( $T_o$ ) เท่ากับ  $30.0^{\circ}\text{C}$  และ  $31.0^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิภาวะสบายที่ได้จากงานวิจัยนี้ เนื่องจากประเทศศรีลังกามีสภาพภูมิอากาศที่ร้อนกว่าประเทศไทย แต่เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิภาวะสบายที่ทำการสำรวจในประเทศไทย พบว่า งานวิจัยที่ผ่านมามีค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ( $T_a$ ) เท่ากับ  $25.1^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ ( $T_o$ ) เท่ากับ  $24.7^{\circ}\text{C}$  ซึ่งต่างจากงานนี้อยู่พอสมควร ดังนั้น จึงยังคงต้องมีการสำรวจกลุ่มตัวอย่างในโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นต่อไป เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่ชัดเจนในอนาคต



#### 4.4 ผลกระทบจากอุณหภูมิอากาศภายนอกที่มีผลต่ออุณหภูมิภาวะสบาย

ตารางที่ 4.10 สรุปข้อมูลอุณหภูมิภาวะสบายและอุณหภูมิอากาศภายนอกของทั้ง 7 โรงงาน

โรงงาน	อุณหภูมิภายนอก (°C) T <sub>amb</sub>	อุณหภูมิสบาย (°C)		ผลต่างอุณหภูมิภาวะสบาย (°C)
		Adaptive Comfort	ASHRAE	
1	32.89	26.50	25.46	1.04
2	31.79	27.20	25.95	1.25
3	27.47	26.78	25.62	1.16
4	32.13	26.51	25.08	1.43
5	30.1	25.91	25.14	0.77
6	31.18	26.35	25.53	0.82
7	31.49	27.14	25.35	1.79
เฉลี่ย	31.09	26.25	25.18	1.07



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภาวะสบายและอุณหภูมิอากาศภายนอกของ 7 โรงงาน

จากตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของ  $T_n$  และอุณหภูมิอากาศภายนอก ( $T_{amb}$ ) ของทั้ง 7 โรงงาน เมื่อพิจารณารูปเส้นตรงที่สร้างขึ้นเป็นตัวแทนของข้อมูล (Linear curve fitting) ของอุณหภูมิสบายจากแนวทางของ Adaptive comfort พบว่า ได้สมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของข้อมูลดังสมการที่ 4.1

$$T_n = 0.0204T_{amb} + 25.996 \quad (4.1)$$

อย่างไรก็ตาม สมการตัวแทนที่ได้มานั้นยังถือว่าเป็นตัวแทนที่ไม่ดี กล่าวคือค่า  $R^2$  มีค่าต่ำมาก แสดงถึงว่าตัวแปรตามกับตัวแปรต้นสัมพันธ์กันน้อยมาก เป็นไปได้สูงที่จะต้องมีการมีจำนวนข้อมูลมากกว่านี้อีกมากจึงจะเห็นแนวโน้มได้ชัดเจนขึ้น และได้สมการตัวแทนที่เป็นตัวแทนที่มั่นใจได้มากกว่านี้

ส่วนความสัมพันธ์ระหว่าง  $T_n$  กับ  $T_{amb}$  จากข้อมูลในแนวทาง ASHRAE ก็เช่นกัน จะพบว่า ไม่เห็นแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของ  $T_n$  ตาม  $T_{amb}$  ชัดเจนเท่าใดนัก

#### 4.5 การแนะนำอุณหภูมิภาวะสบาย

ในการแบ่งแยกการควบคุมอุณหภูมิภาวะสบายนั้น ยังคงต้องแบ่งแยกตามพื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ โดยการที่จะแบ่งแยกเป็นการปรับอากาศให้ชายเป็นแบบหนึ่งและหญิงแบบหนึ่งนั้นในพื้นที่ทำงานเดียวกันนั้นทำไม่ได้ในทางปฏิบัติ หรือการแบ่งแยกการปรับอากาศสำหรับคนที่มีดัชนีมวลกายเป็นคนอ้วนแบบหนึ่ง คนปกติแบบหนึ่ง และคนผอมแบบหนึ่งในพื้นที่เดียวกันนั้นก็คงจะทำได้ หรือการแบ่งแยกการปรับอากาศสำหรับคนแต่ละช่วงอายุโดยวัยรุ่นแบบหนึ่ง วัยผู้ใหญ่แบบหนึ่ง และวัยกลางคนแบบหนึ่งในพื้นที่เดียวกันนั้นก็ทำไม่ได้เช่นกัน

ดังนั้นจึงได้ทำการแบ่งแยกประชากรเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มคนที่อยู่พื้นที่ปรับอากาศและกลุ่มคนที่อยู่ในพื้นที่ไม่ปรับอากาศ แล้วหา  $T_n$  ของแต่ละกลุ่มย่อยอีกครั้งหนึ่ง ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และ 4.12

ตารางที่ 4.11 อุณหภูมิของคนกลุ่มต่างๆ ในพื้นที่ปรับอากาศ

ปัจจัย	อุณหภูมิสบาย ( $^{\circ}\text{C}$ ) $T_n$
เพศชาย	26.20 $^{\circ}\text{C}$
เพศหญิง	26.97 $^{\circ}\text{C}$
วัยรุ่น	25.01 $^{\circ}\text{C}$
วัยผู้ใหญ่	25.90 $^{\circ}\text{C}$
วัยกลางคน	25.86 $^{\circ}\text{C}$
คนอ้วน	25.98 $^{\circ}\text{C}$
คนปกติ	26.37 $^{\circ}\text{C}$
คนผอม	26.53 $^{\circ}\text{C}$



ตารางที่ 4.12 อุณหภูมิของคนกลุ่มต่างๆ ในพื้นที่ไม่ปรับอากาศ

ปัจจัย	อุณหภูมิสบาย ( $^{\circ}\text{C}$ ) $T_n$
เพศชาย	27.05 $^{\circ}\text{C}$
เพศหญิง	27.07 $^{\circ}\text{C}$
วัยรุ่น	26.75 $^{\circ}\text{C}$
วัยผู้ใหญ่	26.14 $^{\circ}\text{C}$
วัยกลางคน	26.67 $^{\circ}\text{C}$
คนอ้วน	26.22 $^{\circ}\text{C}$
คนปกติ	26.54 $^{\circ}\text{C}$
คนผอม	25.42 $^{\circ}\text{C}$

จากข้อมูลในตารางที่ 4.11 และ 4.12 จึงแนะนำให้ตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศในพื้นที่ปรับอากาศเท่ากับ  $25.99 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  จะสามารถทำให้ทุกเพศ ทุกวัย และทุกรูปร่างรู้สึกสบายได้

ส่วนในพื้นที่ไม่ปรับอากาศ แนะนำให้ควบคุมอุณหภูมิอากาศให้เท่ากับ  $26.24 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  จะสามารถทำให้ทุกเพศ ทุกวัย และทุกรูปร่างรู้สึกสบายได้ โดยอาจใช้การปรับอากาศแบบเฉพาะจุด (Spot cooling) หรือการใช้พัดลมไอน้ำ ในการควบคุมอุณหภูมิอากาศ

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การประเมินภาวะสบายของคนในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอในงานนี้ ทำโดยการสำรวจกลุ่มตัวอย่างในจังหวัดสมุทรสาคร จำนวน 3 โรงงาน จังหวัดนครปฐม จำนวน 2 โรงงาน จังหวัดสมุทรปราการ จำนวน 1 โรงงาน และจังหวัดกรุงเทพฯ จำนวน 1 โรงงาน ในการสำรวจได้ทำการสำรวจกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 843 คน ซึ่งเป็นจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่เพียงพอแล้วจากจำนวนประชากรทั้งหมด 872 คน ตามวิธีการสุ่มแบบของ Yamane ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และความคลาดเคลื่อนที่  $\pm 5\%$  จากผลการประเมินพบว่าในรูปแบบอุณหภูมิภาวะสบายที่ประเมินตามแนวทาง ASHRAE มีค่าเท่ากับ  $25.18^{\circ}\text{C}$  ในรูปแบบอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ( $T_a$ ) และ  $25.33^{\circ}\text{C}$  ในรูปของอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ ( $T_o$ ) ต่ำกว่าภาวะสบายตามความเป็นจริงที่ประเมินตามแนวทาง Adaptive comfort ที่มีค่าเท่ากับ  $26.25^{\circ}\text{C}$  ในรูปแบบอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ( $T_a$ ) และ  $26.44^{\circ}\text{C}$  ในรูปของอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ ( $T_o$ ) ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิภาวะสบายตามแนวทาง ASHRAE ต่ำกว่าแนวทาง Adaptive comfort ประมาณ  $1^{\circ}\text{C}$  ซึ่งภาวะสบายตามแนวทาง Adaptive comfort อาจมีความน่าเชื่อถือมากกว่า เนื่องจากเป็นการเก็บค่าจากความรู้สึกจริงของกลุ่มตัวอย่างในขณะนั้น นอกจากนี้แล้วยังพบว่าอุณหภูมิภาวะสบายในรูปแบบของอุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิโอเปอเรทีฟไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ หากพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดเท่ากับ  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$

เมื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่ออุณหภูมิภาวะสบาย อันได้แก่ เพศ อายุ ดัชนีมวลกาย และการอยู่ในพื้นที่ปรับอากาศหรือไม่ปรับอากาศ พบว่า ทั้งหมดเป็นปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิภาวะสบาย โดยเพศหญิงมีอุณหภูมิสบายสูงกว่าเพศชาย  $1.09^{\circ}\text{C}$  วัยผู้ใหญ่มีอุณหภูมิสบายสูงกว่าวัยรุ่นกับวัยกลางคน  $1.38^{\circ}\text{C}$  และ  $0.95^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ คนอ้วนมีอุณหภูมิสบายสูงกว่าคนผอม  $0.68^{\circ}\text{C}$  และคนที่อยู่ในพื้นที่ปรับอากาศมีอุณหภูมิสบายต่ำกว่าคนที่อยู่ในพื้นที่ไม่ปรับอากาศอยู่  $1.30^{\circ}\text{C}$  ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา อย่างไรก็ตาม เมื่อเทียบกับงานวิจัยของประเทศศรีลังกา พบว่าอุณหภูมิสบายของไทยยังคงมีค่าต่ำกว่า เนื่องจากประเทศศรีลังกามีสภาพภูมิอากาศที่ร้อนและชื้นกว่าประเทศไทย

สมการอุณหภูมิสบายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในรูปแบบอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ( $T_n$ ) กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายนอก ( $T_{amb}$ ) ที่พัฒนาได้จากงานนี้ แสดงดังสมการต่อไปนี้ โดยอุณหภูมิทั้งหมดอยู่ในหน่วย  $^{\circ}\text{C}$

$$T_n = 0.0204T_{amb} + 25.996 \quad (5.1)$$

แต่อย่างไรก็ตาม สมการนี้มีค่า  $R^2$  ที่ต่ำมาก แสดงถึงว่า ตัวแปรตามคืออุณหภูมิสบาย กับตัวแปรต้นคืออุณหภูมิภายนอก มีความสัมพันธ์กันน้อยมาก เป็นไปได้สูงที่เกิดจากการที่จำนวนข้อมูลมีน้อยเกินไป ทำให้ไม่สามารถเห็นแนวโน้มความสัมพันธ์ได้อย่างชัดเจน

การแบ่งแยกการควบคุมอุณหภูมิภาวะสบายยังคงต้องแบ่งแยกตามพื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ดังนั้น จึงแนะนำให้ตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศในพื้นที่ปรับอากาศเท่ากับ  $25.99 \pm 0.5^\circ\text{C}$  จะสามารถทำให้ทุกเพศ ทุกวัย และทุกรูปร่างรู้สึกสบายได้ และส่วนในพื้นที่ไม่ปรับอากาศ แนะนำให้ควบคุมอุณหภูมิอากาศให้เท่ากับ  $26.24 \pm 0.5^\circ\text{C}$  จะสามารถทำให้ทุกเพศ ทุกวัย และทุกรูปร่างรู้สึกสบายได้ โดยอาจใช้การปรับอากาศแบบเฉพาะจุด (Spot cooling) หรือการใช้พัดลมไอน้ำ ในการควบคุมอุณหภูมิอากาศ

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาวิจัยต่อไปในอนาคต มีดังนี้

- การสำรวจและตรวจวัดค่าต่างๆ ควรทำการสำรวจให้ครบทุกฤดูกาล เช่น ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว เพื่อนำผลที่ได้วิเคราะห์และเปรียบเทียบกัน จะทำให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนตลอดทั้งปี
- การสำรวจและตรวจวัดค่าต่างๆ ควรเลือกกลุ่มตัวอย่างโรงงานอุตสาหกรรมที่มีความหลากหลาย และทำการสำรวจให้ครบทุกภูมิภาคของประเทศไทย เพื่อให้อุณหภูมิภาวะสบายของคนในโรงงานอุตสาหกรรมมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

## รายการอ้างอิง

- [1] สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรมและสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, 2012 "โครงการจัดตั้งศูนย์การเผยแพร่แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในภาคอุตสาหกรรม(Industrial Energy Efficiency Information Center),"
- [2] E. N. Center, 2017 "ทิศทางพลังงานไทยในปีระกา2560,"
- [3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน(พพ.), 2011 "โครงการศูนย์แสดงเทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงาน(DISPLAY CENTER),"
- [4] F. Herzberg, B. Mausner, and B. B. Snyderman, "The motivation to work," 2011. vol. 1: Transaction publishers.
- [5] G. Kats, L.Alevantis, A. Berman, E. Mills, and J. Perlman, 2003 "The costs and financial benefits of green buildings,"
- [6] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานและกระทรวงพลังงาน, 1996 "โครงการรวมพลังหาร 2 คิดก่อนใช้,"
- [7] ASHRAE, 2005 ASHRAE® HANDBOOK FUNDAMENTALS.
- [8] ASHRAE, 2013 "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy," ANSI/ASHRAE Standard-55,
- [9] S. Sekhar, 1995 "Higher space temperatures and better thermal comfort—a tropical analysis," Energy and Buildings, vol. 23, pp. 63-70.
- [10] R. J. De Dear, G.S.Brager, J. Reardon, and F. Nicol, 1998 "Developing an adaptive model of thermal comfort and preference/Discussion," ASHRAE transactions, vol. 104, p. 145.
- [11] N. Wong, H. Feriadi, P. Lim, K. Tham, C. Sekhar, and K. Cheong, 2002 "Thermal comfort evaluation of naturally ventilated public housing in Singapore," Building and Environment, vol. 37, pp. 1267-1277.

- [12] N. H. Wong and S. S. Khoo, 2003 "Thermal comfort in classrooms in the tropics," *Energy and building*, vol. 35, pp. 337-351.
- [13] T. H. Karyono, 2000 "Report on thermal comfort and building energy studies in Jakarta—Indonesia," *Building and environment*, vol. 35, pp. 77-90.
- [14] H. Feriadi and N. H. Wong, 2004 "Thermal comfort for naturally ventilated houses in Indonesia," *Energy and Buildings*, vol. 36, pp. 614-626.
- [15] J. Khedari, N. Yamtripat, N. Pratintong, and J. Hirunlabh, 2000 "Thailand ventilation comfort chart," *Energy and building*, vol. 32, pp. 245-249.
- [16] N. N. N. M. Tun, 2005 "Field assessment of thermal comfort in common spaces in Asian Institute of Technology,"
- [17] มานิตย์ ศรีประเสริฐ, วิชชุทิพย์ สบายสุข และ ศิริลักษณ์ ใจอ่อน, 2007 "การประเมินความรู้สึกสบายของคนในมหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์,"
- [18] พงศ์ตะวัน นันทศิริ และ สักการ ราชสีสุทธิ, 2015 "การศึกษาสภาวะสบายของผู้มีรายได้น้อย: กรณีศึกษาโครงการบ้านมั่นคงชุมชนโนนหนองวัด2," *วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, vol. 14, pp. 127-141.
- [19] R. A. Memon, S.C., and P. Vangtook, 2008 "Thermal comfort assessment and application of radiant cooling: A case study," vol. 43, pp. 1185-1196.
- [20] A. T. Nguyen, M. K.Singh, and S. Reiter, 2012 "An adaptive thermal comfort model for hot humid South-East Asia," *Building and Environment*, vol. 56 pp. 291-300.
- [21] R. de Dear, J. Kim, C. Candido, and M. Deuble, 2015 "Adaptive thermal comfort in Australian school classrooms," *Building Research & Information*, vol. 43, pp. 383-398.
- [22] L. Zhao, X. Zhou, L. Li, S. He, and R. Chen, 2016 "Study on outdoor thermal comfort on a campus in a subtropical urban area in summer," *Sustainable Cities and Society*, vol. 22, pp. 164-170.

- [23] S. Wijewardane and M. T. R. Jayasinghe, 2018 "Thermal comfort temperature range for factory workers in warm humid tropical climates," *Renewable Energy*, vol. 33, pp. 2057-2063.
- [24] W. V. R. Kosala, P. N. Vilasini, and J. R. Gamage, "Comfort study of work environment of apparel industry," in *Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 2011 IEEE International Conference on, 2011, pp. 789-793.
- [25] ASHRAE, 2007 "Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings," Standard 90.1.
- [26] S. Chirattananon, 2005 *Building for energy efficiency*: AIT.
- [27] ASHRAE, 2003 "Thermal Environmental Conditions for human Occupancy,"
- [28] ASHRAE, 2010 "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy,"
- [29] P. O. Fanger, 1970 "Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering,"
- [30] K. W. H. Mui and W. T. D. Chan, 2003 "Adaptive comfort temperature model of air-conditioned building in Hong Kong," *Building and Environment*, vol. 38, pp. 837-852.
- [31] พรเจตน์ ลุ่มยิ้ม และ วัชรพงษ์ ทองหล้า, 2013 "การสำรวจภาวะสบายของคนในโรงงานอุตสาหกรรม,"
- [32] M. K. Nematchoua, R. Tchinda, and J. A. Orosa, 2014 "Adaptation and comparative study of thermal comfort in naturally ventilated classrooms and buildings in the wet tropical zones," *Energy and Building*, vol. 85, pp. 321-328.
- [33] D. McIntyre, 1978 "Seven point scales of warmth," *Building Services Engineer*, vol. 45, pp. 215-226.
- [34] J. F. Busch, 1992 "Thermal responses to the Thai office environment," *ASHRAE transactions*, vol. 96.

- [35] นุภาพ แยมไตรพัฒน์, โจเซฟ เคดารี และ จงจิตร หิรัญลาภ, 2004 "อิทธิพลของปัจจัยทางกายภาพที่มีต่อความรู้สึกทางความร้อนของ คนไทยในสภาพแวดล้อมแบบสำนักงาน(Effect of Physical Factors on Thermal Sensation of Thai People in Office Environment),"
- [36] ผศ.ดร.ทศพล เขตเจนการ, 2008 "การประเมินภาวะสบายของคนในมหาวิทยาลัยศิลปากรพระราชวังสนามจันทร์,"
- [37] สุภรณ์รัตน์ รัตนวิจิตร, 2012 "ความไม่สบายเชิงอุณหภูมิของผู้โดยสารในอาคารสนามบิน,"
- [38] F. Nicol and S. Roaf, 1996 "Pioneering new indoor temperature standards: the Pakistan project," *Energy and Building*, vol. 23, pp. 169-174.
- [39] J. F. Nicol and M. A. Humphreys, 2002 "Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings," *Energy and building*, vol. 34, pp. 563-572.
- [40] A. G. Kwok, J. Reardon, and K. Brown, 1998 "Thermal comfort in tropical classrooms/Discussion," *ASHRAE Transactions*, vol. 104, p. 1031.
- [41] J. Nakano, S. Tanabe, and K. Kimura, 2002 "Differences in perception of indoor environment between Japanese and non-Japanese workers," *Energy and Building*, vol. 34, pp. 615-621.
- [42] S. Chirattananon, P. Rakwamsuk, V. D. Hien, J. Taweekun, and V. Mettanant, "Development of a building energy code for new buildings in Thailand," In *Proceedings of the Joint International Conf on Sustainable Energy and Environment (SEE) Thailand, 2004.*
- [43] C. Bouden and N. Ghrab, 2005 "An adaptive thermal comfort model for the Tunisian context: a field study results," *Energy and Building*, vol. 37, pp. 952-963.
- [44] S. P. Corgnati, M. Filippi, and S. Viazzo, 2007 "Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: Subjective preferences and thermal comfort," *Energy and Environment*, vol. 42, pp. 951-959.

- [45] M. C. Katafygiotou and D. K. Serghides, 2014 "Thermal comfort of a typical secondary school building in Cyprus," *Sustainable Cities and Society*, vol. 13, pp. 303-312.
- [46] S. Manu, Y. Shukla, R. Rawal, L. E. Thomas, and R. de Dear, 2016 "Field studies of thermal comfort across multiple climate zones for the subcontinent: India Model for Adaptive Comfort (IMAC)," *Building and Environment*, vol. 98, pp. 55-70.
- [47] Y. Liu, J. Jiang, D. Wang, and J. Liu, 2016 "The indoor thermal environment of rural school classrooms in Northwestern China," *Indoor and Building Environment*, p. 1420326X16634826.
- [48] T. Katejanekarn, P. Lumyim, and W. Thonglar, 2014 "A Survey on Thermal Comfort of People in Industrial Factories.,"
- [49] N. d. M. Pinto, A. A. d. P. Xavier, and K. Hatakeyama, 2015 "Thermal Comfort in Industrial Environment: Conditions and Parameters," *Procedia Manufacturing*, vol. 3, pp. 4999-5006.
- [50] S. Scientific, 2010 "WBGT SD Card Datalogger 800037 Instruction Manual,"
- [51] Testo, 2013 "Thermal anemometer testo-425,"
- [52] Testo, 2014 "Multifunction measuring instrument testo-435,"
- [53] กรมอุตุนิยมวิทยา และ [www.tmd.go.th](http://www.tmd.go.th), "ฤดูกาลของไทย," 2559.
- [54] J. Spagnolo and R. De Dear, 2003 "A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia," *Building and Environment*, vol. 38, pp. 721-738.
- [55] M. Beshir and J. Ramsey, 1981 "Comparison between male and female subjective estimates of thermal effects and sensations," *Applied Ergonomics*, vol. 12, pp. 29-33.
- [56] สุชา จันทน์เอม, 2542 "พัฒนาการของมนุษย์," *จิตวิทยาพัฒนาการ*, pp. หน้า 50-57.



- [57] ASHRAE, 1989 "Chapter 8: Physiological Principles," ASHRAE Handbook - Fundamentals.
- [58] I. MARINCIC, J.OCHOA, M. ALPUCHE, and G. GÓMEZ-AZPEITIA, 2009 "Adaptive Thermal Comfort in Warm Dry Climate,"
- [59] R. H. Pekka Tuomaala, K. Piira, and M. Airaksinen, 2013 "Impact of individual characteristics-such as age, gender, BMI, and fitness-on human thermal sensation,"
- [60] P. F. G. M. Mozaffarieh, A. Schötzau, S. Orgül, J. Flammer and K. Kräuchi, 2010 "Research Thermal discomfort with cold extremities in relation to age, gender, and body mass index in a random sample of a Swiss urban population,"
- [61] J. S. G. SANDRA BLAZA, 1983 "Thermogenic response to temperature, exercise and food stimuli in lean and obese women," studied by 24 h direct calorimetry,
- [62] S. Blaza and J. Garrow, 1983 "Thermogenic response to temperature, exercise and food stimuli in lean and obese women," studied by 24 h direct calorimetry, vol. 49, pp. 171-180.





## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายสุธินันต์ กุ้ยรัตน์
วัน เดือน ปี เกิด	24 กรกฎาคม 2530
สถานที่เกิด	จังหวัด กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนทวีธาภิเศก จังหวัด กรุงเทพมหานคร ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสมุทรสาคร จังหวัด สมุทรสาคร ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม, RMUTK มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ จังหวัด กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ปัจจุบัน	68, เลียบคลองภาษีเจริญฝั่งเหนือ 2, ถนนเพชรเกษม 69, เขตหนองแขม, แขวงหนองแขม, กรุงเทพมหานคร 10160

