



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการพลังงานยั่งยืนเพื่อเทคโนโลยีอาคาร Sustainable Energy for Building Technology (SEBT)

ผศ.ดร.วิภาวดี วงษ์สุวรรณ

4/18/2017

แก้ไข 5/27/2019

TNI

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำขึ้นเพื่อศึกษาแนวทางการนำพลังงานรังสีอาทิตย์มาใช้เพื่อประหยัดพลังงานในห้องเรียนของอาคารเรียน โดยเบื้องต้นในงานวิจัยส่วนแรกได้มีการประเมินสภาวะน่าสบายของห้องเรียนปรับอากาศ ณ อาคาร C ผู้วิจัยได้มีการพัฒนาชุดโครงข่ายเซนเซอร์แบบไร้สายที่สามารถวัดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อการคำนวณค่า PMV และ PPD ซึ่งจะแสดงถึงสภาวะน่าสบาย (Thermo comfort) ของห้องเรียน และมีการนำชุดเซนเซอร์ดังกล่าวมาใช้วัดค่าในห้องเรียนในขณะที่มีการเรียนการสอนจริง พร้อมทั้งใช้แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียนในห้องปรับอากาศเพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าประเมินสภาวะน่าสบายที่ได้จากสมการในมาตรฐาน ASHRAE และได้ผลที่สอดคล้องกัน นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยยังได้นำผลการวัดค่าและผลการคำนวณ PMV จากมาตรฐาน ASHRAE มาพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบ ANN และ NARX เพื่อทำนายค่า PMV ด้วย และพบว่าผลการคำนวณจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลแม่นยำในระดับที่ยอมรับได้

นอกจากงานภาคทฤษฎีแล้ว สำหรับภาคปฏิบัติก็ได้มีการพัฒนาเครื่องมือเพื่อสนับสนุนการลดการใช้พลังงานโดยในอนาคต โดยใช้สภาวะน่าสบาย (Thermal comfort) ที่ระบุโดยดัชนีจากมาตรฐาน ASHRAE ซึ่งเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นเรียกว่า Thermal comfort calculator ที่สามารถคำนวณค่า PMV และ PPD ได้โดยไม่ต้องพึ่งพาระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ คือทำงานได้แบบ Stand alone โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ร่วมกับคอมพิวเตอร์จิ๋วแบบราสเบอร์รี่ไพ (Raspberry Pi)

งานวิจัยส่วนที่สองได้มีการนำชุดเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้นแบบไร้สาย ที่สามารถติดตั้งได้หลายจุดมาใช้เพื่อตรวจสอบค่าสภาวะอากาศแบบเรียลไทม์ ในขณะที่มีการทดสอบระบบปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์กระแสตรง ที่ติดตั้ง ณ หน่วยทดสอบในห้อง K-105 ของโรงปฏิบัติการ K โดยระบบปรับอากาศรับไฟฟ้าจากชุดแบตเตอรี่ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาอาคาร K ระบบปรับอากาศออกแบบมาให้รับกำลังไฟฟ้า 960 Watt ที่ความต่างศักย์ 24 VDC ใช้กระแสไฟฟ้าสูงสุด 42.3 A ระบบปรับอากาศสามารถรักษาอุณหภูมิภายในห้องอยู่ในช่วง 23-28°C ความชื้นสัมพัทธ์ 47-59 %RH ทำความเย็นได้ 4,294 – 6,316 Btu/h หรือโดยเฉลี่ย 5,305 Btu/h แสดงว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำระบบปรับอากาศแบบไฟฟ้ากระแสตรงจากเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้กับห้องเรียนหรืออาคารเรียนที่ได้รับการออกแบบมาให้เหมาะสมต่อการติดตั้งชุดเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาได้

สรุปว่า หากมีการปรับอากาศโดยคำนึงถึงสภาวะน่าสบาย โดยปรับระดับอุณหภูมิให้เหมาะสม อาทิ ภายในห้องเรียนที่ปรับอากาศ ให้ปรับตั้งอุณหภูมิให้สูงขึ้นจาก 25 °C เป็น 26 °C และปรับเพิ่มความเร็วลม เพื่อให้คนรู้สึกสบายโดยยังคงพึงพอใจต่อปริมาณลมที่สูงขึ้น ในขณะที่มีการวัดและประเมิน PMV และ PPD แบบเรียลไทม์ด้วยชุดเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้นร่วมกับ Raspberry Pi ก็จะช่วยประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศได้ และอีกแนวทางหนึ่ง งานวิจัยก็ได้พิสูจน์ให้เห็นแล้วว่าสามารถใช้งานระบบปรับอากาศแบบเซลล์แสงอาทิตย์แทนการใช้ไฟฟ้าจากระบบกริด ซึ่งอาจพิจารณาความเป็นไปได้เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับอาคารเรียนได้เช่นกัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนโดยสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ส่วนงานวิจัยและบริการวิชาการ ภายใต้ทุนวิจัยหมายเลข 1404/A008 เมื่อปีการศึกษา 2556 เริ่มการวิจัยเมื่อเดือนเมษายน 2557 ทั้งนี้ คณะผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณการมีส่วนร่วมทำวิจัยโดยผู้ช่วยวิจัย (Research assistance) ได้แก่ นายปฏิญญา เกตุทอง และนายณัฏฐร ช่วยพันธ์

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณการสนับสนุนการวิจัยจากห้องวิจัยอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ (Intelligent Electronics System Research Laboratory: IES) รวมถึงนักวิจัยและนักศึกษาปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม ประจำห้องวิจัยอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ ได้แก่ นายจิรายุ ปิตะกุล และนายสมศักดิ์ ไทยเจริญ ที่มีส่วนช่วยในการสร้างอุปกรณ์วัดข้อมูล และสร้างเซนเซอร์วัดอุปกรณ์ รวมถึงการโปรแกรมโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมในโปรแกรม MATLAB

นอกจากนี้ ขอแสดงความขอบคุณ นายฤตกร กัลละ นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม ที่มีส่วนร่วมในการประกอบอุปกรณ์ทดสอบ การติดตั้งทดสอบระบบ และการเก็บข้อมูลการทดลอง และการวิเคราะห์ระบบปรับอากาศจากรังสีอาทิตย์ และขอขอบคุณนางสาวธารทิพย์ สงอุการ ที่มีส่วนช่วยในงานวิจัยสภาวะนำสabayในห้องเรียนอาคาร C และคณะผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณอาสาสมัครที่เข้าร่วมการทดสอบ และขอแสดงความขอบคุณการบริจาคตู้ทดสอบจากบริษัทโตโยต้ามอเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด (TMT) ตลอดจนฝ่ายอาคารสถานที่ซึ่งช่วยสนับสนุนการดัดแปลงตู้ทดสอบให้สามารถใช้งานได้ อีกทั้งขอขอบคุณบริษัท SANDEN ที่ได้บริจาคคอมเพรสเซอร์แบบสกรอลล์เพื่อทดสอบความเป็นไปได้ในการนำมาประยุกต์ใช้กับการปรับอากาศ

ทั้งนี้ คณะผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณห้องวิจัย BEST จากบัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่กรุณาให้ยืมเครื่องมือวัดความเร็วลมและอุณหภูมิ ตลอดจนการมีส่วนร่วมทำวิจัยโดยการร่วมเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลสภาวะนำสabayในห้องเรียน ณ ห้องเรียนของทั้งสองสถาบัน

TNI

คณะผู้วิจัย

18 เมษายน 2560

สารบัญ

บทที่	ชื่อหัวข้อ	หน้า
	บทคัดย่อ	i
	กิตติกรรมประกาศ	ii
	สารบัญ	iii
	สารบัญรูป	v
	สารบัญตาราง	viii
1	บทนำ	1-1
	1.1 บทนำ	1-1
	1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย	1-3
	1.3 วัตถุประสงค์การวิจัย	1-3
	1.4 ขอบเขตการวิจัย	1-4
	1.5 ระเบียบวิธีวิจัย	1-4
	1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1-6
	1.7 เอกสารอ้างอิง	1-6
2	งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	2-1
	2.1 สภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร	2-1
	2.2 สภาวะออกแบบภายในสำหรับการปรับอากาศ	2-4
	2.3 การถ่ายเทความร้อนระหว่างบุคคลกับสิ่งแวดล้อม	2-5
	2.4 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks; ANN)	2-12
	2.5 เอกสารอ้างอิง	2-15
3	ผลงานวิจัยส่วนที่หนึ่ง การประเมินสภาวะน่าสบายในห้องเรียน	3-1
	3.1 การประเมินสภาพความน่าสบายของห้องเรียน	3-1
	3.2 การพัฒนาโครงข่ายเซนเซอร์แบบไร้สายสำหรับการเก็บข้อมูลจากห้องปรับอากาศ	3-17
	3.3 การประมวลผลการเก็บข้อมูลสภาวะน่าสบายของห้องเรียน	3-27
	3.4 การประเมินศักยภาพการจัดการพลังงานในระบบปรับอากาศของอาคารเรียน C ณ สถาบัน TNI	3-37
	3.5 เอกสารอ้างอิง	3-37
4	ผลงานวิจัยส่วนที่สอง การทดสอบระบบปรับอากาศจากรังสีอาทิตย์	4-1
	4.1 แนวคิดการนำพลังงานรังสีอาทิตย์มาใช้กับอาคาร	4-1
	4.2 การติดตั้งระบบทดสอบการปรับอากาศ	4-3
	4.3 ขั้นตอนการทดลอง	4-7

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	ชื่อหัวข้อ	หน้า
	4.4 การวิเคราะห์ภาระของเครื่องปรับอากาศ	4-8
	4.5 การติดตั้งระบบปรับอากาศแบบคอมเพรสเซอร์ชนิดกระแสดรง	4-10
	4.6 ผลการติดตั้งระบบปรับอากาศ	4-12
	4.7 ผลการทดสอบระบบปรับอากาศเบื้องต้น	4-13
	4.8 การใช้กระแสไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ	4-13
	4.9 การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในตู้ทดสอบ	4-14
	4.10 ผลจากแบบสำรวจความพึงพอใจต่อสภาพทางอุณหภูมิในห้องปรับอากาศ	4-15
	4.11 สมดุลย์พลังงานของห้องปรับอากาศ	4-18
	4.12 เอกสารอ้างอิง	4-20
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	5-1
	5.1 สรุปผลการวิจัย	5-1
	5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยขั้นต่อไป	5-2

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1	ตำแหน่งที่ตั้งของสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น จาก Google Map	2-1
2.2	ภาพแสดงกลุ่มอาคารและพื้นที่สีเขียวใกล้กับสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น	2-2
2.3	สภาพอากาศของกรุงเทพมหานคร	2-3
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับอุณหภูมิ	2-6
2.5	การทำนายร้อยละความไม่พอใจเชิงคุณภาพ	2-10
2.6	เซลล์ประสาท (Neural) ในสมองมนุษย์	2-12
2.7	โครงสร้างพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม	2-13
2.8	โครงข่ายประสาทเทียม Back propagation	2-13
2.9	โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Feed Forward	2-14
2.10	NARX (Nonlinear autoregressive with external input networks)	2-15
3.1	ภาพห้องทดสอบและตำแหน่งเครื่องมือวัด	3-2
3.2	เซนเซอร์ DHT11	3-4
3.3	การต่อ DHT11 กับบอร์ด Arduino	3-4
3.4	แผงติดตั้งเซนเซอร์ T-RH บนบอร์ด Arduino	3-4
3.5	แผงเซนเซอร์ T-RH บนบอร์ดที่พัฒนาขึ้น	3-4
3.6	เซนเซอร์ SHT15	3-4
3.7	เครื่องมือวัด Temperature-Anemometer ของ EXTECH	3-4
3.8	แผนผังแสดงขั้นตอนการคำนวณค่า PMV ด้วยสมการของแฟงเกอร์	3-7
3.9	ระเบียบวิธีวิจัยโดยรวม	3-9
3.10	โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้	3-11
3.11	โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนกลับชนิด NARX ที่เป็นชุดของคาบเวลา	3-11
3.12	ผลการวัดค่าสภาวะอากาศในห้อง (ก) อุณหภูมิ (ข) ความชื้นสัมพัทธ์ และ (ค) ความเร็วลมจากการทดลองที่ 1	3-13
3.13	ผลการวัดค่าสภาวะอากาศในห้อง (ก) อุณหภูมิ (ข) ความชื้นสัมพัทธ์ และ (ค) ความเร็วลมจากการทดลองที่ 2	3-13
3.14	การกระจายค่า PMV จากผลการทดลองกับห้องเรียน (ก) คำนวณโดยสมการของแฟงเกอร์ (ข) วิเคราะห์จากแบบสอบถาม จากการทดลองที่ 1	3-14
3.15	การกระจายค่า PMV จากผลการทดลองกับห้องเรียน (ก) คำนวณโดยสมการของแฟงเกอร์ (ข) วิเคราะห์จากแบบสอบถาม จากการทดลองที่ 2	3-14
3.16	ผังห้อง C-406	3-19

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
3.17	แผนภาพแสดงการทำงานของชุดเซนเซอร์ SHT-15 และโมดูล RF รุ่น NRF24L01	3-10
3.18	กราฟการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์	3-21
3.19	ค่าการกระจายความเร็วลมในห้องทดลอง	3-21
3.20	กราฟการกระจายความถี่ของความพึงพอใจส่วนบุคคลในด้านความร้อน ความชื้น และการเคลื่อนที่ของอากาศ	3-23
3.21	กราฟแสดงการยอมรับต่อสภาพความร้อน	3-23
3.22	กราฟคอนทัวร์ของการยอมรับต่อสภาพความร้อน (ค่าโหวตโดยเฉลี่ยที่แท้จริง) ของผู้อาศัยตามค่า 7 ระดับ (-1 คือ ไม่ค่อยพอใจ และ 3 คือ พอใจมาก)	3-23
3.23	กรอบแนวคิดการออกแบบเครื่องคำนวณสภาวะน่าสบาย	3-26
3.24	เครื่องคำนวณสภาวะน่าสบายที่พัฒนาขึ้น	3-26
3.25	ความสัมพันธ์ของค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟและอุณหภูมิอากาศจากการสำรวจ	3-31
3.26	การคำนวณค่า AMV และ PMV ที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ	3-31
3.27	การพลอตโพรบิตการโหวต “ร้อนกว่าความรู้สึกสบาย” และ “เย็นกว่าความรู้สึกสบาย” กับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ	3-32
3.28	การยอมรับของสภาพสบายอุณหภูมิกับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ	3-33
3.29	การพลอตโพรบิตของการโหวต “อยากให้เย็นลง” และ “อยากให้ร้อนขึ้น” กับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ	3-34
3.30	โหวตเป็นร้อยละของคนที่ต้องการให้มีลมผ่านตัวสูงขึ้นกับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ	3-36
3.31	การพลอตโพรบิตของการโหวต “ร้อนกว่าความรู้สึกสบาย” และการโหวต “เย็นกว่าความรู้สึกสบาย”	3-36
4.1	ภาพอย่างง่ายระบบปรับอากาศที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์	4-2
4.2	ตู้ห้องทดสอบที่ห้อง K-105 โรงปฏิบัติการ K	4-2
4.3	คอมเพรสเซอร์สกอร์ชนิดไฟฟ้ากระแสตรง 24 Volt DC	4-3
4.4	กล่องควบคุมคอมเพรสเซอร์ขนาด 1000 Watt 24 Volt	4-3
4.5	คอยล์ร้อนหรือ Condensing unit ขนาด 400(W) X 350(H) X 40(L) mm พร้อมสายท่อน้ำยาสารทำความเย็นใช้สำหรับ R-134a ยาว 4 m	4-3
4.6	พัดลมสำหรับระบายความร้อนจากคอยล์ร้อน ขนาด 12” แรงดันไฟฟ้า 24 Volt 90 Watt	4-4
4.7	คอมเพรสเซอร์และกล่องควบคุมภายในชุดคอยล์ร้อน	4-4
4.8	ภาพแสดงการชาร์จน้ำยาทำความเย็นเข้าคอมเพรสเซอร์	4-4
4.9	คอยล์เย็นที่มีขนาด 600(W) X 280(H) X 180(L) mm	4-4
4.10	แบตเตอรี่ Globatt แบบ Deep Cycle ขนาด 12 Volt 150 Ah. 4 ลูก ต่อวงจรเป็นอนุกรมและขนานได้ 24 Volt สามารถสำรอง ไฟฟ้าได้ประมาณ 6 ชั่วโมง	4-4

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.11	โมดูลโฟโตโวลตาอิกยี่ห้อ Schutten ขนาด 250 Watt จำนวน 4 แผง รวม 1000 Watt แรงดันไฟสูงสุด 37.75 Volt DC	4-5
4.12	เครื่องมือวัดมัลติมิเตอร์สำหรับวัดกระแสไฟฟ้า	4-6
4.13	ผังตำแหน่งอุปกรณ์ในตู้ทดสอบ	4-7
4.14	สเกลประเมินสภาวะน่าสบายโดย Fanger	4-10
4.15	คอมเพรสเซอร์แบบสกอร์ที่ได้รับบริจาคจาก SANDEN	4-11
4.16	คอมเพรสเซอร์จากผู้ผลิตในประเทศจีน	4-11
4.17	อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามเวลาของตู้ทดสอบ	4-13
4.18	กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้ระบบปรับอากาศ	4-14
4.19	สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในระบบปรับอากาศโดยองค์ประกอบระบบ	4-14
4.20	กราฟการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและอัตราส่วนความชื้นของตู้ทดสอบใน 5 การทดลอง	4-15
4.21	กราฟแสดงสัดส่วนขององค์ประกอบความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อากาศในตู้ทดสอบ	4-19
4.22	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง AMV และ PMV	4-20

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	อุณหภูมิและอัตราส่วนความชื้นในแต่ละสภาพอากาศ	2-4
2.2	ค่าออกแบบภายในสำหรับอาคารประเภทต่างๆ	2-5
2.3	ระดับการยอมรับทางอุณหภูมิ	2-11
2.4	ข้อจำกัดการใช้ค่าทำนายค่าการไหลความร้อนเชิงอุณหภูมิ	2-12
3.1	เครื่องมือวัด	3-4
3.2	ความรู้สึกต่อสภาพอุณหภูมิ ความชื้น และการเคลื่อนไหวของอากาศ	3-5
3.3	ข้อมูลทางสถิติของชุดข้อมูลที่ใช้ฝึกโมเดล ANN	3-15
3.4	ค่าน้ำหนักและไบแอสสำหรับแต่ละนิวรอนของแบบจำลองค่า PMV จากโมเดล ANN ชนิดคลาสสิกและฟิดฟอร์ดเวิร์ด	3-16
3.5	ค่าน้ำหนักและไบแอสสำหรับแต่ละนิวรอนของแบบจำลอง NARX (PMV จากสมการแพงเกอร์)	3-16
3.6	ค่าน้ำหนักและไบแอสสำหรับแต่ละนิวรอนของแบบจำลอง NARX (PMV จากผลแบบสอบถาม)	3-16
3.7	สภาพห้องเรียนปรับอากาศในการทดลอง	3-18
3.8	การเปรียบเทียบค่า AMV และ PMV ที่แต่ละตำแหน่งวัดของห้องเรียน	3-24
3.9	ระดับสเกลของความรู้สึกสบายภายในห้องปรับอากาศ	3-27
3.10	อายุและการสวมเสื้อผ้าของผู้ที่ถูกรวบรวม	3-28
3.11	ค่าสถิติของสภาวะแวดล้อมภายในอาคารและการทำนายความสบายอุณหภูมิ ตาม ASHRAE standard 55	3-29
3.12	ค่าสถิติของดัชนีความสบายอุณหภูมิจากแบบสอบถาม	3-30
3.13	การกระจายของจำนวนการไหลความร้อนตามสเกล ASHRAE ของผู้ถูกสอบถาม	3-30
4.1	สรุปข้อมูลสำหรับแต่ละชุดการทดลอง	4-8
4.2	สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดเบื้องต้น	4-12
4.3	ตารางสรุปข้อมูลและผลการประเมินจากแบบสอบถามความสบายเชิงอุณหภูมิ	4-18
4.4	ผลการวิเคราะห์สมดุลพลังงานของอากาศภายในตู้ทดสอบ	4-19

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

การพัฒนาองค์ความรู้ด้านพลังงานหมุนเวียน พลังงานทางเลือก และพลังงานเพื่อความยั่งยืน เพื่อให้เกิดประโยชน์กับอาคารสมัยใหม่ เป็นเรื่องที่ได้รับ ความสนใจมาอย่างยาวนานหลายทศวรรษ และปัจจุบันมีความตื่นตัวกันอย่างมากในประเทศไทย เพราะเกี่ยวข้องกับการใช้ชีวิตส่วนใหญ่ของคนในสังคมเมือง เพราะอาคารนั้นหมายรวมถึงสถานที่ทำงาน ที่พักอาศัย อาคารพาณิชย์ รวมไปถึงจนถึงอาคารต่างๆ ในภาคอุตสาหกรรม

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 เป็นต้นมา ได้มีกฎกระทรวงของกระทรวงพลังงาน ภายใต้ พรบ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดย พรบ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 ที่กำหนดเกณฑ์มาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคารขึ้นมา ซึ่งมีผลบังคับใช้กับอาคารที่จะขออนุญาตก่อสร้างใหม่หรือดัดแปลงอาคาร โดยตรวจสอบการใช้พลังงานตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบว่าเป็นไปตามกฎหมายแล้วจึงอนุญาตให้ก่อสร้างหรือดัดแปลงได้ จึงส่งผลอย่างมากต่อการพัฒนาด้านการใช้งานอาคารในปัจจุบันของประเทศไทย ซึ่งอาคารขนาดใหญ่จะต้องพยายามปฏิบัติให้ได้ตาม พรบ. ส่วนอาคารสถานศึกษานั้นบางแห่งมีพื้นที่ใช้สอยมากกว่า 2,000 ตารางเมตร จัดว่าเป็นอาคารขนาดใหญ่ที่อยู่ภายใต้กฎกระทรวงเช่นกัน ดังนั้น สถานศึกษาหลายแห่งจึงได้ออกแบบอาคารให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานต่ำ หรือได้กำหนดมาตรการการอนุรักษ์และการจัดการพลังงานกันอย่างต่อเนื่อง

นอกจากนี้ ประเทศไทยเองก็มี **องค์กรสถาบันอาคารเขียวไทย (Thai Green Building Institute: TGBI)** ทำหน้าที่รับรองและสนับสนุนสถาปัตยกรรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยใช้ชื่อว่า เกณฑ์ประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย (Thai's Rating of Energy and Environmental Sustainability: TREES) เพื่อใช้ประเมินอาคารประเภทสาธารณะ (สถาบันอาคารเขียว, 2558) ซึ่งได้รับความสนใจจากผู้พัฒนาสังหาริมทรัพย์และองค์กรต่างๆ ปัจจุบัน TREES-NC ของสถาบันอาคารเขียวไทยได้รับการยอมรับและถูกนำไปใช้ในวงกว้างทั้งในภาครัฐและเอกชน [1]

เมื่อปี 2559 ดร. พิมพิดา จรยารักษ์สกุล P.E. LEED®AP, TREES (A) ผู้อำนวยการฝ่าย Building & Infrastructure บริษัททีเอ็ม คอนซัลติ้ง เอนจิเนียริง แอนด์ แมนเนจเม้นท์ จำกัด ในเครือทีเอ็มกรุ๊ป [2] ได้แสดงทรรศนะถึงการพัฒนาอาคารในประเทศไทย ว่ากระบวนการขอรับรองการประเมินอาคารเขียวไทยตามมาตรฐานจากสถาบันอาคารเขียวไทย โดยใช้เกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย (TREES-NC) มีความคล้ายคลึงกับมาตรฐาน LEED (Leadership in Engineering and Environment Design) และสอดคล้องกันในหลายๆ ประการ เพียงแต่หลักเกณฑ์มาตรฐาน TREES ได้รับการปรับให้เหมาะสมตามสภาพแวดล้อมในประเทศไทย เช่น ทางด้านพลังงาน เกณฑ์ก็มีการเพิ่มทางเลือกให้มีการวัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่อ้างอิงกับเกณฑ์ของกระทรวงพลังงาน อย่างไรก็ตาม สำหรับอาคารสร้างใหม่นั้น การพัฒนาให้เป็น**อาคารเขียว** เริ่มต้นได้ตั้งแต่กระบวนการออกแบบ เพื่อให้การก่อสร้างไม่ยุ่งยาก แต่จะเกี่ยวข้องกับหลายฝ่าย อาทิ ผู้ออกแบบ สถาปนิก และวิศวกร

ในประเทศไทยการใช้พลังงานปฏุมภูมิเพื่อบ้านเรือนและอาคารพาณิชย์เป็นสัดส่วน 40% ของการใช้พลังงานทั้งหมด และอาคารสถานศึกษาใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีต่อพื้นที่คิดเป็น 30 – 170 kWh/m².yr (ค่าเฉลี่ย 37 kWh/m².yr) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ปรับอากาศถึง 27% โดยทั่วไประบบปรับอากาศอาคารในสถานศึกษา (โรงเรียน, มหาวิทยาลัย, วิทยาลัย) จะใช้ไฟฟ้าถึง 63 – 165 kWh/yr ต่อตารางเมตรของพื้นที่ปรับอากาศ และมีค่าเฉลี่ย 76.2 kWh/m².yr. ดังนั้นสัดส่วนของการใช้พลังงานเพื่อปรับอากาศคือ 53%

การใช้พลังงานพื้นฐานในภาคอาคารบ้านเรือนและอาคารพาณิชย์มีสัดส่วนถึงร้อยละ 40 ของการใช้พลังงานทั้งหมดของประเทศ และเมื่อมาพิจารณาการใช้พลังงานในอาคารของสถานศึกษาแล้ว คิดเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ใช้สอยต่อปีถึง 30 – 170 kWh/m².yr และมีค่าเฉลี่ยที่ 37 kWh/m².yr โดยมีพื้นที่ปรับอากาศเป็นสัดส่วนถึงร้อยละ 30

ปัจจุบันในประเทศไทยมีสถาบันการศึกษาระดับอุดมศึกษาและระดับบัณฑิตศึกษามากกว่า 160 แห่ง ซึ่งอาคารที่ก่อสร้างมาก่อนปี 2543 ก็มีสัดส่วนที่มาก หากมีการประหยัดพลังงานก็จะช่วยเกิดมาตรการใช้พลังงานที่เหมาะสมยิ่งขึ้น โดยทั่วไประบบปรับอากาศในอาคารสถานศึกษาระดับอุดมศึกษาวิทยาลัย และ ,มหาวิทยาลัย) ใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ปรับอากาศเป็นปริมาณถึง (สถาบันเทคโนโลยีต่างๆ ฯลฯ 63 – 165 kWh/m².yr และมีค่าเฉลี่ยที่ 76.2 kWh/m².yr โดยสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศ คือ 53% ซึ่งจ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์และพัดลมสำหรับกรณีเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

กรณีสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น (TNI) ที่พื้นที่ปรับอากาศในส่วนของอาคารเรียนคิดเป็นสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 70 หากพิจารณาจากแบบผังพื้นของอาคาร (Floor plan) ที่ก่อสร้างแล้ว คือ อาคาร A, B, C และ D จากจำนวนสถาบันการศึกษาระดับอุดมศึกษาในปรุทศไทยมีมากกว่า 160 แห่ง และ TNI ก็เป็นหนึ่งในนั้น

ทั้งนี้อาคารเรียนในสถาบันการศึกษาส่วนใหญ่มักเป็นอาคารเก่ามีอายุมากกว่า 10 ปี ส่วน TNI ค่อนข้างได้เปรียบในเชิงการใช้พลังงานหากมองในมุมนี้ เพราะอาคารเรียนของ TNI มีอายุเพียง 8-10 ปี และระบบปรับอากาศน่าจะยังอยู่ในสภาพดี แต่เป็นที่แน่นอนว่าไม่ช้าระบบปรับอากาศที่มีอายุการใช้งานมากขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อการปรับอากาศลดลง

ดังนั้น หากเราได้ทราบถึงแนวทางการพัฒนาการใช้พลังงานเพื่อการปรับอากาศ แม้ว่าระบบจะได้รับการบำรุงรักษาอย่างดี อาจมีหรือไม่มีการจัดการและการควบคุมด้วยมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ก็ย่อมจะเป็นส่วนช่วยต่อการพัฒนาสถาบัน TNI อย่างยั่งยืนในเชิงการใช้พลังงาน และยังคงคล้องกับ พรบ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานอีกด้วย และควรจะต้องคำนึงถึงการสร้างสภาวะความน่าสบาย (Thermal comfort) ที่มีผลต่อผู้ใช้งานห้องปรับอากาศด้วย เป็นที่ทราบกันว่าสถาบัน TNI มีมาตรการควบคุมการใช้พลังงานเพื่อการปรับอากาศในห้องเรียนอย่างง่าย คือ การงดการใช้รีโมทคอนโทรลเพื่อปรับระดับอุณหภูมิ จะอนุญาตให้ผู้ใช้งานได้เพียงการเปิดและปิดเครื่องปรับอากาศเท่านั้น ส่วนอาคาร D ซึ่งเป็นอาคารเรียนเรียนใหม่ ก็ควบคุมให้เครื่องปรับอากาศทำงาน 2 ชั่วโมง จากนั้นระบบจะปิดอัตโนมัติ หากต้องการใช้งานต่อผู้ใช้ต้องกดสวิตช์เปิดด้วยตนเอง และรออีก 8 นาทีกว่าเครื่องปรับอากาศจะทำงานอีกครั้ง อาคารเรียนทั้งหมดยังไม่มีระบบควบคุมใดใดนอกจากนี้ ดังนั้น การศึกษาในโครงการนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การตรวจสอบสภาวะความน่าสบายตามมาตรฐาน ASHRAE จากการปรับอากาศเท่านั้น

1.2 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

โครงการวิจัยพลังงานยั่งยืนเพื่อเทคโนโลยีอาคาร (Sustainable Energy for Building Technology: SEBT) มีแนวคิดในการผสมผสานองค์ความรู้ทางด้านพลังงานทดแทน เพื่อการจัดการพลังงานในอาคาร โดยต้องอาศัยองค์ความรู้ทางด้านวิศวกรรมปรับอากาศ วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมพลังงาน และวิศวกรรมไฟฟ้า อิเลคทรอนิกส์และควบคุม ที่สอดคล้องกับห้องปฏิบัติการวิจัยสังกัดคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน TNI 2 ห้องวิจัย ได้แก่

- (1) ห้องวิจัยอิเลคทรอนิกส์อัจฉริยะ (Intelligent Electronic System Research Laboratory: IES)(เว็บไซต์ <http://ies.tni.ac.th/>)
- (2) ศูนย์วิจัยเพื่อเทคโนโลยีพลังงานขั้นสูง (RCAET: Research Center for Advanced Energy Technology)(เว็บไซต์ <http://rcaet.tni.ac.th/>)

งานวิจัยนี้จะนำมาซึ่งแนวทางพัฒนาการใช้พลังงานเพื่อการปรับอากาศในอาคารเรียน โดยเน้นไปที่แนวทางปฏิบัติเพื่อมุ่งไปสู่กรอบแนวคิดอาคารเขียว ที่มีการนำพลังงานทดแทนมาใช้อย่างสัมฤทธิ์ผล แนวทางการวิจัยโดยอาศัยการทดสอบในห้องทดลองเป็นหลัก จะมีการตรวจสอบผลการนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้ มีการพัฒนาระบบมอเนิเตอร์ และระบบทำนายสภาวะความน่าสบาย โดยมีต้นแบบระบบการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการปรับอากาศ ซึ่งอาจขยายผลไปสู่การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในอาคารอื่นของสถาบัน TNI ได้

โครงการนี้จึงมีแนวคิดในการประยุกต์ใช้ตู้คอนเทนเนอร์ที่ได้รับบริจาคมาจากบริษัท Toyota Motor Thailand (TMT) ซึ่งไม่ได้ใช้ มาปรับปรุงให้เป็นหน่วยวิจัย (Research Unit) โดยติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่รับพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ รวมเรียกว่า (Solar Air Conditioner) โดยมีระบบการวัดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ เพื่อติดตามและตรวจสอบสภาพของห้องปรับอากาศ ทำให้ทราบว่าสภาวะความน่าสบายในห้องทดสอบเป็นอย่างไร

ผลดีคือจะสามารถผลิตผลงานวิจัยเชิงประยุกต์เพื่อการตีพิมพ์หรือการนำเสนอในที่ประชุมวิชาการได้ โดยนอกเหนือจากผลสัมฤทธิ์ที่คาดหวังดังกล่าว ทางด้านการวิจัยหน่วยวิจัยนี้ยังสามารใช้เพื่อการเรียนการสอนได้อีกด้วย อาทิ ใช้เพื่อการสาธิตให้นักศึกษาที่เรียนเกี่ยวกับระบบปรับอากาศ ซึ่งจะได้เห็นการทำงานจริงของระบบปรับอากาศเซลล์แสงอาทิตย์อีกด้วย

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ ดังนี้

- 1.3.1 เพื่อประเมินสภาวะน่าสบายของห้องเรียนในอาคารเรียน ณ สถาบัน TNI
- 1.3.2 เพื่อพัฒนาระบบปรับอากาศรังสีอาทิตย์แบบใช้คอมเพรสเซอร์กระแสดังในห้องทดสอบ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

โครงการแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1: ศึกษาสถานภาพการใช้พลังงานในห้องเรียนของอาคาร C โดยการตรวจสอบวัดค่าในห้องเรียนที่ปรับอากาศ รวมถึงใช้แบบสอบถามเพื่อประเมินค่าดัชนีชี้วัดสภาวะความน่าสบายในห้องเรียนบางห้อง

ส่วนที่ 2: เป็นการนำพลังงานหมุนเวียนในรูปพลังงานรังสีอาทิตย์มาใช้ โดยการออกแบบ ติดตั้ง และทดสอบระบบปรับอากาศพลังงานรังสีอาทิตย์ ที่ใช้ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อช่วยการปรับอากาศในห้องทดสอบที่ถูกดัดแปลงมาจากตู้คอนเทนเนอร์ โดยเมื่อประมาณ 2 ปีที่ผ่านมา สถาบัน TNI ได้รับบริจาคตู้คอนเทนเนอร์จำนวน 2 ตู้จากบริษัทโตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด (Toyota Motor Thailand, Co., Ltd.: TMT) ขณะนี้ตู้คอนเทนเนอร์ทั้งสองได้จัดวางอยู่ที่ห้อง K-105 อาคาร K โดยตู้คอนเทนเนอร์ตัวหนึ่งถูกใช้สำหรับการทดสอบ Engine Dynamometer จึงประยุกต์ใช้ตู้คอนเทนเนอร์ตัวที่เหลือเป็น หน่วยวิจัย (Unit cell) สำหรับงานวิจัยนี้

ดังนั้น ขอบเขตงานวิจัยจากทั้งสองส่วน ดังนี้

- 1.4.1. การตรวจวัดสภาวะน่าสบายจากห้องเรียนโดยเน้นที่ห้องเรียนในอาคาร C ของสถาบัน TNI
- 1.4.2. การสาธิตการทำงานระบบแผงเซลล์รังสีอาทิตย์เพื่อการปรับอากาศ ในห้องทดสอบที่ปรับปรุงจากตู้คอนเทนเนอร์ที่มีขนาดภายนอก 4 m x 6 m x 3 m และมีขนาดภายในประมาณ 3 m x 4 m x 2.5 m
- 1.4.3. เครื่องปรับอากาศเป็นแบบรับไฟฟ้ากระแสตรงขนาดกำลังทำความเย็นไม่เกิน 9,000 Btu/hr สำหรับทดสอบการปรับอากาศในหน่วยวิจัยที่ดัดแปลงจากตู้คอนเทนเนอร์ที่ติดตั้งในห้อง K-105 ของอาคาร K

1.5 ระเบียบวิธีวิจัย

- 1.5.1. ศึกษาข้อมูลและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบปรับอากาศ สภาวะน่าสบายในห้องเรียน รวมถึงการนำพลังงานรังสีอาทิตย์มาใช้ในการปรับอากาศ
- 1.5.2. ศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาระบบพลังงานรังสีอาทิตย์แบบกระแสตรงสำหรับการปรับอากาศ
- 1.5.3. ออกแบบระบบปรับอากาศจากพลังงานรังสีอาทิตย์
- 1.5.4. ออกแบบการทดลองเพื่อวัดสภาวะน่าสบายในห้องเรียนในอาคาร C
- 1.5.5. วางแผนการเขียนบทความวิชาการเพื่อนำเสนอในที่ประชุมวิชาการระดับนานาชาติ 2 บทความ และนำเสนอเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ โดยสรุปผลงานได้ดังนี้
 - a. *Artificial Neural Networks Based Prediction for Thermal Comfort in an Academic Classroom* โดย T. Songuppakarn, W. Wongsuwan, and W. San-um.

Master Program in Engineering Technology (MET), Graduate School, and Faculty of Engineering, นำเสนอใน ICUE 2014.

- b. *Development of Distributed Sensors Network for Measurement of Thermal Comfort in Academic Classroom* โดย Wipawadee Wongsuwan* and Wimol San-um** (*Research Center for Advanced Energy Technology and **Intelligent Electronics Systems Research Laboratory), Faculty of Engineering, Thai-Nichi Institute of Technology, Bangkok, Thailand Tel: (+66)-2-763-2600, นำเสนอใน MITICON 2015
- c. *A Cost-Effective Stand-Alone Thermal Comfort Calculation System for Healthy Air Evaluation in Academic Classrooms through PMV and PPD Indications* โดย Wipawadee Wongsuwan* and Wimol San-um ได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ The International Journal of Applied Biomedical Engineering เมื่อ 31 มี.ค. 60
- 1.5.6. ออกแบบระบบเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เพื่อเก็บข้อมูลในห้องเรียน เพื่อให้ได้ข้อมูลอย่างน้อย 500 ตัวอย่าง และใช้ชุดเซนเซอร์สำหรับติดตั้งในพื้นที่ห้องทดลองที่อาคาร K ภายในหน่วยวิจัยในห้อง K-105
- 1.5.7. เขียนโปรแกรมใน MATLAB เพื่อคำนวณสภาวะน่าสบาย (Predicted Mean Vote: PMV) และ (Predicted Percentage Dissatisfied: PPD) โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ANN และ NARX เพื่อการทำนาย PMV ด้วย
- 1.5.8. วิเคราะห์ผลการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาวะน่าสบาย วิเคราะห์ผล และเขียนรายงาน
- 1.5.9. คัดเลือกระบบปรับอากาศที่เหมาะสมกับระบบพลังงานรังสีอาทิตย์
- 1.5.10. ปรับปรุงตู้คอนเทนเนอร์ในห้อง K-105 อาคารโรงปฏิบัติการ K เพื่อใช้เป็นหน่วยวิจัย หรือ ห้องทดสอบระบบปรับอากาศจากรังสีอาทิตย์
- 1.5.11. ออกแบบระบบพลังงานรังสีอาทิตย์เพื่อการปรับอากาศ ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ และระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคาร K
- 1.5.12. ทดสอบระบบเบื้องต้น และแก้ไขจนระบบปรับอากาศจากรังสีอาทิตย์ทำงานได้
- 1.5.13. วางแผนการเก็บข้อมูล ติดตั้งเซนเซอร์เก็บข้อมูลในห้องทดสอบ และเก็บข้อมูลการทดสอบระบบ และวิเคราะห์ผล
- 1.5.14. สรุปผลการวิจัย เพื่อเขียนบทความวิชาการและนำเสนอในที่ประชุมวิชาการระดับนานาชาติ 2 แห่ง และเขียน Manuscript ของบทความวิจัยเพื่อส่งไปตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ (International Journal)
- 1.5.15. สรุปผลการวิจัยและเขียนรายงานการวิจัย
- 1.5.16. ปิดโครงการวิจัย “โครงการพลังงานยั่งยืนเพื่อเทคโนโลยีอาคาร Sustainable Energy for Building Technology (SEBT)”

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 สถาบัน TNI มีผลงานวิจัยเชิงประยุกต์ที่เป็นรูปธรรม ในรูปของระบบสารสนเทศการใช้ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาเพื่อการปรับอากาศในหน่วยวิจัย
- 1.6.2 พัฒนาคณะความรู้ด้านการจัดการพลังงานเพื่อการปรับอากาศในอาคารเรียน
- 1.6.3 ได้ผลงานวิจัยตีพิมพ์ในวารสารวิชาการอย่างน้อย 1 ฉบับ โดยมีเงื่อนไขว่าในขณะที่จะขอปิดโครงการ ผู้วิจัยจะมีการส่ง (Submit) Manuscript ไปยังวารสารวิชาการที่อยู่ในฐาน ISI, SCOPUS หรือ Scimago หรืออื่นๆ ที่ สกอ.ยอมรับแล้ว และ มีผลงานวิจัยที่นำเสนอในที่ประชุมวิชาการระดับนานาชาติอย่างน้อย 1 ฉบับ

1.7 เอกสารอ้างอิง

- [1] ปวเรศ ถาวรประเสริฐ และ ดำรงค์ศักดิ์ รินชุมภู, แนวทางเบื้องต้นในการเลือกรายการออกแบบตามมาตรฐานเกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทยเพื่อพัฒนาอาคารเขียว, การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปี 2559 (RSU National Research Conference 2016), เมษายน 2559.
- [2] พิมพ์พิดา จรรย์ราชย์สกุล, ก้าวทันอนาคต “อาคารเขียว” ไทย.

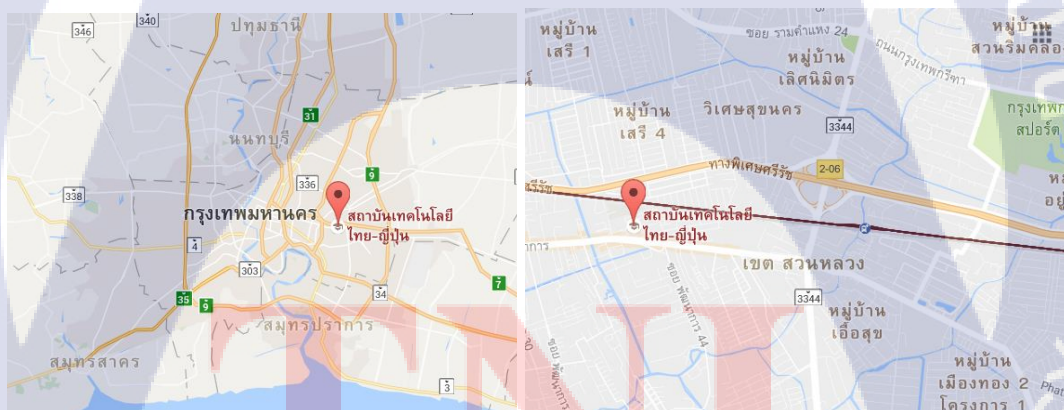
บทที่ 2

งานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

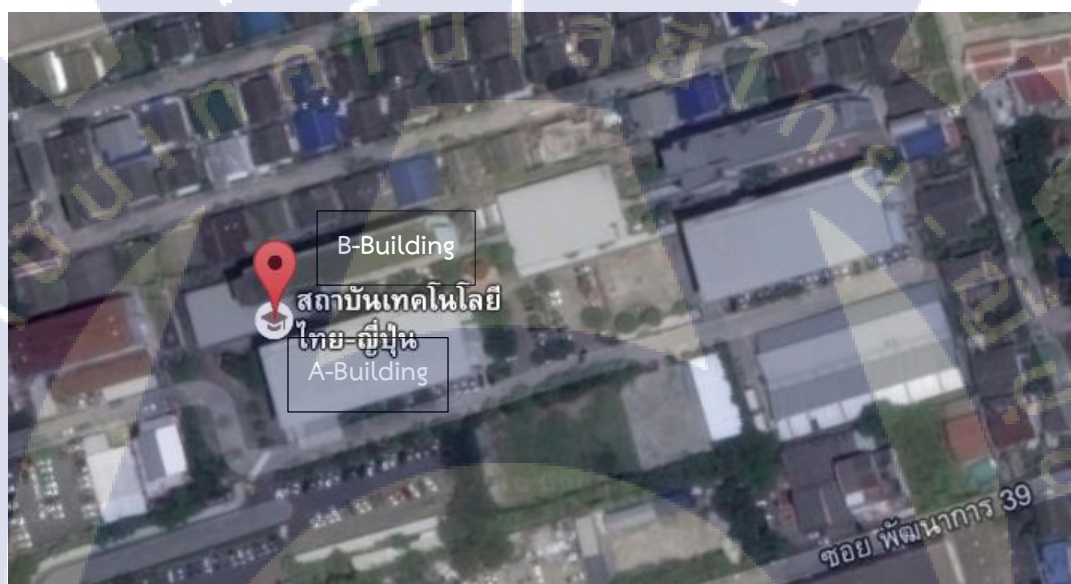
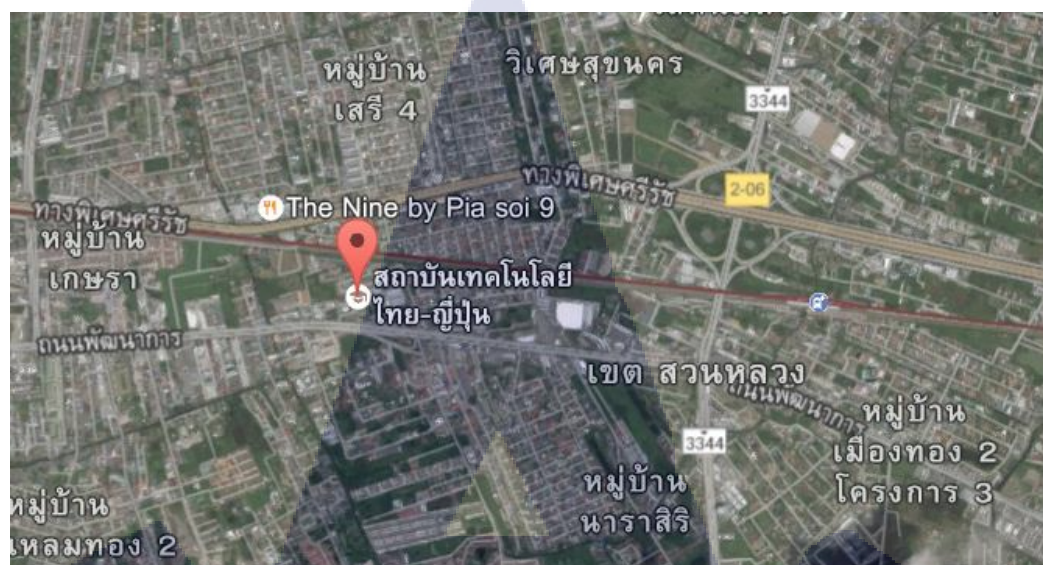
บทที่จะสรุปเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงทฤษฎีที่ใช้ประกอบการวิเคราะห์ระบบปรับอากาศและสภาวะน่าสบาย ซึ่งเป็นเป้าหมายของการปรับอากาศ

2.1 สภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร

งานวิจัยนี้ดำเนินการที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น เลขที่ 1771/1 ซอย พัฒนาการ 37 ถนนพัฒนาการ แขวง สวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250 ซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณตะวันออกเฉียงเหนือของกรุงเทพฯ ดังรูปที่ 2.1 เป็นที่ราบและมีอาคารสูงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ บริเวณถนนพัฒนาการและถนนศรีนครินทร์ และสภาพแวดล้อมมีพื้นที่สีเขียวไม่มากนัก และรายล้อมด้วยอาคารสูง (ม.เกษมบัณฑิต คอนโดมิเนียม บ้านจัดสรร อาคารพาณิชย์) ดังรูปที่ 2.2 ใน Google Earth โดยสถาบันฯ ประกอบด้วยอาคารหลัก 4 อาคารหลัก ได้แก่ A-Building, B-Building, C-Building, D-Building เป็นอาคารสูง 6-7 ชั้น และมีอาคารเตี้ยอีก 3 หลัง คือ อาคารโรงอาหาร โรงปฏิบัติการ J และ K สถาบันฯ มีการปลูกต้นไม้ยืนต้น ไม้พุ่มและไม้ดอก แต่จำนวนต้นไม้ใหญ่ไม่มากนัก และมีพื้นที่คอนกรีตในส่วนของสนามบาสเก็ตบอลและสนามวอลเลย์บอล ส่วนถนนเป็นยางมะตอย ซึ่งพื้นที่คอนกรีตและยางมะตอยมีสัดส่วนค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับพื้นที่สีเขียว ทำให้อากาศในสถาบันฯ ค่อนข้างร้อนโดยเฉพาะช่วงกลางวัน ห้องเรียนทุกห้องจึงเป็นห้องปรับอากาศ

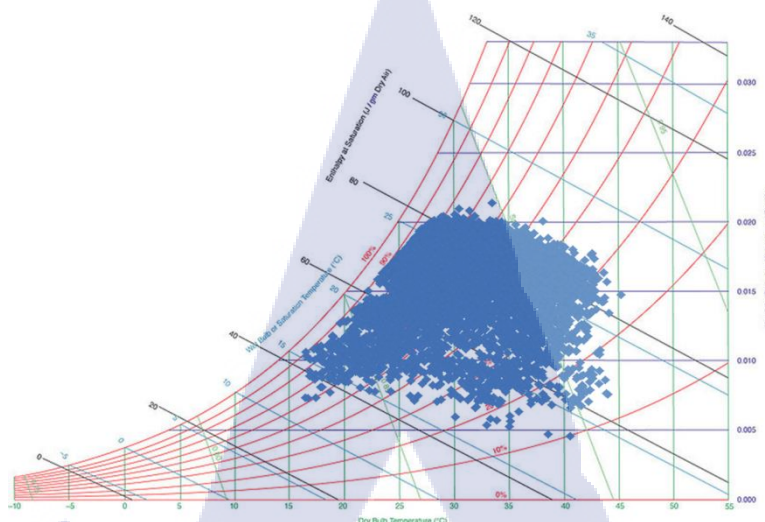


รูปที่ 2.1 ตำแหน่งที่ตั้งของสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น จาก Google Map



รูปที่ 2.2 ภาพแสดงกลุ่มอาคารและพื้นที่สีเขียวใกล้กับสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

กรุงเทพมหานครตั้งอยู่บริเวณแถบศูนย์สูตร บนละติจูด $13^{\circ} 45'$ เหนือ ลองติจูด $100^{\circ} 31'$ ตะวันออก ซึ่งมีภูมิอากาศร้อนและชื้นเกือบตลอดทั้งปี จากการเก็บข้อมูลสภาพอากาศที่บันทึกค่าเฉลี่ยเป็นรายชั่วโมงตลอด 366 วัน (ปี 2000) จากอุตุนิยมวิทยาของกรุงเทพมหานคร สามารถนำอุณหภูมิกระเปาะแห้งและอัตราส่วนความชื้นมาแสดงบนแผนภูมิไซโครเมตริกได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สภาพอากาศของกรุงเทพมหานคร

จากรูปที่ 2.3 จะพบว่าสภาพอากาศของกรุงเทพมหานครมีอุณหภูมิกระเปาะแห้งอยู่ในช่วง 18-40°C และมีอัตราส่วนความชื้นอยู่ระหว่าง 8-20 g_w/kg_{da} (กรัมน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง)

โดยรวม สภาพอากาศของกรุงเทพมหานครไม่มีความแตกต่างกันมากนักในฤดูที่แตกต่างกัน ดังที่เกิดขึ้นในประเทศที่มีละติจูดสูงเช่นกลุ่มประเทศยุโรป แต่ในการศึกษาการปรับอากาศ สภาพภูมิอากาศอาจแบ่งย่อยได้เป็น 4 ลักษณะ ดังนี้

- (1) สภาพอากาศเย็นและแห้ง (Cold and dry)
- (2) สภาพอากาศร้อนและแห้ง (Hot and dry)
- (3) สภาพอากาศร้อนและชื้น (Hot and humid) ซึ่งเป็นกรณีของประเทศไทย
- (4) สภาพอากาศเย็นและชื้น (Late rain)

โดยค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (T_{db}) และค่าอัตราส่วนความชื้น (w) ที่ได้จากการเก็บข้อมูลในแต่ละลักษณะแสดงดังในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 อุณหภูมิและอัตราส่วนความชื้นในแต่ละสภาพอากาศ

สภาพอากาศ	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)				อัตราส่วนความชื้น ($\text{g}_w/\text{kg}_{da}$)			
	Max.	Min.	Avg.	S.D.	Max.	Min.	Avg.	S.D.
เย็นและแห้ง	38.2	16.9	27.5	4.5	19.1	5.4	13.7	2.6
ร้อนและแห้ง	40.7	21.3	29.4	4.1	21.6	7.5	17.3	2.1
ร้อนและชื้น	28.8	23.4	29.1	3.5	20.0	13.8	17.6	1.3
เย็นและชื้น	39.0	22.8	28.7	3.6	20.5	12.3	17.7	1.2

จากตารางที่ 2.1 สรุปได้ดังนี้

- (1) ช่วงสภาพอากาศเย็นและแห้ง (Cold and dry) เป็นฤดูกาลที่สภาพอากาศมีอุณหภูมิและอัตราส่วนความชื้นค่อนข้างต่ำ สภาพอากาศนี้เกิดในช่วงต้นปี (1 ม.ค. – 15 ก.พ.) และปลายปี (1 พ.ย. – 31 ธ.ค.)
- (2) ช่วงสภาพอากาศร้อนและแห้ง (Hot and dry) เป็นลักษณะที่อากาศมีอุณหภูมิและอัตราส่วนความชื้นที่สูงกว่าช่วง cold dry เกิดขึ้นตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ไปจนถึงเดือนพฤษภาคม (16 ก.พ. – 31 พ.ค.) และเป็นคาบเวลาที่เกิดขึ้นยาวนานที่สุด
- (3) ช่วงสภาพอากาศร้อนและชื้น (Hot and humid) อาจนับตั้งแต่กลางปีไปจนถึงกลางเดือนสิงหาคม (1 มิ.ย. – 15 ส.ค.) โดยเมื่อเทียบกับสภาพอากาศร้อนและแห้ง (Hot and dry) พบว่า ทั้งสองฤดูกาลอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน แต่สภาพอากาศจะร้อนและมีอัตราส่วนความชื้นที่สูงกว่า
- (4) ช่วงสภาพอากาศเย็นและชื้น (Late rain) เกิดขึ้นต่อจากช่วงอากาศร้อนและชื้น (16 ส.ค. – 31 ก.ย.) เป็นช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิต่ำใกล้เคียงกับช่วง cold and dry แต่มีอัตราส่วนความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงกว่า

2.2 สภาวะออกแบบภายในสำหรับการปรับอากาศ

การออกแบบสภาวะอากาศภายในอาคารปรับอากาศ ต้องคำนึงถึงความสะดวกสบายเชิงอุณหภูมิและควมมีค่าสภาวะการออกแบบที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับ โดยมาตรฐานการระบายอากาศในอาคารปรับอากาศที่เป็นที่ยอมรับ (ASHARE standard 62-2001) ระบุว่า ภายในพื้นที่ปรับอากาศจะต้องมีความชื้นสัมพัทธ์ในอาคารปรับอากาศไม่ให้เป็น 65 % เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส เชื้อรา หมด ไรฝุ่น และอื่นๆ ที่ส่งผลต่อระบบทางเดินหายใจของผู้อยู่อาศัยภายในอาคาร [1] สำหรับมาตรฐานค่าออกแบบสภาวะภายในของประเทศไทยแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าออกแบบภายในสำหรับอาคารประเภทต่างๆ [2]

ประเภทอาคาร	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)
อาคารสำนักงาน	24	55
อาคารห้างสรรพสินค้า	25	55
อาคารโรงแรม	24	55

ไม่เพียงแต่ความสบายเชิงอุณหภูมิเท่านั้น คุณภาพอากาศภายในอาคารก็เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง โดยเฉพาะอย่างยิ่งอัตราการระบายที่เพียงพอในการรักษาระดับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ให้เกินกว่า 1000 ppm ตามมาตรฐานการระบายอากาศ จากการศึกษาเชิงวิศวกรรมระบุว่า การระบายอากาศด้วยการนำอากาศบริสุทธิ์เข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศในอัตรา 20 ลูกบาศก์ฟุต/นาทีก่อน/คน เพียงพอต่อการให้คุณภาพอากาศภายในอาคารที่ดีภายในพื้นที่ปรับอากาศ

เมื่อพิจารณาค่าออกแบบภายในเพื่อการปรับอากาศสำหรับอาคารประเภทต่างๆ (ตารางที่ 2.2) แล้วจะเห็นว่าอาคารจำเป็นต้องมีการปรับอากาศด้วยการทำความเย็นและลดความชื้นเกือบจะตลอดทั้งปี

2.3 การถ่ายเทความร้อนระหว่างบุคคลกับสิ่งแวดล้อม

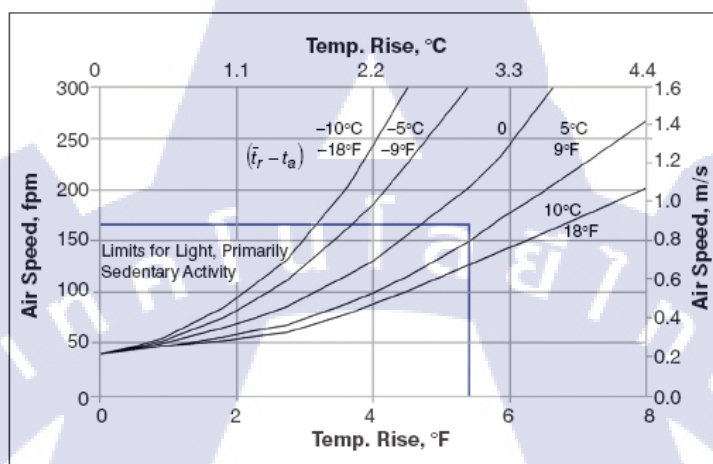
ความสบายเชิงความร้อนเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อสภาพแวดล้อมภายนอกและสภาพในร่างกายมีความสมดุลทางความร้อน

2.3.1 ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม

ปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อมต่อสภาพความสบาย ประกอบด้วย

- (1) **อุณหภูมิของอากาศ** (Air Temperature, T_a) เป็นตัวแปรที่มีผลต่อการแผ่รังสี การพาและการนำความร้อนออกจากร่างกาย เมื่ออุณหภูมิของอากาศแวดล้อมต่ำกว่าร่างกาย จะช่วยให้การแผ่รังสี การพาและการนำความร้อนออกจากร่างกายเป็นไปได้อย่างดี
- (2) **ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ** (Relative Humidity, RH) มีผลต่อการระเหยความชื้นจากการหายใจ และจากผิวของร่างกาย โดยถ้าอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ จะทำให้ความชื้นสามารถระเหยออกจากร่างกายได้อย่างรวดเร็วขึ้น แต่ถ้าอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงมากเกินไป จะทำให้การระเหยเป็นไปได้อย่างยากทำให้เกิดความรู้สึกอึดอัดหรือเหนียวเหนอะที่ผิว
- (3) **ความเร็วลม** (Air velocity, v) ความเร็วลมที่เกิดจากการเปิดพัดลม หรือจากการพัดโดยธรรมชาติ ช่วยให้เกิดการพัดพาความร้อนออกจากร่างกาย โดยการพาความร้อน และการระเหยความชื้นออกจากผิวหนัง ถ้าลมยิ่งพัดแรงยิ่งสามารถพาความร้อนออกจากผิวหนังได้มากขึ้น แต่หากลมมีความเร็วมากเกินไปหรือกรณีที่ลมได้พัดพาอากาศเย็นหรือร้อนเกินไปติดมาด้วยก็จะทำให้เกิดความไม่สบายเกิดขึ้นซึ่งการพัดพาของลมลักษณะนี้ เรียกว่า ดราฟต์ (Draft) ซึ่งสังเกตได้ว่าตำแหน่งของร่างกายที่มีโอกาสเกิดสภาวะนี้ได้มากที่สุด คือ

ศรีษะและเท้า เนื่องจากไม่มีการปกคลุมจากเสื้อผ้าเหมือนส่วนอื่นๆ ของร่างกาย ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้เกิดความต้องการความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน เพื่อให้เกิดสภาวะความสบาย หรือความเร็วลมสามารถช่วยให้ผู้อยู่อาศัยทนอยู่ในสภาพที่อุณหภูมิสูงกว่าปกติได้ หรือช่วงของการยอมรับทางอุณหภูมิกว้างขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งรูปนี้จะใช้สำหรับระดับกิจกรรมนั่งโดยอัตราเมตาบอลิกอยู่ระหว่าง 58.2 ถึง 75.7 W/m² และเสื้อผ้าเป็นแบบบางที่ใสในฤดูร้อน โดยค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 0.7 clo



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับอุณหภูมิ

(4) อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (Mean Radiant Temperature, T_{mrt}) ถ้าผิววัตถุที่อยู่รอบตัวเรา เช่น ผนังบ้าน หรือฝ้าเพดาน มีอุณหภูมิต่ำ ผิววัตถุนั้นจะสามารถรับรังสีความร้อนที่แผ่ออกจากร่างกายได้เป็นอย่างดีในทางกลับกัน ถ้าผิววัตถุที่อยู่รอบตัวเรามีอุณหภูมิสูง ผิววัตถุนั้นจะสามารถแผ่รังสีความร้อนสู่ร่างกายได้มาก ส่วนกรณีที่มีการทำความเย็นอยู่ใต้พื้นต้องควบคุมอุณหภูมิบนพื้นให้อยู่ระหว่าง 19°C ถึง 29°C แต่ต้องสวมรองเท้าและไม่ได้นั่งกับพื้น โดยเฉพาะในช่วงฤดูหนาว อากาศที่ร้อนกว่าจะลอยตัวสู่ที่สูงได้ยากกว่าในฤดูร้อน ทำให้ความเย็นที่แผ่ขึ้นมาจากพื้นไม่สามารถลอยตัวได้ดี บริเวณผิวของพื้นจึงเย็นจัดทำให้เกิดสภาวะความไม่สบายได้

โดยปกติแล้วจะใช้ โกลบเทอร์โมมิเตอร์ ในการวัดอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนจากสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะได้ค่าอุณหภูมิที่ค่อนข้างถูกต้อง Fanger ได้ตั้งสมมุติฐานให้พื้นผิวมีความสามารถในการแผ่รังสีสูง หรือให้เปรียบเสมือนผิววัตถุดำ ดังนั้นจะได้สมการอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยดังสมการที่ 2.1

$$(T_{mrt} + 273.15)^4 = (t_1 + 273.15)^4 F_{p-1} + \dots + (t_n + 273.15)^4 F_{p-n} \quad (2.1)$$

เมื่อ T_{mrt} = อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย, °C

t_n = อุณหภูมิผิววัตถุ, °C โดย $n = 1, 2, 3, \dots, n$

F_{p-n} = ค่าตัวประกอบมุมมองเห็น ระหว่างคน (p) และผิววัตถุ (n)

และสำหรับสภาวะที่อุณหภูมิผิวแต่ละด้านมีความแตกต่างกันน้อยสามารถคำนวณโดยใช้สมการที่ 5.4

$$T_{mrt} = t_1 F_{p-1} + t_2 F_{p-2} + \dots + t_n F_{p-n} \quad (2.2)$$

หรือในกรณีที่อุณหภูมิผิววัตถุทุกด้านมีค่าประมาณเท่ากันเช่นในเวลากลางคืน

$$T_{mrt} = \sqrt[4]{\sum_n F_{p-n} (t_n + 273.15)^4} - 273.15 \quad (2.3)$$

2.3.2 ปัจจัยจากตัวบุคคล

ปัจจัยจากตัวบุคคลที่มีผลต่อความรู้สึกประกอบด้วย

(1) อัตราเมตาบอลิก (Metabolic Rate, M) จะมากหรือน้อยขึ้นกับขนาดของร่างกาย สภาพอากาศขณะนั้น และระดับกิจกรรมขณะนั้น อัตราเมตาบอลิก มีอีกหน่วยเป็น met ซึ่ง 1 met เท่ากับ 58.2 W/m²

(2) ค่าความต้านทานของเสื้อผ้า (Clothing Insulation, I_{cl}) ขึ้นกับชนิดของเสื้อผ้า มีผลต่ออัตราการพา การนำ การแผ่รังสีความร้อน ออกจากร่างกายรวมถึงอัตราการระเหยของความชื้นจากร่างกาย เนื่องจากเสื้อผ้าแต่ละชิ้นส่วน ผลิตจากวัสดุที่แตกต่างกัน รวมทั้งความหนาและพื้นที่ที่ปกคลุมร่างกายไม่เท่ากัน จึงจำเป็นต้องมีค่าอ้างอิงสำหรับความต้านทานต่อความร้อน โดยค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้ามี หน่วยเป็น clo ซึ่ง 1 clo เท่ากับ 0.155 m²K/W และสำหรับการคำนวณหาความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า (I_{cl}) พิจารณาได้จากสมการที่ 2.3

$$I_{cl} = 0.676 \sum i_{cl} + 0.117 \quad (2.3)$$

เมื่อ $\sum i_{cl}$ = ผลรวมค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า, clo

2.3.3 ดัชนีความสบายเชิงอุณหภูมิภาพ

ค่าดัชนีความสบายเชิงอุณหภูมิภาพของมนุษย์สามารถแบ่งได้เป็น

2.3.3.1 ค่าการโหวตความรู้สึก

ก) ค่าทำนายการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิภาพเฉลี่ย (Predicted Mean Vote; PMV)

การทำนายค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิภาพเฉลี่ย สามารถใช้ในการทำนายความรู้สึกเชิงอุณหภูมิภาพกับกลุ่มคนจำนวนมากได้ และสมการการทำนายค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิภาพเฉลี่ยนี้ จะเกี่ยวข้องถึงสมการสมดุลความ

ร้อนของร่างกายมนุษย์ และสภาพของความสบายเชิงอุณหภูมิภาพ ซึ่งค่าที่ได้จากสมการจะมีค่าตั้งแต่ -3 ถึง +3 แสดงดังสมการที่ 2.4

$$\begin{aligned}
 PMV = & (0.303 \cdot \exp(-0.036 \cdot M) + 0.028) \\
 & [(M - W) - 3.05 \cdot 10^{-3} [5733 - 6.99(M - W) - P_a] \\
 & - 0.42[(M - W) - 58.2] - 1.73 \cdot 10^{-5} M (5867 - P_a) \\
 & - 0.0014M(34 - T_a) - 3.96 \cdot 10^{-8} f_{cl} [(T_{cl} + 273.15)^4 - (T_{mrt} + 273.15)^4] \\
 & - f_{cl} h_c (T_{cl} - T_a)]
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

เมื่อ	M	= อัตราเมตาบอลิก, W/m ²
	W	= งานที่กระทำภายนอก, W/m ²
	P _a	= ความดันไอน้ำในบรรยากาศ, Pa
	T _a	= อุณหภูมิอากาศ, °C
	f _{cl}	= อัตราส่วนของพื้นที่ของเสื้อผ้า ต่อพื้นที่ผิวของร่างกาย
	T _{cl}	= อุณหภูมิผิวของเสื้อผ้า, °C
	T _{mrt}	= อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย, °C
	h _c	= สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, W/m ² K

ค่าของอัตราส่วนของพื้นที่ของเสื้อผ้าต่อพื้นที่ผิวของร่างกาย แสดงได้ดังสมการที่ 2.5 และ 2.6

$$f_{cl} = 1.0 + 0.2I_{cl} \text{ สำหรับ } I_{cl} < 0.5 \text{ clo} \tag{2.5}$$

$$f_{cl} = 1.05 + 0.1I_{cl} \text{ สำหรับ } I_{cl} > 0.5 \text{ clo} \tag{2.6}$$

จากสมการ 2.4 เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์ทางทฤษฎี เกี่ยวกับสมดุลความร้อนของร่างกายกับสิ่งแวดล้อมที่ทำการวัดภายในห้องทดลอง โดยสร้างแบบจำลองจากสภาวะแวดล้อมจริง และอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยมีผลต่อค่าการไหลอย่างมาก

การเปลี่ยนแปลงของการแผ่รังสีความร้อนของสิ่งแวดล้อม มีผลต่อความสบายเชิงอุณหภูมิภาพในอาคารเป็นอย่างมาก เป็นที่มาของกฎเกณฑ์ที่ว่า ถ้าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย สูงกว่าอุณหภูมิอากาศ ดังนั้น การทำนายค่าการไหลความรู้สึกเชิงอุณหภูมิภาพเฉลี่ย ก็จะมีค่ามากกว่าระดับสบาย แต่ถ้าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ ดังนั้น การทำนายค่าการไหลความรู้สึกเชิงอุณหภูมิภาพเฉลี่ย ก็จะมีค่าต่ำกว่าระดับสบาย และอุณหภูมิผิวของเสื้อผ้าหาได้จากสมการที่ 2.7

$$T_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) - 0.155I_{cl} \left\{ (3.96 \cdot 10^{-8} f_{cl} [(T_{cl} + 273.15)^4 - (T_{mrt} + 273.15)^4] + f_{cl} h_c (T_{cl} - T_a) \right\} \quad (2.7)$$

เมื่อ I_{cl} = ค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า, clo

จากกฎของก๊าซอุณหภูมิจึงแปรผันตามความดัน กล่าวคือเมื่อความดันในอากาศเพิ่มขึ้น อุณหภูมิของอากาศก็จะสูงตามไปด้วย จึงสรุปได้ว่า อุณหภูมิของอากาศแปรผันตามความดันไอน้ำในอากาศ และอากาศชั้นย่อมจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศแห้ง สมการการหาความดันไอน้ำในอากาศได้จากสมการที่ 2.8

$$P_a = RH \exp \left[18.956 - \frac{4030.18}{T_a + 235} \right] \quad (2.8)$$

เมื่อ RH = ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, %

ข) ค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ (Thermal Sensation Vote; TSV)

ในหลายครั้งการทำนายค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณ ไม่ตรงกับความเป็นจริง จึงจำเป็นที่จะต้องมีการประมาณค่าการโหวตจากความรู้สึกของบุคคลนั้นๆ เรียกว่า ค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ (TSV) [3] โดยใช้การวัดระดับความรู้สึกของ ASHRAE ที่แบ่งออกเป็น 7 ระดับ มีค่าตั้งแต่ -3 ถึง +3 เช่นเดียวกับการทำนายค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิเฉลี่ย และค่าที่ได้จากการโหวตจาก 7 ระดับของแต่ละบุคคล สามารถนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากสมการ 2.4 แล้วทำการประเมินผลต่อไป

• -3	• เย็นมาก
• -2	• เย็น
• -1	• ค่อนข้างเย็น
• 0	• ระดับสบาย
• 1	• ค่อนข้างร้อน
• 2	• ร้อน
• 3	• ร้อนมาก

2.3.3.2 ร้อยละความไม่พอใจ

ก) การทำนายร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภูมิ (Predicted Percentage Dissatisfied; PPD)

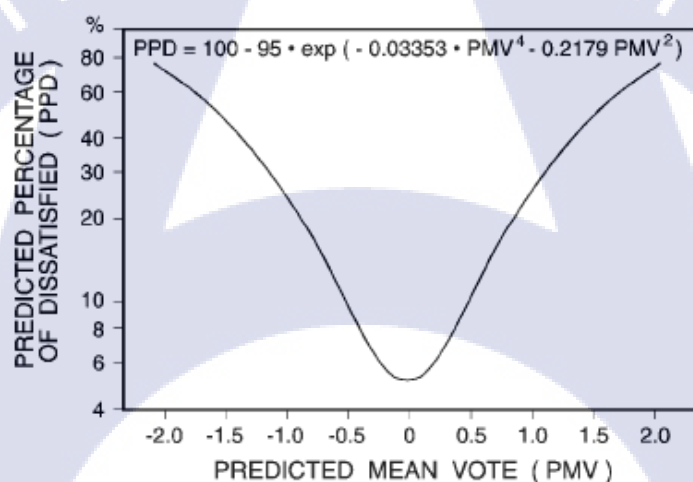
การทำนายค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ (PMV) และค่าทำนายร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภูมิ (Predicted Percentage Dissatisfied: PPD)[4] มีความสัมพันธ์กันอย่างมาก เนื่องจากการทำนายค่าการโหวต

ความรู้สึกเชิงอุณหภูมิเฉลี่ย จะเป็นค่าที่เฉลี่ยจากความรู้สึกทางอุณหภูมิที่โหวตออกมาตามระดับความรู้สึกของ ASHRAE

ค่าทำนายร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภูมิ (PPD) จะช่วยให้ทราบว่าการทำนายค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิเฉลี่ย (PMV) ที่คำนวณนั้นจะมีคนจำนวนร้อยละเท่าไรที่มีความรู้สึกไม่พอใจเชิงอุณหภูมิรวมอยู่ด้วย ด้วยเหตุผลที่ว่า การรับรู้ความรู้สึกของแต่ละคนนั้นจะไม่เท่ากัน ถึงแม้ว่าจะอาศัยอยู่ในสภาพอุณหภูมิแวดล้อมเดียวกันก็ตาม ดังนั้นการทำนายค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิ ที่โหวตมานั้น ยังมีบางคนที่ยังรู้สึกไม่สบายทางอุณหภูมิอยู่บางส่วน

รูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นว่าแม้กระทั่งการโหวตเป็นศูนย์หรือระดับสบาย ก็จะมีคนอีก 5 % ที่ยังคงรู้สึกเย็นหรือร้อนเล็กน้อยอยู่ และค่าทำนายร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภูมิหาได้จากสมการที่ 2.9

$$PPD = 100 - 95 \exp[-0.03353 PMV^4 - 0.2179 PMV^2] \quad (2.9)$$



รูปที่ 2.5 การทำนายร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภูมิ

จากการแบ่งระดับความพอใจต่อความสบายเชิงอุณหภูมิของ ASHRAE เป็น 3 ระดับ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ระดับการยอมรับทางอุณหภูมิ

ระดับความสบาย	ค่าความไม่พอใจ (%)	ค่าการโหวต
A	มากกว่า 6	มากกว่า -0.2 แต่น้อยกว่า +0.2
B	มากกว่า 10	มากกว่า -0.5 แต่น้อยกว่า +0.5
C	มากกว่า 15	มากกว่า -0.7 แต่น้อยกว่า +0.7

ตารางนี้สามารถใช้ ในการกำหนดช่วงอุณหภูมิที่ผู้อยู่อาศัยรู้สึกสบายได้ โดยการคำนวณหาช่วงอุณหภูมิจากค่าการโหวต

ข) ร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภูมิ (Percentage Dissatisfied; PD)

เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณเช่นเดียวกับการทำนายร้อยละความไม่พอใจเชิงอุณหภูมิ แต่เป็นการคำนวณจากค่าการโหวตความรู้สึกเชิงอุณหภูมิที่ได้จากการโหวตจริงจากผู้อยู่อาศัย

2.3.3.3 มาตรฐานสากล

จากการศึกษาพบว่ามาตรฐานของ ISO 7730 [5] ที่ใช้เป็นมาตรฐานในการแสดงสภาวะความสบายเชิงอุณหภูมิ นั้น ไม่สามารถอธิบายสภาวะความสบายในเขตร้อนชื้นได้ดีเท่าที่ควร เพราะผลของการทดลองในห้องทดลองให้ผลที่ขัดแย้งกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในสถานที่จริง

มาตรฐานสากลที่ใช้อธิบายความสบายของสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร ได้ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์ทางทฤษฎี เกี่ยวกับสมดุลความร้อนของร่างกายกับสิ่งแวดล้อมที่ทำการวัดภายในห้องทดลอง โดยสร้างแบบจำลองจากสภาวะแวดล้อมจริง โดย ISO 7730 หรือมาตรฐาน ASHRAE 55 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ในเขตภูมิอากาศแบบกลางๆ คือไม่ร้อนหรือหนาวเกินไป ซึ่งใช้สมการของ Fanger ในการทำนายค่าการโหวตเฉลี่ย (PMV) กับกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งจากการทดลองนำไปใช้เป็นมาตรฐานในการปรับสภาวะความสบายเชิงความร้อนในสถานที่ต่างๆ ได้

ผลจากการสำรวจกับคนที่อยู่อาศัยในเขตร้อน พบว่าสภาวะที่รู้สึกสบายให้ผลแตกต่างกันกับค่าการทำนายของ ISO 7730 ที่ได้จากการทดลองในห้องทดลอง โดยเฉพาะที่เป็นอาคารที่ไม่มีการปรับอากาศ และมีอุณหภูมิสูงกว่า 30 °C หรือที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10°C ก็ยังมีผู้อยู่อาศัยที่ยังมีความรู้สึกสบายอยู่ ดังนั้นการนำมาตรฐาน ISO 7730 มาใช้นั้น ต้องคำนึงถึงขอบเขตของค่าต่างๆ ด้วยดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ข้อจำกัดการใช้ค่าทำนายค่าการไหลความร้อนรู้สึกเชิงอุณหภูมิภาพ

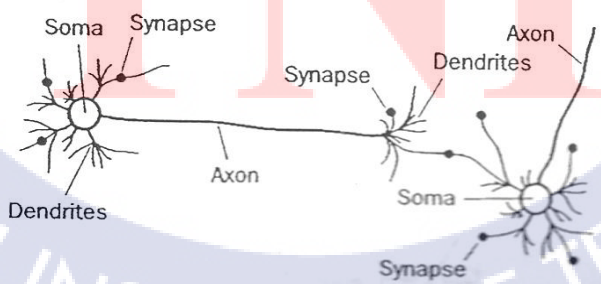
ตัวแปร	หน่วย	ขั้นต่ำ	ขั้นสูง
อัตราเมตาบอลิก (M)	W/m ² (met)	46 (0.8)	232 (4)
ค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า (I_{cl})	m ² K/W (clo)	0 (0)	0.31 (2)
อุณหภูมิของอากาศ (T_a)	°C	10	30
อุณหภูมิการแผ่ความร้อน (T_{mrt})	°C	10	40
ความเร็วลม (v)	m/s	0	1.0
การประมาณค่าการไหลต่อเฉลี่ย (PMV)		-2	+2

2.4 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks; ANN)

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) หรือ ANN คือ ระบบคอมพิวเตอร์ที่มีการจำลองการทำงานของสมองมนุษย์ เพื่อจดจำและคิดได้ในแบบเดียวกับโครงข่ายประสาทของมนุษย์ เป็นโมเดลคณิตศาสตร์สำหรับประมวลผลสารสนเทศ มีความสามารถในการเรียนรู้และจดจำรูปแบบ (Pattern Recognition) และการสร้างความรู้ใหม่ (Knowledge Extraction) เช่นเดียวกับความสามารถของสมองมนุษย์ [6]

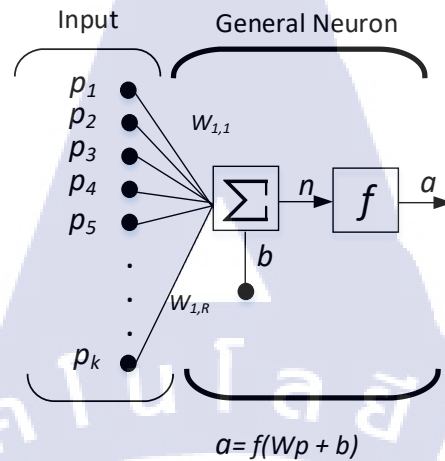
แนวความคิดเริ่มต้นของเทคนิค ANN [7] ได้มาจากข่ายงานไฟฟ้าชีวภาพ (Bioelectric network) ในสมอง ซึ่งประกอบด้วย เซลล์ประสาท หรือ นิวรอน (Neurons) และจุดประสานประสาท (Synapses) แต่ละเซลล์ประสาทประกอบด้วย ปลายในการรับกระแสประสาท เรียกว่า เดนไดรต์ (Dendrite) ซึ่งเป็น Input และปลายในการส่งกระแสเรียกว่า แอกซอน (Axon) ซึ่งเป็นเหมือน Output ของเซลล์ ดังรูปที่ 2.6

เซลล์เหล่านี้ทำงานด้วยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี เมื่อมีการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าภายนอกหรือกระตุ้นด้วยเซลล์ด้วยกัน กระแสประสาทจะวิ่งผ่านเดนไดรต์เข้าสู่นิวเคลียส ซึ่งจะเป็นตัวตัดสินใจว่าต้องกระตุ้นเซลล์อื่นๆ ต่อไปผ่านทางแอกซอนของมัน ตามโมเดลนี้ข่ายงานประสาทเกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาทจนเป็นเครือข่ายที่ทำงานร่วมกัน



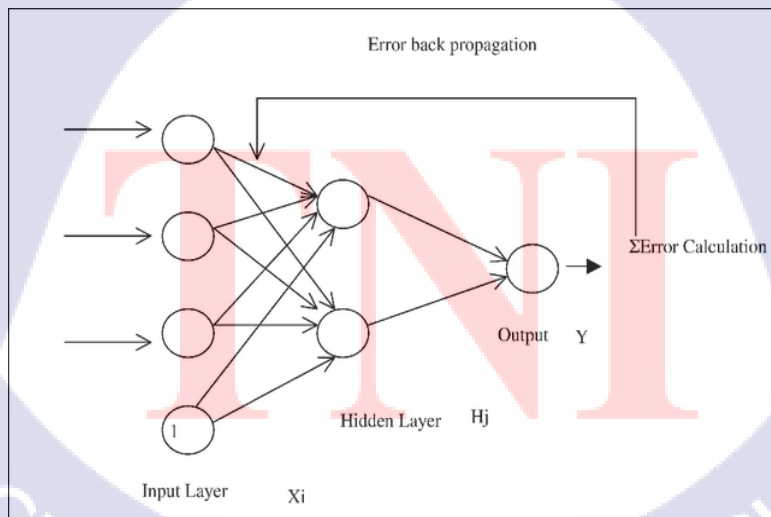
รูปที่ 2.6 เซลล์ประสาท (Neural) ในสมองมนุษย์

แนวคิดของโครงข่ายประสาทเทียมจะมีการรวบรวมข้อมูลผ่านกระบวนการเรียนรู้คล้ายสมองมนุษย์ โดยโครงสร้างพื้นฐานของ ANN แสดงดังรูปที่ 2.7 ที่ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ชั้นของข้อมูลป้อนและนิวรอนทั่วไปในส่วนที่ซ่อนอยู่ และชั้นของผลลัพธ์ โดยผลลัพธ์ a เป็นฟังก์ชันของค่าถ่วงน้ำหนัก W ข้อมูลป้อน p และค่าที่นำมาบวกหรือไบแอส b .



รูปที่ 2.7 โครงสร้างพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม [6]

ยกตัวอย่าง อัลกอริทึมการประมวลผล อาทิ Back propagation ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการฝึก (Train) โครงข่ายประสาทเทียมก่อนที่จะนำไปใช้งาน โดยหลักการของ Back propagation จะเป็นการย้อนกลับวนรอบการทำงานเพื่อปรับค่า Weight ในเส้นเชื่อมต่อระหว่าง Neural ให้เหมาะสม โดยค่านี้จะขึ้นอยู่กับค่า Error ที่ได้จากความแตกต่างของค่า Output ที่คำนวณได้กับค่า Output ที่ต้องการ (Desired Output) วิศวคอยตรวจสอบโครงข่ายประสาทเทียมให้คำตอบที่ถูกต้องหรือไม่ ถ้ายังไม่ถูกต้องโครงข่ายก็จะปรับตัวเองเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น

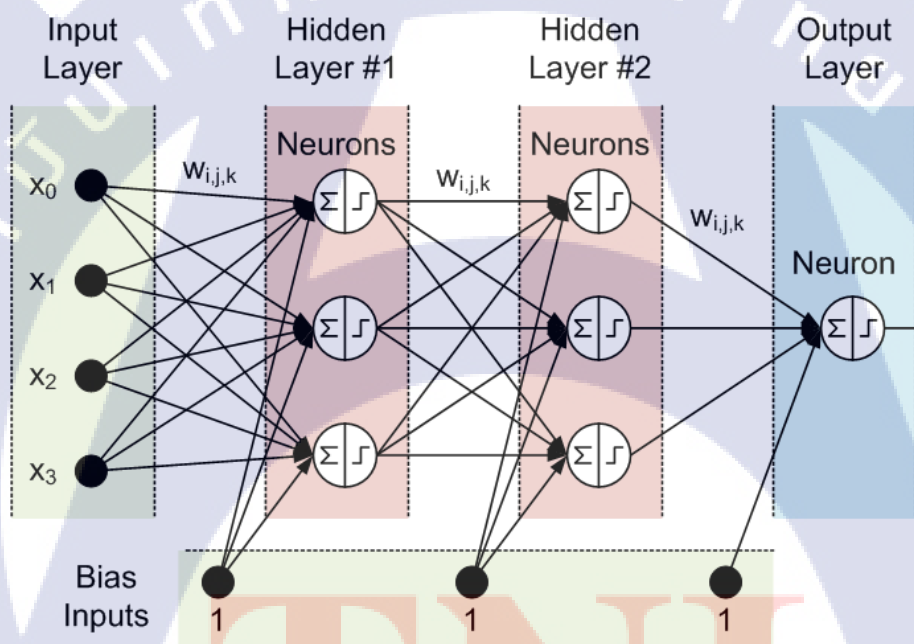


Notes: The weight connecting node i in the input layer to node j in the hidden layer is denoted by W_{ji} , and the weight connecting node j to the output node is represented by V_j

รูปที่ 2.8 โครงข่ายประสาทเทียม Back propagation

จากการเปรียบเทียบ ANN กับคู่แข่งอื่นๆ ที่เป็นระบบอัจฉริยะอื่นที่มีการต่อเชื่อมกันจากหลายระบบย่อย อาทิ ฟัชซีลอจิก นิวโรฟัชซีลอจิก [8] ซึ่งเป็นระบบแบบฉลาดที่สามารถคำนวณสภาพในอาคารได้โดยการจัดการกับสภาพอากาศภายในอาคารที่พิจารณาความต้องการของผู้อาศัยด้วย และพบว่ามีการใช้ฟัชซี, ซินเนอจีस्टิก, เทคนิค นิวโรและฟัชซี (Neuro – fuzzy techniques), ชุดควบคุมแอดาพทีฟฟัชซีพีดีและฟัชซีพีไอดี (Adaptive fuzzy PD and fuzzy PID and ANN controllers) เพื่อแสดงค่าสถานะความสบายทางอุณหภูมิด้วย

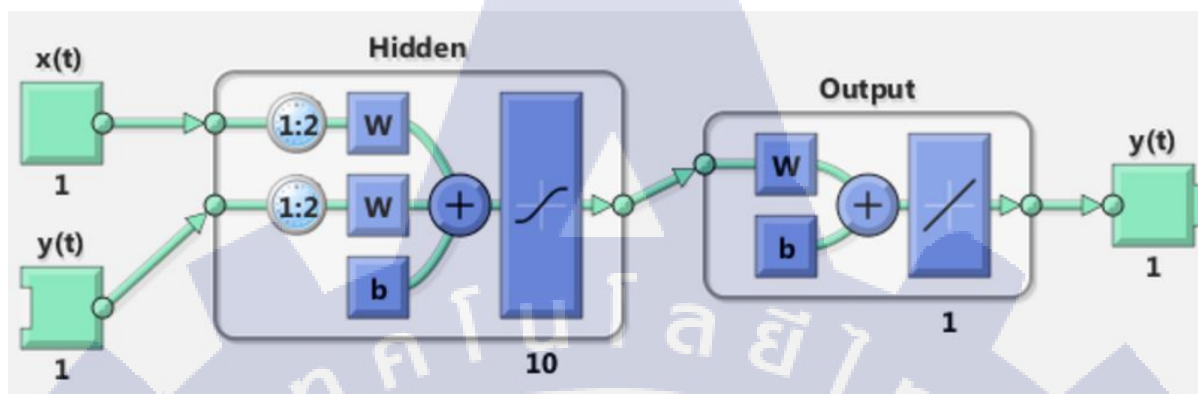
ANN พบว่ามีประโยชน์ในการช่วยการควบคุมระบบทำความร้อนในอาคาร เพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในของอาคารที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ [9] T. Sookchaiya และคณะ [10] ได้ศึกษาการใช้พลังงานในอาคารโดยเฉลี่ยของระบบปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป และพบว่าระบบทำให้คนไทยมีสภาพความสบายทางอุณหภูมิและสุขภาพดี ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้มีการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ ANN มาใช้กับการทำนายค่า PMV ของห้องปรับอากาศ การประมวลผลข้อมูลใช้ Feed-Forward Neural Network (FFNN) ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งข้อมูลจะถูกส่งถ่ายไปข้างหน้าทางเดียวจากข้อมูลป้อนไปยังผลลัพธ์ ที่แสดงตัวอย่างของกรณีที่มีชั้นของข้อมูลป้อน (Input layer) 1 ชั้น ชั้นที่ซ่อนอยู่ (Hidden layer) 2 ชั้น และชั้นผลลัพธ์ (Output layer) 1 ชั้น



รูปที่ 2.9 โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Feed Forward [11]

โมเดลที่จะเลือกใช้ในโครงสร้างแบบ Neural Network ใช้การเรียนรู้ด้วยเทคนิคแบบย้อนกลับ (Back-propagation learning technique) และเป็นโมเดลอัตถถอยแบบไม่เชิงเส้น (nonlinear autoregressive model) ที่เป็นโมเดลแบบตัวแปรอิสระจากภายใน exogenous inputs (NARX) model ซึ่ง NARX ย่อมาจาก Nonlinear autoregressive with external input networks ซึ่งสามารถเรียนรู้การทำนายจากชุดข้อมูลตามเวลา (time series) ในอดีตเพื่อทำนายชุดข้อมูลในอนาคต โดยใช้ข้อมูลป้อนกลับร่วมด้วย

ตัวอย่างโมเดล NARX ในรูปที่ 2.10 เป็นโครงข่ายแบบเกิดขึ้นซ้อนๆ กัน ซึ่งใช้กับโมเดลแบบไม่เชิงเส้นที่ขึ้นกับเวลาและเป็นพลวัต [12] สภาวะความสบายทางอุณหภูมิของผู้อาศัยในพื้นที่ปรับอากาศก็เป็นโจทย์ปัญหาที่พลวัตเช่นกัน ดังนั้นจึงควรทราบค่าทำนายการไหลของความรู้สึกเชิงอุณหภูมิเฉลี่ยของคนในห้องซึ่งจะเปลี่ยนไปตามปัจจัยจากสภาพอากาศในห้อง กิจกรรมหรือสภาพของร่างกายของคนในห้อง



รูปที่ 2.10 NARX (Nonlinear autoregressive with external input networks)[13]

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงเลือกใช้โมเดล Neural Network แบบ NARX เพื่อจำลองพฤติกรรม การเปลี่ยนแปลงค่า PMV ภายในห้องปรับอากาศ สำหรับห้องเรียน โดยค่าคำนวณ PMV มาจากค่าป้อนของ TSV (หรือ PMV จากการทดลอง) ที่ได้จากการประเมินข้อมูลจากแบบสอบถามสภาพความสบายทางอุณหภูมิ อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์ของค่า PMV ไม่ได้ขึ้นกับค่าป้อนของ PMV เท่านั้น ยังขึ้นกับค่าป้อน ผลลัพธ์ หรือสถานะของโครงข่ายในขณะนั้นด้วย

2.5 เอกสารอ้างอิง

- [1] ASHRAE, 2001, **ASHRAE Standard 62-2001: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality**, American Society of Heating, Refrigeration and Air Condition Engineers, Atlanta.
- [2] The Engineering Institute of Thailand Under H.M. The King's Patronage, 2013, **Ventilation Standard for Ventilation and Air Conditioning Systems**.
- [3] Jin-Ho Kim, Yoon-Ki Min, and Boseong Kim, Is the PMV Index an Indicator of Human Thermal Comfort Sensation ?, International Journal of Smart Home, Vol. 7, No. 1, January, 2013.

- [4] INNOVA, Air Tech Instrument, Thermal Comfort. [Online]. Available: http://www.labee.ufsc.br/antigo/arquivos/publicacoes/Thermal_Booklet.pdf [Download, Mar 2016]
- [5] M. Humphreys, F. Nicol, S. Roaf, O., E-book, Standards for Thermal Comfort: Indoor Air Temperature Standards for the 21st Century, Taylor & Francis Group.
- [6] Artificial Neural Network. [Online]. Available: <http://www.gotoknow.org/posts/472128>
- [7] Artificial Neural Network. <http://alaska.reru.ac.th/text/ann.pdf>.
- [8] A.I. Dounis*, C. Caraiscos. (2009). Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment – A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, 1246 – 1261.
- [9] A.A. Argiriou*, I. Bellas – Velidis, C.A. Balarasa. (2000). Development of a neural network heating controller for solar buildings. Neural Networks, 13, 811 – 820.
- [10] Thammanoon Sookchaiya, Veerapol Monyakul, Sirichai Thepa*. (2010). Assessment of the thermal environment effects on human comfort and health for the development of novel air conditioning system in tropical regions. Energy and Buildings, 42, 1692 – 1702.
- [11] MQL5. Next price predictor using Neural Network - indicadores para MetaTrader 4. [Online]. Available: <https://www.mql5.com/pt/code/9002>
- [12] S. Fischer, P. Frey, and H. Druck. (2012). A comparison between state-of-the-art and neural network modeling of solar collectors. Solar Energy, 86, 3268-3277.
- [13] Mathworks, Documentation, Narxnet. [Online]. Available: <http://www.mathworks.com/help/nnet/ref/narxnet.html>

บทที่ 3

ผลงานวิจัยส่วนที่หนึ่ง การประเมินสถานะน่าสบายในห้องเรียน

บทนี้สรุปผลงานวิจัยส่วนแรก คือ การประเมินสถานะน่าสบายในห้องเรียนของอาคารเรียน C ณ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

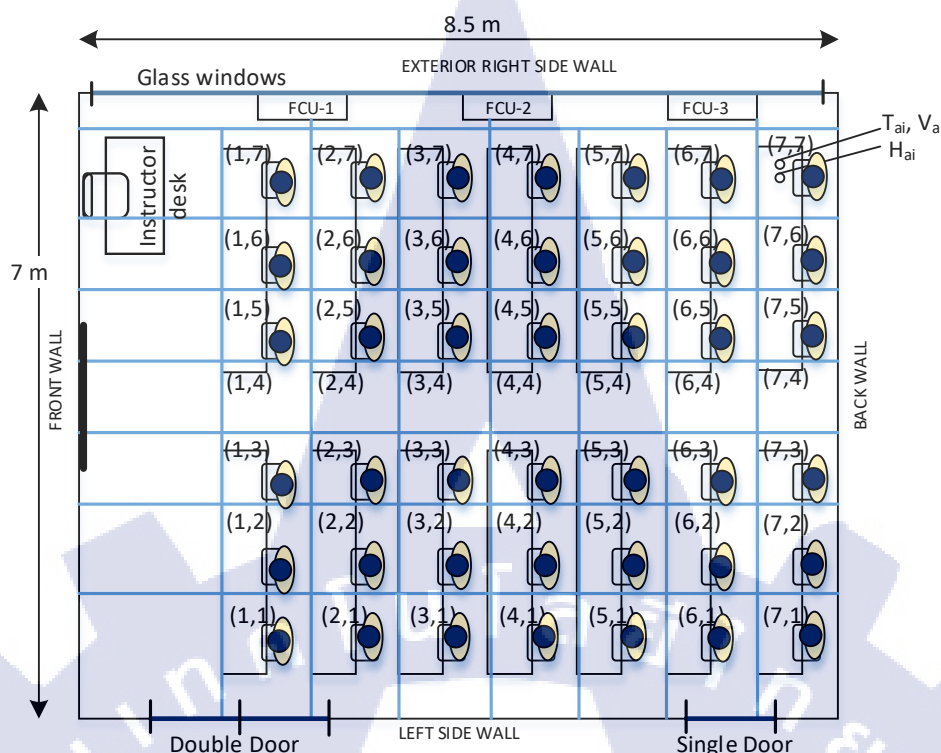
3.1 การประเมินสภาพความน่าสบายของห้องเรียน

3.1.1 การออกแบบห้องทดสอบ

การทดลองดำเนินการในห้องเรียนของอาคาร C ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น (TNI) ห้องเรียนที่มีขนาด $7 \times 8.5 \times 3 \text{ m}^3$ ถูกแบ่งพื้นที่ออกเป็น 7×7 ช่องหรือกริด ดังรูปที่ 3.1 จึงมีตำแหน่งการวัดข้อมูลทั้งหมด 49 ตำแหน่ง ซึ่งจะวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลมที่ตรงกลางของแต่ละกริด โดยใช้เซนเซอร์วัดแบบไร้สายของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (T-RH Sensor) วางบนพื้นที่ทำงานของโต๊ะเรียน หรือประมาณ 0.7 เมตร จากระดับพื้น ในขณะที่โพรบวัดความเร็วลมหรือเวนอะนีโมมิเตอร์ (Vane Anemometer) จะวางเพื่อวัดค่าบริเวณใกล้กับเซนเซอร์ โดยการวัดค่าจะต้องห่างจากผนังอย่างน้อย 0.5 เมตร และตำแหน่งการวัดจะห่างกันด้วยระยะเท่าๆ กัน ดังแสดงเป็นเมตริกซ์ในรูปที่ 3.1

ห้องเรียนขนาดกลางโดยมาตรฐานของ TNI ที่อาคาร C จะสามารถรองรับนักศึกษาได้สูงสุด 80 คน ระหว่างการทดลอง 2 ครั้ง ซึ่งมีนักศึกษา 42 และ 60 คน ตามลำดับ นั่งเรียนอยู่ภายในห้องเรียน กรณีศึกษานักศึกษาจำนวน 42 คนนั่งประจำที่ในห้องเรียนแสดงดังรูปที่ 3.1 เช่นกัน นักศึกษานั่งหันหน้าไปยังกำแพงด้านหน้า หรือทางซ้ายของรูปที่ 3.1 ทางกำแพงด้านขวาเป็นผนังด้านนอกหรือกรอบอาคาร ที่ประกอบด้วยผนังปูนและมีหน้าต่างกระจกชั้นเดียวติดตั้งตลอดแนว ส่วนผนังด้านข้างอีกด้านหันเข้าสู่ทางเดินที่กั้นระหว่างห้องเรียนนี้และห้องเรียนฝั่งตรงกันข้าม โดยจะมีประตูแบบสองบานเปิดไปสู่ทางเดินระหว่างห้องสองฟาก ส่วนผนังด้านหลังห้องก็มีประตูบานเล็กอีกบานเช่นกัน ซึ่งจะปิดอยู่โดยปกติ ภายในห้องมีชุดแฟนคอยล์ยูนิต (Fan Coil Unit (FCU)) จำนวน 3 ชุด ติดตั้งใกล้กับผนังด้านข้างที่เป็นกรอบอาคาร โดยแขวนอยู่ทางด้านบน เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนจะเปิดอยู่ตลอดเวลา 3 ชั่วโมงของคาบเรียน

การเก็บข้อมูลของสภาพอากาศภายในห้องเรียน ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม ทำตลอดคาบ 3 ชั่วโมง โดยแบ่งออกเป็น 2 การทดลองที่เก็บข้อมูลจากห้องเรียนเดียวกัน ข้อมูลวัดของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ใช้เซนเซอร์แบบไร้สายบันทึกค่าทุก 2 นาที ระหว่าง 9:30 – 12:30 น. และ 13:00 – 15:00 น. ตามลำดับ เซนเซอร์นี้พัฒนาโดยห้องวิจัยอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะของสถาบัน TNI ตารางที่ 3.1 แสดงภาพและชื่อของเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.1 ภาพห้องทดสอบและตำแหน่งเครื่องมือวัด

เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Temperature) และความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) เป็นเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้นจากห้องวิจัยอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ (IES Research Laboratory) ออกแบบโดยใช้บอร์ด Arduino (อาตุอิโน) ซึ่งเป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นหลังๆ ที่มีการพัฒนาต่อมาจาก MCS-51 มีให้เลือกใช้งานตั้งแต่ 8 bit ถึง 32 bit บอร์ดนี้มีการพัฒนาแบบโอเพนซอร์ส (Open Source) คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัวบอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่ายและผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลงเพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย [1] บอร์ด Arduino สามารถใช้งานได้ง่ายโดยการต่ออุปกรณ์เสริมต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด

เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า T-RH sensor เป็นโมเดล DHT11 (3.5V – 5.5 VDC) ดังรูปที่ 3.2 [2] วัดอุณหภูมิได้ $0 - 50\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ และวัดความชื้นสัมพัทธ์ได้ $20\% - 95\% \pm 5\%$ และเหมาะสมกับการต่อเข้ากับบอร์ด Arduino เซนเซอร์ DHT11 นี้ราคาถูกและให้สัญญาณดิจิตอลออกมาที่ 8 บิต โดยรับไฟฟ้า 3.5 V การต่อเชื่อม DHT11 เข้ากับบอร์ด Arduino จะใช้ M-F jumper wires โดยมีตัวอย่างวงจรดังรูปที่ 3.3 [3] ที่มีต่อเซอร์กิตโดยการต่อ Vcc กับ +5V ต่อ GND กับ GND และต่อข้อมูล (Data) เข้ากับ pin A1

รูปที่ 3.4 แสดงภาพถ่ายการติดตั้งเซนเซอร์เข้ากับบอร์ด Arduino โดยทดสอบวัดอุณหภูมิห้องและส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์และเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Matlab ในเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ (Personal Computer; PC) หลังจากนั้นได้พัฒนาบอร์ดวงจรโดยสั่งกัดเซอร์กิตตามที่ได้ออกแบบเอง เพื่อให้สะดวกต่อการใช้วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่หลายตำแหน่ง และเปลี่ยนมาใช้เซนเซอร์รุ่น SHT15 และรับไฟฟ้าจากถ่าน 9V ดังรูปที่ 3.5 และภาพเฉพาะเซนเซอร์ SHT15 ดังรูปที่ 3.6 ซึ่งบอร์ด SHT15 นั้นใช้งานได้ง่ายบอร์ดที่เลือกเป็นของ Sensirion [4] โดยเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบดิจิทัล SHT15 ได้รับการสอบเทียบให้มีการวัดที่แม่นยำและใช้งานได้ยาวนานในขณะที่ยังมีราคาไม่สูง อาศัยเทคโนโลยีดิจิทัล CMOSens ที่รวมเซนเซอร์ทั้งสองแบบ (T vs. RH) ไว้ด้วยกันและให้ค่าเซอร์กิตออกมาในชิปเพียงตัวเดียว ต่อเพียง 2 สาย โดยช่วงค่าวัดอยู่ที่ 0-100% RH ที่ความแม่นยำ $\pm 2\%$ RH (10 - 90% RH) ความแม่นยำการวัดอุณหภูมิที่ $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ คือ $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ต้องการกำลังไฟฟ้าเพียง $30\text{ }\mu\text{W}$ เหมาะกับการใช้วัดค่าและบันทึกผลรวมถึงการส่งต่อข้อมูลการวัดผลจากการทดลองเข้าคอมพิวเตอร์ชุดวัด T-RH ได้รับการทดสอบผลการวัดค่าอุณหภูมิห้องที่ $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ เทียบกับเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความเร็วลม (Temperature-Anemometer probe) โมเดล AN100 จาก EXTECH ดังรูปที่ 3.7 พบว่าอ่านค่าได้อุณหภูมิใกล้เคียงกัน

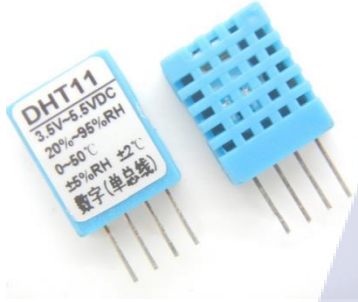
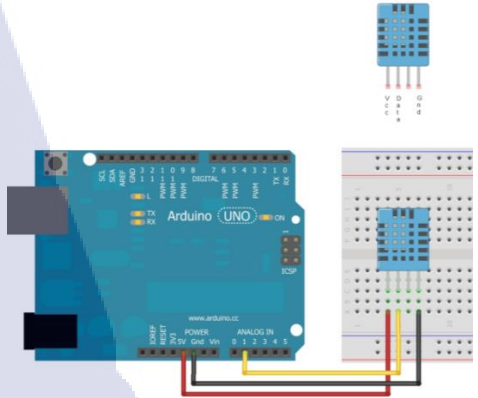
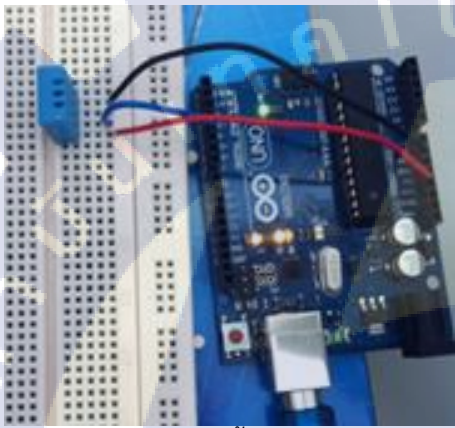
การวัดข้อมูลสภาพอากาศภายในห้องเพื่อใช้คำนวณค่า PMV ที่ทุกเซลล์หรือกริดโดยสมการของแฟงเกอร์ หรือ Fanger Equation [5] นอกจากนี้ยังใช้แบบสอบถามผู้เรียนในห้องเพื่อประเมินการยอมรับต่อสภาพอุณหภูมิ ความชื้น และการเคลื่อนไหวของอากาศ ซึ่งจะนำไปคำนวณค่า AMV (Actual Mean Vote) เพื่อเปรียบเทียบกับ PMV ที่คำนวณได้จากสมการของแฟงเกอร์ต่อไป ค่าสเกลความพึงพอใจต่อสภาพความร้อน ความชื้น และการเคลื่อนไหวของอากาศที่ถูกแนะนำโดยแอสเฮีย (ASHRAE) สรุปดังตารางที่ 3.2

ค่าความพึงพอใจต่อสภาพอุณหภูมิอากาศระบุเป็นตัวเลขตั้งแต่ +3 ถึง -3 ร้อนถึงเย็น และค่าสเกลของความชื้น ตั้งแต่ +2 to -2 ขึ้นถึงแห้ง และของสภาพการเคลื่อนที่ของอากาศตั้งแต่ +2 ถึง -1 ตั้งแต่ลมพัดแรงถึงหยุดนิ่ง

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือวัด

 รูปที่ 3.2 เซนเซอร์ DHT11 [2]	 รูปที่ 3.3 การต่อ DHT11 กับบอร์ด Arduino [3]
 รูปที่ 3.4 แผงติดตั้งเซนเซอร์ T-RH บนบอร์ด Arduino	 รูปที่ 3.5 แผงเซนเซอร์ T-RH บนบอร์ดที่พัฒนาขึ้น
 รูปที่ 3.6 เซนเซอร์ SHT15 [4]	 รูปที่ 3.7 เครื่องมือวัด Temperature-Anemometer ของ EXTECH

ตารางที่ 3.2 ความรู้สึกต่อสภาพอุณหภูมิ ความชื้น และการเคลื่อนไหวของอากาศ [6]

Value	Thermal Sensation	Humid Sensation	Air Movement Sensation
+3	hot		
+2	warm	humid	too breezy
+1	slightly warm	slightly humid	breezy
0	neutral	just right	just right
-1	slightly cool	slightly dry	too still
-2	cool	dry	
-3	cold		

3.1.2 แบบจำลองค่า PMV

ค่าดัชนี PMV ของ Fanger [6] ขึ้นกับ 6 ปัจจัย คือ สภาพความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า อุณหภูมิอากาศ ความชื้นของอากาศ ความเร็วลม สภาพเมตาบอลิซึมของร่างกาย และอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ซึ่งค่าเหล่านี้จะถูกนำมาคำนวณเพื่อทำนายว่ากลุ่มของผู้อาศัยในพื้นที่ปรับอากาศมีความพึงพอใจหรือการตอบสนองต่อสภาพอากาศในห้องปรับอากาศอย่างไร เขียนเป็นสมการอย่างง่ายได้ดังสมการที่ (3.1) ซึ่งกระจายเทอมเป็นสมการที่มีตัวแปรและค่าคงที่ต่างๆ ดังสมการที่ (3.2)

$$PMV = f(M, W, Pa, f_{cl}, T_{cl}, \bar{T}_r) \quad (3.1)$$

$$PMV = (a_0 e^{-a_1 M} + a_2) \{ (M - W) - a_3 [a_4 - a_5 (M - W) - Pa] \} \\ - a_6 \{ (M - W) - a_7 \} - a_8 M (a_9 - Pa) - a_{10} (a_{11} - T_{ai}) \\ - a_{11} f_{cl} \{ (T_{cl} + 273)^4 - (\bar{T}_r + 273)^4 \} - f_{cl} h_c (T_{cl} - T_{ai}), \quad (3.2)$$

เมื่อ

M (W/m^2) คือ เมตาบอลิซึมที่ผลิตพลังงานสำหรับร่างกายกรณีที่ไม่มีงานภายนอกมาเกี่ยวข้อง

W (W/m^2) เป็นงานหรือพลังงานที่ได้จากภายนอก (External work) ซึ่งมักจะกำหนดให้มีค่าเป็น 0

P_a (Pascal) คือ ความดันของไอน้ำในอากาศ

T_{ai} ($^{\circ}C$) และ $\bar{T}_r$ ($^{\circ}C$) คือ อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนโดยเฉลี่ย

T_{cl} คือ อุณหภูมิผิวของเสื้อผ้าเป็นฟังก์ชันของค่าต่างๆ ดังสมการ

$$T_{cl} = f(M, W, Pa, I_{cl}, f_{cl}, T_{cl}, \bar{T}_r, h_c, T_{ai}) \quad (3.3)$$

เมื่อ h_c เป็นค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่เป็นฟังก์ชัน $h_c = f(h_c^*, V_a)$

จากสมการที่ (3.2) ค่าสัมประสิทธิ์ a_0 ถึง a_{11} คือ 0.303, 0.036, 0.028, $3.05e-3$, 5733, 6.99, 0.42, 58.15, $1.7e-5$, 5867, 0.0014, 34, $3.96e-8$ ตามลำดับ

$$T_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) - I_{cl} [(3.96e-8) f_{cl} \{ (T_{cl} + 273)^4 \\ - (\bar{T}_r + 273)^4 \} + f_{cl} h_c (T_{cl} - T_{ai})], \quad (3.4)$$

และ

$$h_c = \begin{cases} h_c^* & \text{if } h_c^* > 12.1\sqrt{V_a} \\ 12.1\sqrt{V_a} & \text{if } h_c^* < 12.1\sqrt{V_a} \end{cases} \quad (3.5)$$

เมื่อ

$$h_c^* = 2.38(T_{cl} - T_{ai})^{1/4} \quad (3.6)$$

โดย ความเร็วลมหรืออากาศจากเครื่องปรับอากาศ คือ V_a (m/s)

I_{cl} ($m^2 \circ C/W$) คือ ความต้านทานต่ออุณหภูมิของเสื้อผ้า

f_{cl} คือ อัตราส่วนของพื้นที่ร่างกายที่ถูกปกคลุมโดยเสื้อผ้าต่อส่วนที่ไม่ถูกปกคลุม

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.290I_{cl} & \text{if } I_{cl} \leq 0.078 \\ 1.05 + 0.645I_{cl} & \text{if } I_{cl} > 0.078 \end{cases} \quad (3.7)$$

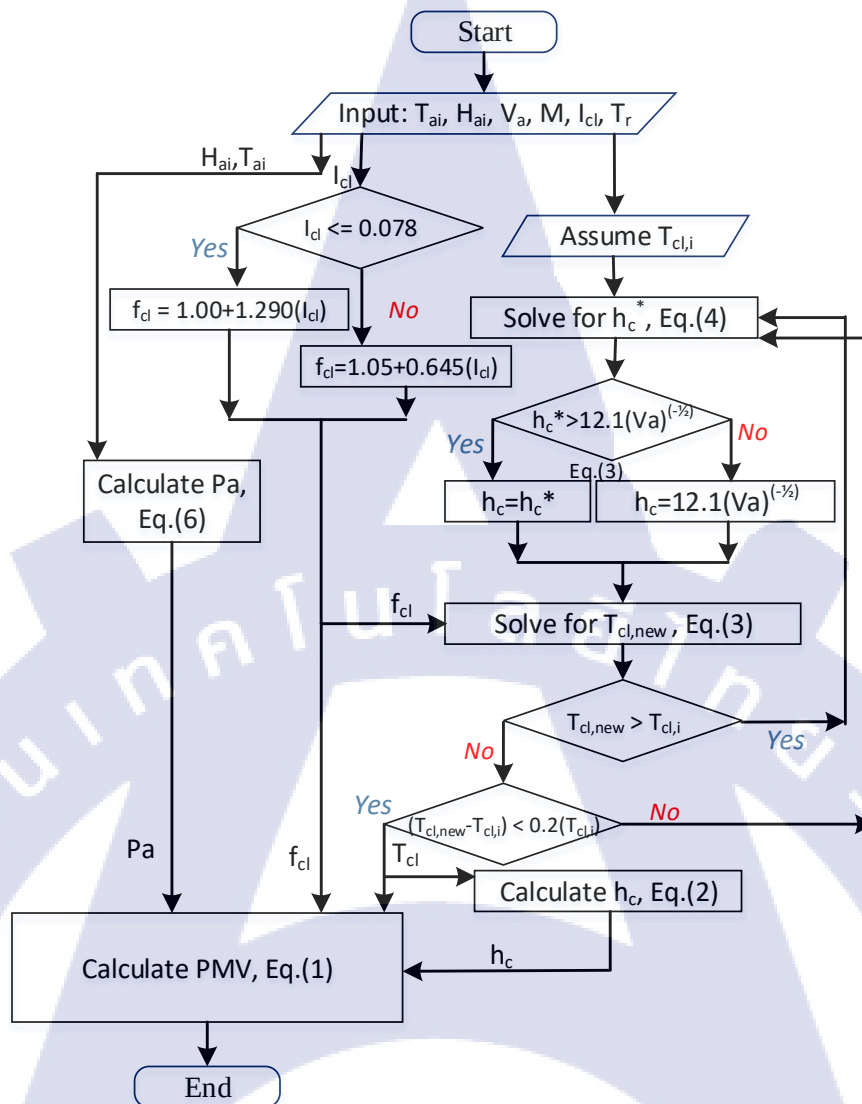
P_a (Pascal) คือ ความดันไอน้ำซึ่งเขียนเป็นฟังก์ชันของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (H_{ai}) ดังสมการของอังตวน

$$P_a = 10(H_{ai}e^{(16.6536 - 4030.183/(T_{ai} + 235))}) \quad (3.8)$$

ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย $\bar{T}_r$ เป็นปริมาณที่ยากต่อการวัด และในงานวิจัยนี้สมมติให้เท่ากับ อุณหภูมิห้อง แผนผังขั้นตอนในรูปที่ 3.8 แสดงขั้นตอนการคำนวณแบบวนรอบ (Iteration) เพื่อหาค่า PMV โดยแบบจำลองของแฟงเกอร์ สมการที่ (3.2) ถึง (3.8) ถูกคำนวณวนซ้ำจนได้ค่าสูงสุดที่กำหนดสำหรับรอบของการ Iteration หรือได้ค่าติกริของการเข้าสู่ของข้อมูลแล้ว โดยหมายเลขสมการที่ปรากฏใน Flow chart เรียงตามลำดับสมการในโปรแกรมคำนวณจาก (1) – (6)

งานวิจัยนี้ได้พยายามลดความยุ่งยากของการคำนวณค่า PMV โดยปรับสมการให้ขึ้นกับ 4 ตัวแปร โดยสมมติว่าค่า อัตราเมตาบอลิซึมมีค่าเท่ากัน เพราะอิริยาบถของนักศึกษาที่กำลังนั่งเรียนอยู่ก็จะเหมือนกัน และก็ไม่มี External work กับนักศึกษาด้วย ดังนั้น PMV จะเป็นฟังก์ชันกับ 4 ตัวแปร คือ อุณหภูมิอากาศภายในห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และค่าความเป็นฉนวนความร้อนของเสื้อผ้า ดังสมการที่ (3.9)

$$PMV = f(T_{ai}, H_{ai}, V_a, I_{cl}) \quad (3.9)$$



รูปที่ 3.8 แผนผังแสดงขั้นตอนการคำนวณค่า PMV ด้วยสมการของแฟงเกอร์

3.1.3 การพัฒนาโมเดลแบบโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อหาค่า PMV

นอกจากนี้งานวิจัยได้ใช้ความสามารถในการเรียนรู้เชิงปรับตัวของโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อนำมาแก้โจทย์ปัญหาที่ซับซ้อน ซึ่งการคำนวณค่า PMV (ดังได้ระบุคำจำกัดความในบทที่ 2) สำหรับบริเวณที่ปรับอากาศก็จัดว่าเป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ค่อนข้างซับซ้อนเช่นกัน โดยงานวิจัยนี้ได้มีการทำนายค่า PMV ของอาคารเรียนของสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น โดยใช้การวัดข้อมูลสภาพอากาศภายในห้องเรียนได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณค่า PMV ของผู้อยู่อาศัยในห้องเรียน หากค่าที่ได้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน ASHRAE ที่เป็นสเกลแสดงผลการยอมรับต่อสภาพอุณหภูมิของอากาศ ก็ไม่จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนสภาพของอากาศภายในห้อง ในทางกลับกันหากค่าผลการคำนวณที่ได้อยู่นอกสเกลที่ยอมรับได้ก็ควรที่จะปรับค่าอุณหภูมิหรือความเร็วลมของกระแสอากาศจากเครื่องปรับอากาศ

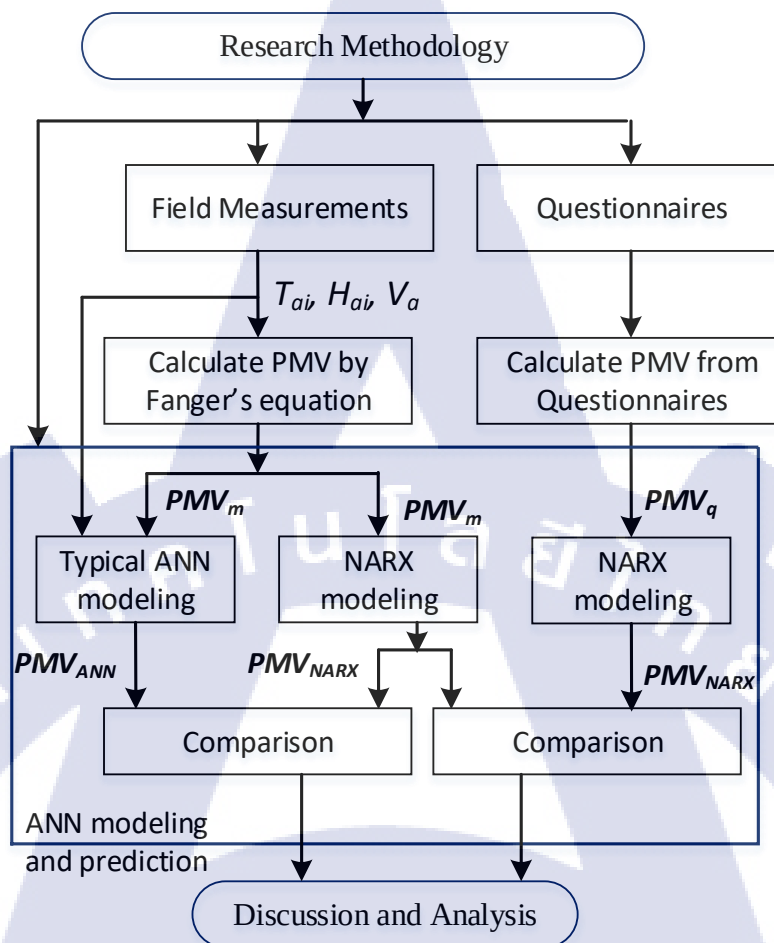
หลังจากการทดลองภาคสนาม และใช้แบบสอบถามกับนักศึกษาที่นั่งในห้องเรียนปรับอากาศ จากนั้นจึงนำข้อมูลมาพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) แบบทั่วไปและแบบ NARX (ดูข้อมูลจากบทที่ 2) เพื่อทำนายค่า PMV ที่ได้ และเปรียบเทียบกับผลการคำนวณระหว่างวิชา ANN ทั่วไป กับ NARX และเปรียบเทียบกับผลของแบบสอบถาม

การเก็บข้อมูลภาคสนามทำในห้องเรียนจริง ขณะที่มีการเรียนจริงในสภาพปกติ โดยเก็บข้อมูลสภาพอากาศในห้องเพื่อใช้ในการหาค่า PMV จากสมการของแฟงเกอร์ คือ PMV_m และในขณะเดียวกันก็ได้แจกแบบสอบถามให้นักศึกษาเพื่อสอบถามความพึงพอใจและการยอมรับต่อสภาพอุณหภูมิ ความชื้น และการเคลื่อนที่ของอากาศ เพื่อนำมาหาค่าผลการประเมินที่แท้จริง (Actual Mean Vote, AMV) ซึ่งในที่นี้จะขอใช้สัญลักษณ์ PMV_q

การทำแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมี 2 แนวทาง คือ แบบจำลอง ANN ตามแบบแผนหรือแบบคลาสสิก กับแบบจำลองชนิด NARX (ดังคำอธิบายในบทที่ 2) แต่ละแบบมีความแตกต่างที่รูปแบบของข้อมูลป้อนและผลลัพธ์ แบบจำลอง ANN ชนิดคลาสสิกต้องการข้อมูลป้อน 3 รายการ คือ (T_{ai} , H_{ai} , V_{ai}) และผลลัพธ์ 1 ค่า คือ PMV_m เพื่อใช้ในการสอนแบบจำลองเพื่อทำนายค่า PMV_{ANN} ต่อไป อีกทางหนึ่งที่ใช้แบบจำลอง NARX จะต้องการข้อมูลป้อน 1 ชุดข้อมูล คือ PMV_m หรือ PMV_q เพื่อทำนายค่าจากแบบจำลอง NARX คือ PMV_{NARX} สำหรับช่วงคาบเวลา (time-series) ต่อเนื่องไป ค่า PMV ที่ถูกคำนวณจากแบบจำลองต่างกันจะถูกนำมาเปรียบเทียบและอภิปรายต่อไป งานวิจัยนี้จะพื้นฐานให้กับการหาโมเดล ANN ที่ดีที่สุดเพื่อการควบคุมแบบปรับตัวได้ (Adaptive control) เพื่อจะทำให้ห้องปรับอากาศมีสภาวะน่าสบายและประหยัดพลังงาน

3.1.5 การเก็บข้อมูลการทดลอง

- (1) การออกแบบการทดลองเพื่อวัดห้องเรียนที่ปรับอากาศเพื่อเก็บข้อมูลให้เพียงพอต่อการหาค่า PMV_m จากสมการที่ (3.2)
- (2) การออกแบบ สร้างเครื่องมือวัด และออกแบบเบื้องต้น การตรวจสอบความถูกต้องเครื่องมือวัด การปรับและการเตรียมเซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น
- (3) การออกแบบแบบสอบถามเพื่อหาข้อมูลของอุณหภูมิ ความชื้น และการเคลื่อนที่ของอากาศจากนักศึกษาที่นั่งในห้องเรียน
- (4) ทำการทดลอง 2 การทดลองในห้อง C-402 เป็นเวลา 2 วัน โดยการทดลองแรกในเดือนมกราคม 2557 จากเวลา 13:00 – 15:00 น. มีนักศึกษา 42 คน ส่วนการทดลองที่สองทำในวันรุ่งขึ้นมีนักศึกษานั่งเรียนอยู่ 60 คน ระหว่างเวลา 9:30 – 12:30 น. โดยเครื่องปรับอากาศทั้ง 2 ระบบเปิดตลอดเวลาทั้งสองการทดลอง
- (5) การเลือกข้อมูลและการคัดสรรข้อมูลทางสถิติศาสตร์เพื่อให้ได้รูปแบบข้อมูลที่หลากหลายสำหรับการสอน/การตรวจสอบความแม่นยำและการทดสอบ (training/validation/testing) ของแบบจำลอง ANN แบบคลาสสิกและแบบ NARX
- (6) การสรุปข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผลการคำนวณค่า PMV จากแบบจำลอง (PMV_m)



รูปที่ 3.9 ระเบียบวิธีวิจัยโดยรวม

3.1.6 แบบจำลอง ANN

ในทางทฤษฎีมีแบบจำลอง ANN อยู่ 2 แบบ คือ (1) แบบคลาสสิกหรือแบบทั่วไป และ (2) NARX โดยแบบทั่วไปมีข้อมูลป้อน 3 ค่า คือ อุณหภูมิอากาศ (T_{ai}) ความชื้นสัมพัทธ์ (H_{ai}) และความเร็วลม (V_a) และมีผลลัพธ์ 1 ค่า คือ PMV_m โดยต้องกำหนดโครงสร้างข้อมูลป้อนและผลลัพธ์ของแบบจำลอง และระบุพารามิเตอร์สำหรับออกแบบ ได้แก่ จำนวนนิวรอน (neurons) และรูปแบบที่จะสอนโครงข่ายประสาทเทียม (training patterns) สำหรับจำนวนของนิวรอนที่กำหนดจะทำให้ทราบจำนวนการพยายามลองผิดถูกของ ANN ที่อยู่ในช่วง [2,7] ซึ่งเป็นช่วงที่คล้ายคลึงกับงานวิจัยที่ใกล้เคียง [7-8]. บางรูปแบบการสอนโครงข่ายจะต้องมีการลองพยายามทำดูก่อนจนกระทั่งได้รูปแบบที่ง่ายและเหมาะสม โดยฟังก์ชันการสอนแบบ TRAINLM ที่ใช้ข้อมูลป้อนกับแบบลาเวนเบอร์กมาร์ควอด (Levenberg-Marquardt back propagation) มีความเหมาะสมที่สุด

สำหรับแบบจำลอง ANN แบบคลาสสิก ค่าผลลัพธ์ k ค่า ได้แก่ $y_1, \dots, y_k, \dots, y_K$ จะถูกเปลี่ยนรูปจากค่าป้อน I ค่า ได้แก่ $x_1, \dots, x_i, \dots, x_I$ ผ่านชั้นที่ซ่อนไว้ (hidden layer) ที่มีนิวรอนหรือประสาทเทียมที่มี J นิวรอน ได้แก่ $z_1, \dots, z_j, \dots, z_J$ โดยผลลัพธ์ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม y_k จะคำนวณมาจากสมการที่ (3.10)

$$y_k = f_y(\sum_{j=1}^J w_{kj} z_j + c_k) \quad (3.10)$$

$$z_j = f_z(\sum_{i=1}^I w_{ji} x_i + b_j) \quad (3.11)$$

เมื่อ

w_{kj} คือ ค่าถ่วงน้ำหนักจากนิวรอน y_k

c_k คือ ค่าไบแอสหรือค่าบวกสำหรับนิวรอน y_k

w_{ji} คือ ค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับนิวรอน x_i ถึงนิวรอน z_j

b_j คือ ค่าไบแอสสำหรับนิวรอน z_j

w_{jk} คือ ค่าถ่วงน้ำหนักในการต่อเชื่อมนิวรอนจากชั้นประมวลผลที่ซ่อนไว้ (hidden layer) ไปยังชั้นประมวลผลลัพธ์ (output layer)

d_i คือ ค่าไบแอสของนิวรอนในชั้นประมวลผลลัพธ์

f_y และ f_z คือ ฟังก์ชันแอคติเวชัน (activation functions) ซึ่งเป็นฟังก์ชันแบบไม่เป็นเชิงเส้น

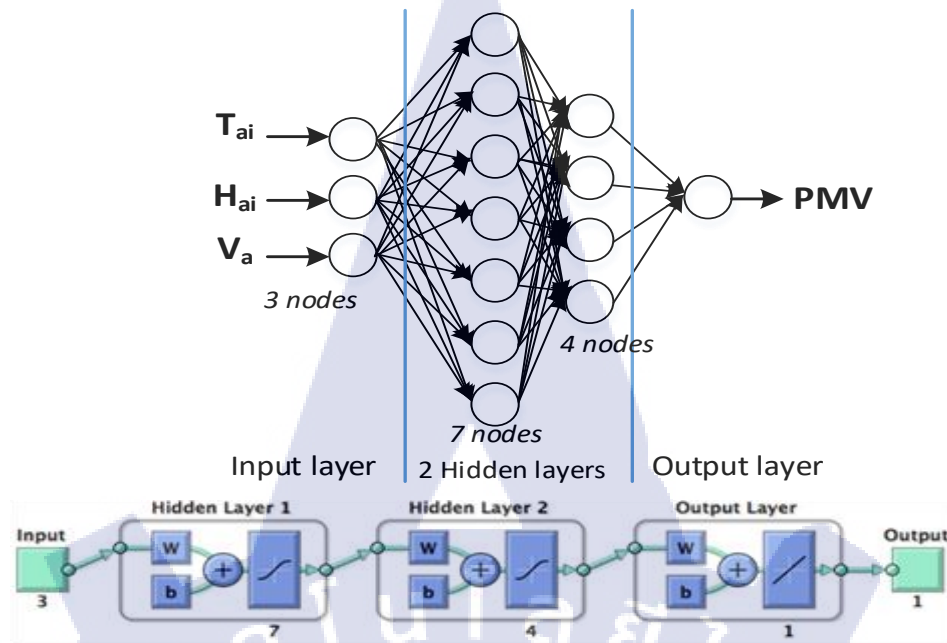
สำหรับฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้นหลากหลายรูปแบบ ฟังก์ชันแอคติเวชันแบบไม่เป็นเชิงเส้นที่ชื่อว่าซิกมอยด์ (Sigmoid shape activation functions) มักถูกนำมาใช้ ดังสมการที่ (3.12)

$$f(\zeta) = \frac{1}{(1+e^{-\zeta})} \quad (3.12)$$

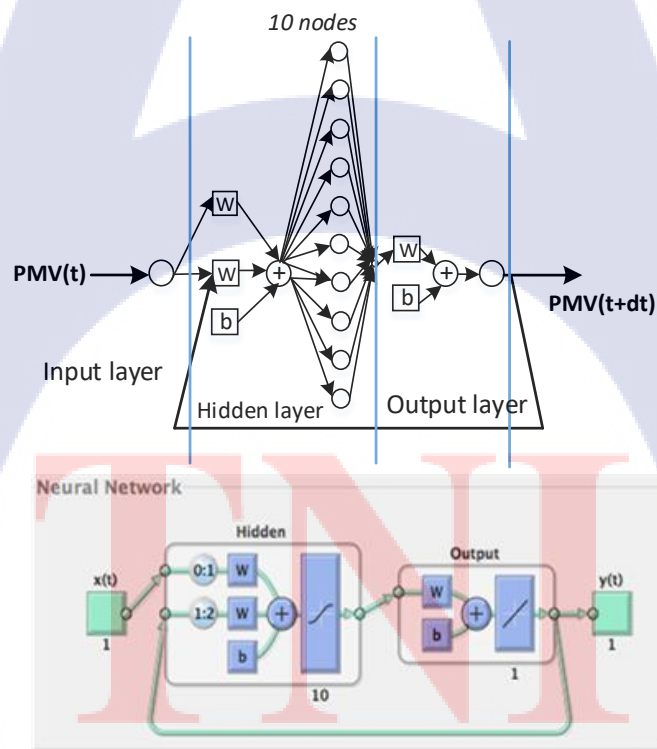
โครงข่ายประสาทเทียม ANN ควรจะให้ผลการคำนวณที่มีความคลาดเคลื่อนจากผลที่ได้จากสมการแพ่งเกอร์ที่น้อย ซึ่งได้มีการทดลองใช้หลากหลายโครงแบบของ ANN จำนวนของนิวรอนในชั้นประมวลผลข้อมูลป้อน (input layer) และชั้นประมวลผลลัพธ์ (output layer) ถูกกำหนดโดยจำนวนของตัวแปรอิสระซึ่งมี 3 ข้อมูลป้อน และจำนวนเป้าหมาย ซึ่งก็คือ PMV รายการเดียว จากการลองผิดลองถูกทำให้ได้จำนวนของนิวรอนในชั้นประมวลผลที่ซ่อนไว้ (hidden layer) เป็น 7 และ 4 ดังรูปที่ 3.10

สำหรับการสร้างแบบจำลอง ANN นั้น ข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกสำหรับการสอนและที่เหลือสำหรับการทดสอบแบบจำลอง ซึ่งต้องมีการปรับสมดุลของข้อมูลทางสถิติศาสตร์ให้เหมาะสม การสอนและการทดสอบชุดข้อมูลจะมีการต้องให้มีชุดข้อมูลที่มีค่าน้อยสุดและมากที่สุดที่คล้ายคลึงกันและค่าเฉลี่ยของ PMV เหมือนกับในชุดข้อมูลหลัก

กรณีของแบบจำลอง NARX ค่า PMV จากแพ่งเกอร์ถูกใช้เป็นข้อมูลป้อนสำหรับแบบจำลองเพื่อการทำนายค่า PMV ในช่วงคาบเวลาถัดไป โดยในเบื้องต้นแนวทางการสอนโมเดลที่ได้ประสิทธิภาพจะต้องใช้โครงสร้างแบบอนุกรมและขนาน (series-parallel architecture) ของโครงข่าย NARX ดังนั้น ค่า PMV ที่แท้จริงจะถูกนำมาใช้แทนที่การป้อนค่ากลับของค่าผลลัพธ์ที่ถูกประเมินออกมาก่อนหน้านี้ เพื่อที่ว่าค่าป้อนเข้าสู่โครงข่ายจะมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น หลังจากที่จะกระบวนการสอนโครงข่ายแบบเปิดของ NARX ชนิดอนุกรมและขนาน (แบบเปิด) สำเร็จแล้ว วงรอบที่สะท้อนกลับ (feedback loop) ก็จะปิดลง ดังรูปที่ 3.11 ระหว่างกระบวนการสอนแบบเปิดวงรอบ มีการนำอัลกอริทึมแบบลาเวนเบิร์กมาปรับค่าถ่วงน้ำหนักของค่าสัมประสิทธิ์ รูปแบบของโครงข่ายของแบบจำลอง NARX ที่ดีที่สุด จะมีโทโพโลยี (topology) หรือแบบของโครงสร้างเป็น $1 \times 10 \times 1$ ที่มีชั้นประมวลผลข้อมูลป้อนเพียงชั้นเดียว มีชั้นประมวลผลที่ซ่อนอยู่ประกอบด้วย 10 นิวรอน และมีชั้นประมวลผลลัพธ์ที่มีโหนดเดียว



รูปที่ 3.10 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้



รูปที่ 3.11 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนกลับชนิด NARX ที่เป็นชุดของคาบเวลา

3.1.7 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

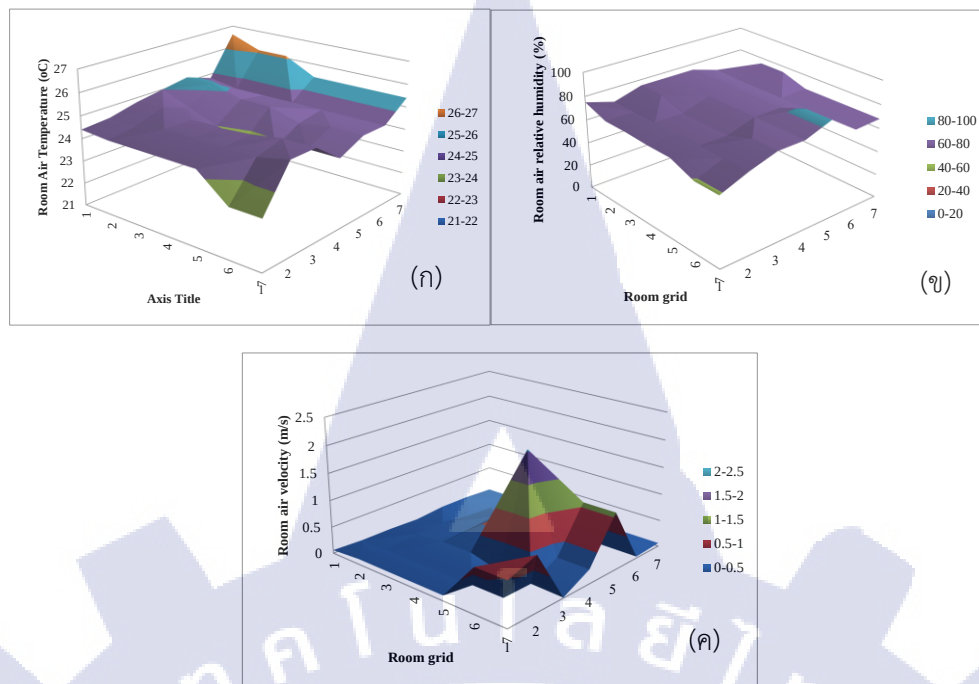
ข้อมูลการวัดจากทั้งสองการทดสอบ ได้ถูกแสดงเป็นพื้นผิวข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม ดังรูปที่ 3.12 และ 3.13 ซึ่งแสดงเป็นตารางขนาด 7×7 พื้นผิวนี้นี้แสดงให้เห็นว่าความชื้นสัมพัทธ์ในห้องอยู่ในช่วง 50% to 80% และความเร็วลมอยู่ระหว่าง 0.03 ถึง 2.04 m/s (สำหรับการทดลองแรก) และ 0.03 ถึง 1.2 m/s (สำหรับการทดลองที่สอง).

หากพิจารณาอิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ จะเห็นว่าผู้อาศัยในห้องรู้สึกดีในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 60% ถึง 80% ที่ความเร็วลมในช่วง 0.03 ถึง 0.5 m/s และอุณหภูมิในช่วง 24.0°C ถึง 24.9°C (ดูรูปที่ 3.12 (ข) และ 3.13 (ข)) ความชื้นที่ยอมรับได้ของผู้อาศัยเพิ่มขึ้นตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ แต่ผลจากการทดลองนี้แสดงว่าค่า RH ไม่เกิน 80% ผู้อาศัยจะรู้สึกดีหากความเร็วลมอยู่ระหว่าง 0.03 ถึง 0.5 m/s แต่จะโหวตว่ามีลมพัดหรือลมค่อนข้างแรงไปที่ความเร็วลมสูงกว่านี้ คือ 1.0 ถึง 2.5 m/s (รูปที่ 3.12 (ค) และ 3.13 (ค)). ค่าการเคลื่อนที่ของอากาศที่สูงสุดที่ยอมรับได้จะพบได้ที่ช่วงอุณหภูมิ 24.0°C ถึง 24.9°C

ค่า PMV ที่คำนวณจากสมการของแฟงเกอร์ (สมการที่ 3.2) และที่ได้จากการวิเคราะห์ผลตอบแบบสอบถามของผู้อาศัยในห้อง ได้รับการเปรียบเทียบในรูปที่ 3.14 และ 3.15 ซึ่งบริเวณที่หนึ่งของนักศึกษาที่รู้สึกเย็นและค่อนข้างเย็นจากการทดลองที่ 1 (รูปที่ 3.14) และในการทดลองที่ 2 ค่า PMV_m แสดงว่าผู้อาศัยส่วนใหญ่รู้สึกเย็นและค่อนข้างเย็น (รูปที่ 3.15) อย่างไรก็ตามค่า PMV_q จากการทดลองระบุว่าผู้อาศัยรู้สึกกลางๆ ไม่เย็นไม่ร้อน

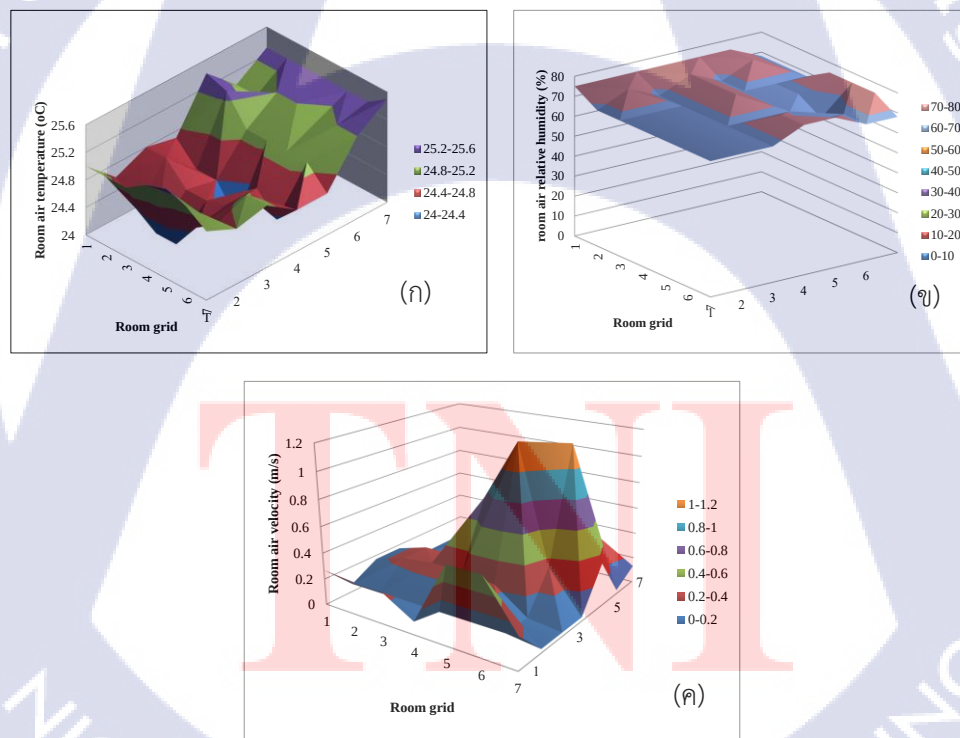
นอกจากนี้ ค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วอากาศจะมีผลอย่างมากกับผลโหวตความรู้สึกเชิงความร้อน ค่าความแตกต่างอย่างมากระหว่าง PMV_q และ PMV_m อาจมาจากความรู้สึกด้านจิตใจนักศึกษาที่จะชอบความเย็นมากกว่า ดังนั้นค่าการยอมรับต่อสภาพความร้อนสำหรับห้องเรียนที่มีค่าโหวต 0 จึงมีอยู่ถึง 42%.

ผลจากแบบสอบถามแสดงว่ากิจกรรมของผู้อาศัยในห้องเรียน คือ การนั่ง การเขียน การอ่าน โดยผู้อาศัยมักจะสวมกางเกงขาสั้น เสื้อเชิ้ตแขนสั้นหรือแขนยาว หรือเสื้อที่เชิ้ต และเสื้อทับ (เสื้อซ้อป) ส่งผลให้ค่าเมตาบอลิกสำหรับกิจกรรมในห้องเหล่านี้เป็น Met 1.0



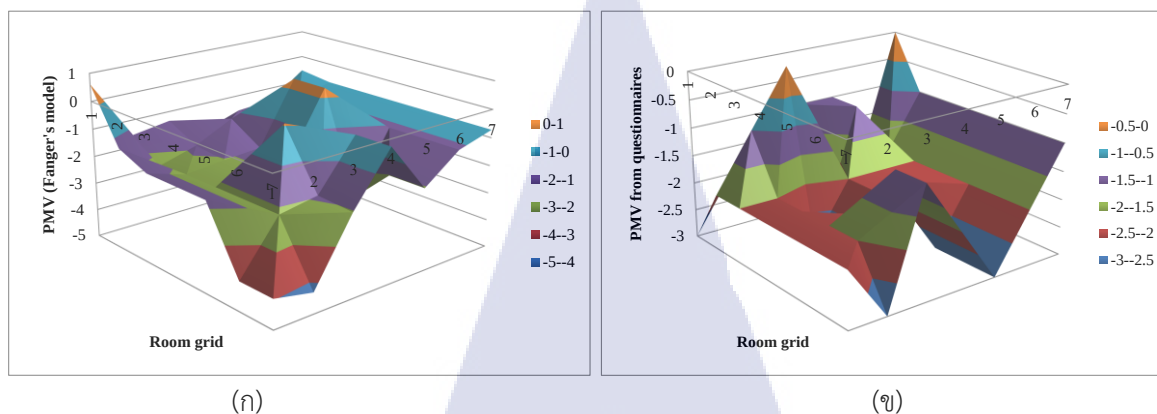
รูปที่ 3.12 ผลการวัดค่าสภาวะอากาศในห้อง (ก) อุณหภูมิ (ข) ความชื้นสัมพัทธ์ และ (ค) ความเร็วลม

จากการทดลองที่ 1

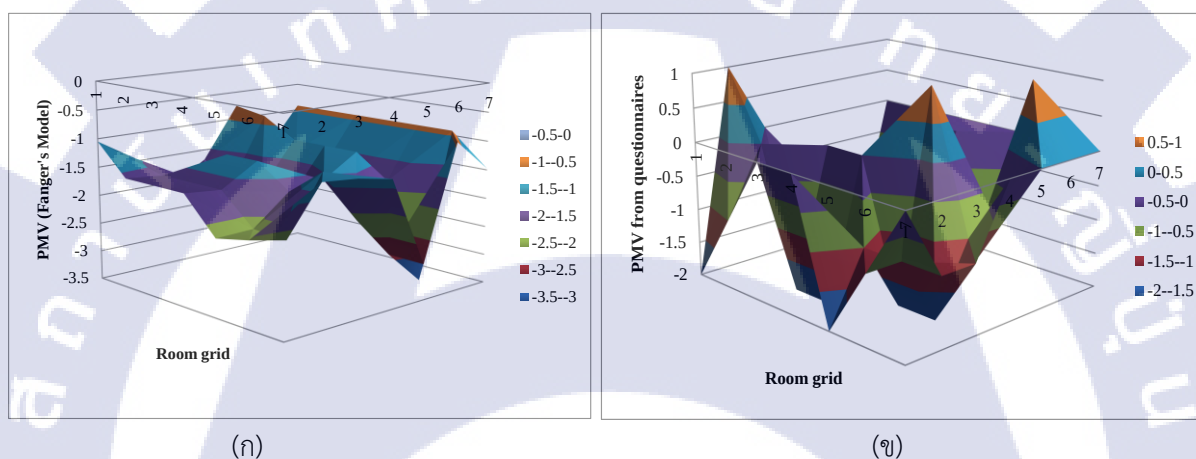


รูปที่ 3.13 ผลการวัดค่าสภาวะอากาศในห้อง (ก) อุณหภูมิ (ข) ความชื้นสัมพัทธ์ และ (ค) ความเร็วลม

จากการทดลองที่ 2



รูปที่ 3.14 การกระจายค่า PMV จากผลการทดลองกับห้องเรียน (ก) คำนวณโดยสมการของแฟงเกอร์
(ข) วิเคราะห์จากแบบสอบถาม จากการทดลองที่ 1



รูปที่ 3.15 การกระจายค่า PMV จากผลการทดลองกับห้องเรียน (ก) คำนวณโดยสมการของแฟงเกอร์
(ข) วิเคราะห์จากแบบสอบถาม จากการทดลองที่ 2

จากการสอนแบบจำลองโครงข่ายสมองเทียม ANN ที่มีรูปแบบข้อมูล 49 แบบ และแต่ละชุดข้อมูลมีข้อมูลจากการวัด 3 รายการ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศในห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม และจะคำนวณค่า PMV_m โดยใช้สมการของแฟงเกอร์ และใช้อีก 10 รูปแบบข้อมูลในการทดสอบแบบจำลอง และในทำนองเดียวกันกับการสอนแบบจำลอง NARX ซึ่งจะถูกตรวจสอบและทดสอบโดยชุดข้อมูลที่มีรูปแบบคล้ายกัน ข้อมูลจากการสอนและทดสอบแบบจำลองได้รับการคัดเลือกมาจากช่วงความกว้างข้อมูลและค่าเฉลี่ยที่คล้ายกันกับชุดข้อมูลทั้งหมด

จากการเปรียบเทียบข้อมูลทั้ง 62 ชุด ระหว่าง $PMVs$ ที่คำนวณโดยสมการของแฟงเกอร์ และ PMV_q ที่ได้จากแบบทดสอบผู้อาศัย มีข้อมูลประมาณครึ่งหนึ่ง หรือ 35 ชุดข้อมูล ที่มีค่าความแตกต่างของการยอมรับได้ต่อสภาพอากาศในห้องปรับอากาศ เป็น $PMV_q - PMV_m \leq \pm 1$ คะแนน แสดงว่าผลกระทบของความเป็นปัจเจกในความรู้สึก

ตอบสนองต่อสภาวะน่าสบายที่มีต่อค่า PMV นอกจากนี้ท่ามกลางข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของโมเดล ก็จะมีข้อมูล 15 ชุด ที่มี PMV_q สำหรับ ความรู้สึกต่อความร้อน ต่อความชื้น และต่อการเคลื่อนที่ของอากาศ เป็น -1 (หมายความว่า ค่อนข้างเย็น, ค่อนข้างแห้ง และอากาศนิ่งเกินไป) และอีกส่วนให้ค่าเป็น 0 (หมายความว่าไม่รู้สึกร้อนหรือเย็นและดีแล้ว)

ตารางที่ 3.3 สรุปข้อมูลทางสถิติของชุดข้อมูลที่ใช้สอนหรือสอน (Train) โมเดล ANN ในช่วงอุณหภูมิ $24.9 \pm 0.4 ^\circ C$ ความชื้นสัมพัทธ์ $70.3 \pm 3.6\%$ และความเร็วของอากาศ $0.24 \pm 0.28 m/s$ โดยใช้ผลการคำนวณ $PMV_m - 1.58 \pm 0.56$

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลทางสถิติของชุดข้อมูลที่ใช้ฝึกโมเดล ANN

Input/Output	Unit	Min	Max	Avg.	Stdev
Indoor air temperature	$^\circ C$	24.0	25.5	24.9	0.4
Relative humidity	%	61.0	75.0	70.3	3.6
Air velocity	m/s	0.03	1.20	0.24	0.28
PMV (Fanger's model)	(-)	-3.48	-0.76	-1.58	0.56

สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของโครงข่ายประสาทเทียม การแสดงผลการถดถอย (Regression) ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์จาก ANN กับข้อมูลเป้าหมาย หากการสอนโมเดลทำได้อย่างสมบูรณ์แบบ ผลลัพธ์จาก ANN และค่าเป้าหมายจะมีค่าเท่ากัน ดังนั้น กระบวนการสอน การตรวจสอบ และการทดสอบโมเดล ANN จะต้องเสร็จสิ้นและสอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนด โดยมีการรายงานค่าของน้ำหนัก (Weights) และค่าไบแอส (Biases) ดังสรุปในตารางที่ 3.4 ถึง 3.6 สำหรับกรณีโมเดล ANN แบบคลาสสิก และสำหรับโมเดลแบบอนุกรมตามเวลาแบบ NARX กรณีการคำนวณค่า PMV ตามสมการของแฟงเกอร์ และ PMV ที่ได้จากผลตอบแบบสอบถามตามลำดับ ค่าน้ำหนักและไบแอสเหล่านี้จะใช้ในการทำนายค่า PMV ของผู้อยู่อาศัยในห้องเรียน โมเดล ANN นี้ต้องการใช้ข้อมูลจากการวัด อาทิ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม เพื่อการทำนายค่า PMV อย่างไรก็ตามโมเดล NARX กลับต้องการข้อมูลประวัติศาสตร์ค่า PMV มาในระยะเวลาหนึ่ง เพื่อทำนายค่า PMV ที่เป็นอนุกรมตามเวลาสำหรับช่วงคาบเวลาถัดไป

สำหรับการทดสอบโมเดล ANN ค่า R-Square (R^2) จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟีดฟอร์เวิร์ด (feed-forward neural network) แบบ TRAINLM ซึ่งการทดสอบข้อมูล PMV ให้ผลที่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ที่ 0.9736 อย่างไรก็ตาม การทดสอบโมเดล NARX ของค่า PMV ให้ค่า R^2 เป็น 1 ทั้งสองกรณี คือ PMV_q และ PMV_m ดังนั้นค่าทำนายของ PMV ที่ได้จากแบบจำลอง NARX สอดคล้องเป็นอย่างดีกับค่า PMV จากการคำนวณโดยสมการของแฟงเกอร์ กับค่าที่ได้จากแบบสอบถามนักศึกษาในห้องเรียน

3.2. การพัฒนาโครงข่ายเซนเซอร์แบบไร้สายสำหรับการเก็บข้อมูลจากห้องปรับอากาศ

งานวิจัยในขั้นตอนถัดมา คือ การเก็บข้อมูลสภาพอากาศจากห้องเรียนแบบปรับอากาศที่ไม่ได้มีการควบคุมระบบปรับอากาศ โดยใช้เซนเซอร์แบบไร้สายที่พัฒนาขึ้น เซนเซอร์ที่วัดค่าได้แบบเรียลไทม์จะเก็บข้อมูลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และส่งข้อมูลไปวิเคราะห์ในชุดคอมพิวเตอร์ที่ใช้เก็บข้อมูล และโดยอ้างอิงมาตรฐานสากล ASHRAE โดยข้อมูลที่วัดค่าได้จะถูกนำมาคำนวณค่าดัชนีค่าเฉลี่ยความรู้สึกร้อนของกลุ่มคนตัวอย่างสำรวจ (Predictive Mean Vote, PMV) ของผู้อาศัยในห้องปรับอากาศ ในขณะที่ได้มีการใช้แบบสอบถามร่วมด้วยเพื่อเก็บข้อมูลป้อนกลับที่แสดงความพึงพอใจต่อสภาพอากาศในห้องจากผู้อาศัย ผลแสดงให้เห็นว่าค่า PMV ที่คำนวณได้จากข้อมูลที่ตรวจวัดจากชุดเซนเซอร์นั้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าดัชนีความรู้สึกร้อนของกลุ่มตัวอย่างสำรวจที่แท้จริงที่ได้จากแบบสอบถาม แสดงให้เห็นว่าเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นไปได้ในทางปฏิบัติ เสถียร และน่าเชื่อถือเพียงพอที่จะเป็นวิธีการที่มีศักยภาพในการวิเคราะห์ทางด้านสภาวะความน่าสบาย

3.2.1 ความสำคัญของสภาวะน่าสบายของห้องเรียน

สภาวะน่าสบายเป็นเงื่อนไขของสภาพจิตใจที่แสดงความพึงพอใจต่อสภาพแวดล้อมทางอุณหภูมิภาพ ความพอใจกับสภาพบรรยากาศทางอุณหภูมิภาพจะมีผลกระทบต่อชีวิตอย่างมากและส่งผลกระทบต่อผลสัมฤทธิ์ของการทำงานและสุขภาพได้ โดยทั่วไปแล้วปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสภาพความสบายนั้นรวมถึงความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า อุณหภูมิอากาศ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ พารามิเตอร์ทางด้านจิตศาสตร์นั้นย่อมส่งผลถึงสภาพความสบายด้วย ซึ่งแบบจำลองของสภาวะความน่าสบายที่นิยมนำมาใช้ คือ PMV ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 2 ซึ่งได้มาจากการทำสมดุลความร้อนและผลการทดสอบที่ได้จากสภาพอากาศที่ถูกควบคุมในสภาวะคงตัว

การวิจัยด้านสภาวะน่าสบายในห้องเรียนเป็นที่สนใจเมื่อห้องเรียนนั้นเป็นพื้นที่ซึ่งมีการใช้พลังงานมากในสถาบันการศึกษา และมีภาระงานที่แปรผันตลอดเวลา อาทิ จำนวนนักเรียนและตารางเรียนที่แตกต่างกันไป สภาวะน่าสบายในสถาบันอุดมศึกษาจึงได้รับการศึกษาวิจัยผ่านการทดสอบสมมติฐานตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้และการใช้แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน และผลการวิจัยในงานที่วิจัยที่เกี่ยวข้อง [9] ที่แสดงว่าแต่ละตำแหน่งของห้องเรียนจะมีระดับความสภาวะน่าสบายที่แตกต่างกัน นอกจากนี้งานวิจัยยังได้ศึกษาการประเมินสภาวะน่าสบายโดยใช้เทคนิคอัจฉริยะ อาทิ โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Networks) [10-11] ด้วย

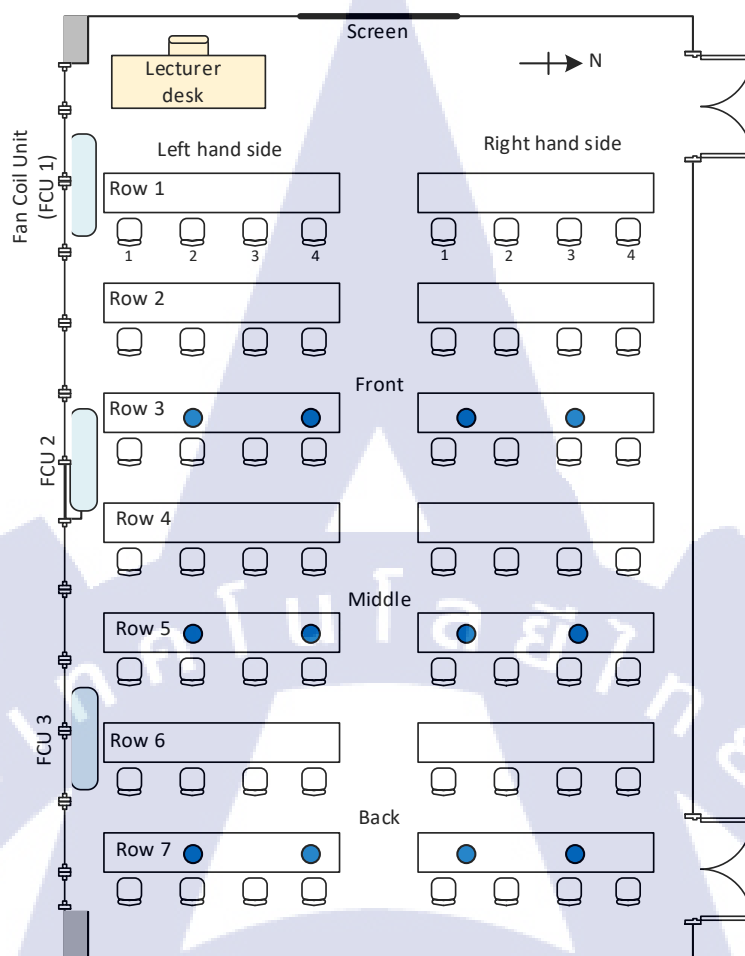
การวัดค่าสภาวะทางความร้อนแบบแสดงผลทันที หรือ เรียลไทม์ (Real time) โดยใช้ฮาร์ดแวร์จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับแบบสอบถามยังพบในงานวิจัยน้อยชิ้น [12] งานวิจัยส่วนนี้จึงต้องการหาแนวทางการวัดค่าสภาวะน่าสบายในห้องเรียนที่ปรับอากาศตามมาตรฐานสากลของ ASHRAE ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองในสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ณ เขตสวนหลวง (ละติจูด 13.7° เหนือ และลองจิจูด 100.63° ตะวันออก) กรุงเทพฯ ประเทศไทย ชุดเซนเซอร์ที่ประกอบเป็นโครงข่ายประกอบด้วยเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่พัฒนาโดยเทคนิคของห้องวิจัย IES เพื่อให้การวัดผลง่ายขึ้น ผลที่ได้จะถูกนำมาช่วยการคำนวณจากแบบจำลองแฟงเกอร์ให้ง่ายขึ้น และพบว่าค่าจากการทำนายโดยแบบจำลองใกล้เคียงกับผลวิเคราะห์ผลตอบจากแบบสอบถามจากผู้ที่อยู่ในห้องเรียนปรับอากาศ

3.2.2 การออกแบบการทดลอง

ห้องเรียนที่มีการทดลอง คือ ห้อง C-406 ที่ตั้งอยู่ที่ชั้น 4th ของอาคาร 6 ชั้น ตารางที่ 3.3 สรุปข้อมูลของสถาปัตยกรรมของห้องเรียนนี้ซึ่งเป็นห้องปรับอากาศ มีผู้นั่งเรียนในห้อง 47 คน จากทั้งหมด 56 ที่นั่ง พื้นที่ห้อง ความสูง และปริมาตรของห้อง คือ 100 m^2 2.8 m และ 280 m^3 ตามลำดับ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างต่อพื้นที่พื้นของห้อง คือ 0.2 มีการเปิดพัดลมระบายอากาศโดยตลอดการวัดข้อมูล รูปที่ 3.16 แสดงรายละเอียดของพื้นที่วัดค่าในห้อง C-406 ห้องเรียนนี้ติดกับอีก 2 ห้องทางด้านข้าง คือ ห้อง C-405 และ C-407 โดยทั้งสามห้องมีขนาดเท่ากัน และมีหน้าต่างทางทิศใต้เช่นเดียวกัน ทางเดินด้านหน้าห้องจะคั่นระหว่างแถวของห้องเรียนทั้งสองฝั่ง ห้องด้านหนึ่งหันไปทางทิศใต้และอีกฝั่งหันไปทางทิศเหนือ โดยทางเข้าของห้องเรียนทุกห้องจะหันเข้าหาทางเดินตรงกลางนี้ ผนังด้านนอกของห้องทดลองหันไปทางทิศใต้ โดยมีหน้าต่างแบบกระจกชั้นเดียวตลอดแนวของผนัง ตำแหน่งของโต๊ะ ที่นั่ง และการติดตั้งเซนเซอร์วัดข้อมูลแสดงดังรูปที่ 3.16 เช่นกัน ผู้ที่อาศัยในห้องเรียนหรือนักศึกษานั้นจะไม่สามารถควบคุมสภาวะอากาศภายในห้องได้ เพราะไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้รีโมทคอนโทรล

ตารางที่ 3.7 สภาพห้องเรียนปรับอากาศในการทดลอง

ลักษณะจำเพาะ	ข้อมูล/ค่า
จำนวนที่นั่ง	56 (นักเรียนนั่งอยู่ 47 คน)
พื้นที่ของพื้นห้อง (m^2)	100 ($8.2 \text{ m} \times 12.2 \text{ m}$)
ความสูงห้อง (m)	2.8 (จากพื้นถึงเพดาน) และมีผนังทึบใต้หน้าต่างสูง 1m
ปริมาตรห้อง (m^3)	280
อัตราส่วน พื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ห้อง	0.20
$A_{\text{window}}/A_{\text{floor}}$	
ทิศของหน้าต่าง	ทิศใต้ (หน้าต่างกระจกชั้นเดียว)
จำนวนของระบบจ่ายลมเย็น (FCU)	แบบแขวนผนัง 3 เครื่อง สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ขนาด 2 ตันความเย็น และไม่มีรีโมทคอนโทรล
ระบบระบายอากาศ	พัดลมระบายอากาศ 1 ตัว และทำงานอยู่



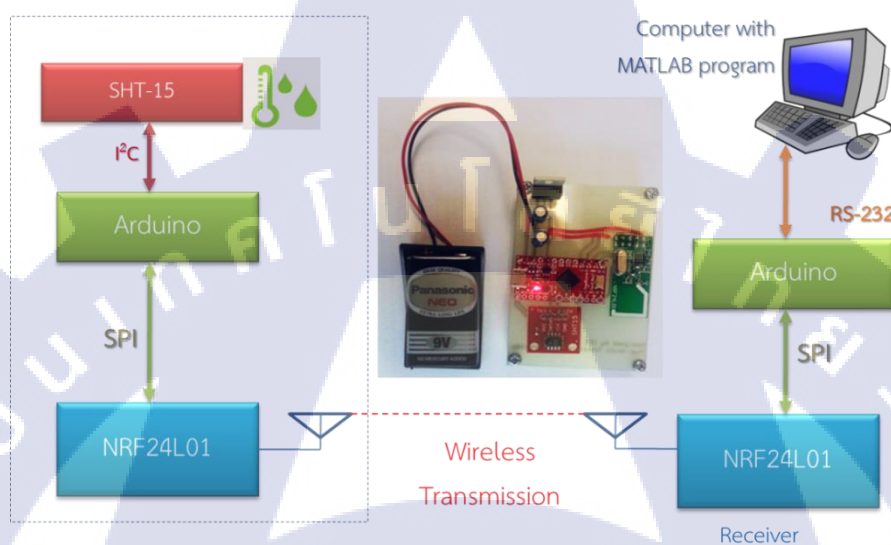
รูปที่ 3.16 ห้อง C-406

3.2.3 การวัดค่าการทดลองส่วนที่สอง

การทดลองในงานวิจัยส่วนที่ 2 นี้ ทำที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นเช่นกัน เมื่อเดือนสิงหาคม 2557 ในช่วงปลายฤดูร้อน ผลการวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลมถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อระบุสภาวะความน่าสบาย และเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบสอบถามเช่นเดียวกับงานในหัวข้อ 3.1 มีการพิจารณาถึงความพึงพอใจของนักศึกษา โดยการวัดค่าทุก 1 นาที ระหว่าง 3 ชั่วโมงของการเรียนการสอน โดยงานส่วนนี้มีการใช้ชุดเซนเซอร์ 12 ชุด ที่ติดตั้งบนโต๊ะในห้องเรียนครอบคลุมทั้งส่วนที่เย็นที่สุดและร้อนที่สุดเพื่อประเมินความสม่ำเสมอของสภาพความร้อนในห้อง และชุดเซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์นี้เป็นแบบไร้สาย

ระบบการวัดข้อมูลทั้งหมดนี้ได้รับการออกแบบโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งการออกแบบจะใช้ SHT-15 ที่เป็นเซนเซอร์ที่ราคาไม่แพง ที่มีการทดสอบสัญญาณเอาต์พุตดิจิทัลที่ใช้งานได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ 14 บิต ช่วงอุณหภูมิที่วัดค่าได้อยู่ระหว่าง -40°C ถึง 100°C ในขณะที่การวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ (RH) อยู่ระหว่าง 0-100% ความแม่นยำของอุณหภูมิอยู่ที่ $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ ที่อุณหภูมิห้อง 25°C และความแม่นยำของ RH อยู่ที่ $\pm 2\%$ RH ต้องการกำลังไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ 5V ทำให้ชุดเครื่องมือวัดนี้ใช้พลังงานน้อยเพียง 30 μW

อุปกรณ์ส่งและรับข้อมูลถูกติดตั้งโดยใช้อุปกรณ์รับส่งข้อมูล หรือ อาร์เอฟทรานส์ซีฟเวอร์ (RF transceiver) โมเดล nRF24L01 ซึ่งรูปแบบของอุปกรณ์รับส่งข้อมูลนี้ประหยัดและใช้ชิปเพียงตัวเดียวทำงานที่แบนด์ 2.4 GHz ISM และอัตราส่งข้อมูลสูงถึง 2 Mbps รูปที่ 3.17 แสดงถึงการออกแบบและการติดตั้งระบบเซนเซอร์ไร้สายเพื่อส่งและรับข้อมูล ซึ่งเซนเซอร์แต่ละตัวจะตรวจวัดข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์และส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เป็นหน่วยอินเตอร์เฟสเพื่อรับข้อมูลก่อนที่จะส่งไปยังสถานีรับข้อมูล และยังแสดงภาพถ่ายของการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ SHT-15 และโมดูล RF รุ่น NRF24L01 ที่ทำงานโดยใช้แบตเตอรี่ขนาด 9-V

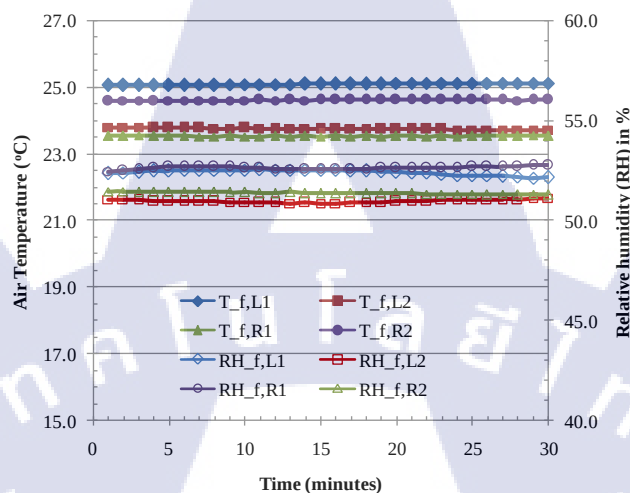


รูปที่ 3.17 แผนภาพแสดงการทำงานของชุดเซนเซอร์ SHT-15 และโมดูล RF รุ่น NRF24L01

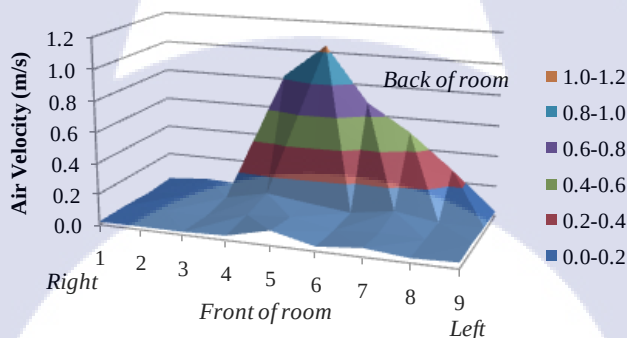
กระบวนการวัดข้อมูลอุณหภูมิห้อง T_a และความชื้นสัมพัทธ์ RH ที่วัดโดยเซนเซอร์ทุกๆ 1 นาที จาก 12 ตำแหน่งด้านซ้ายและขวามือของห้องเรียนดังแสดงในรูปที่ 3.16 ซึ่งเซนเซอร์ถูกติดตั้งที่ด้านหน้าห้องบนโต๊ะที่นั่งแถวที่ 3 ตรงกลางห้องที่แถว 5 และด้านหลังห้องแถวที่ 7 กราฟการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ตามเวลาดังรูปที่ 3.18 แสดงว่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ค่อนข้างคงที่ในช่วงเวลา 30 นาที จากทั้งหมด 3 ชั่วโมง และค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่ด้านหน้า ตรงกลาง และหลังของห้องที่วัดได้มีค่าระหว่าง $23.6 - 25.1^{\circ}\text{C}$, $23.4 - 26.5^{\circ}\text{C}$ และ $23.3 - 27.4^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีการวัดอุณหภูมิโดยโพรบดิจิทัลเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของค่าวัดจากชุดเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้น และพบว่าค่าจากอุปกรณ์วัดทั้งสองชุดมีความสอดคล้องกัน

หลังจากนั้นได้มีการคำนวณค่าผลต่างอุณหภูมิด้านซ้ายและขวาของห้อง พบว่าแตกต่างกัน $0.9 - 1.6^{\circ}\text{C}$ สำหรับแถวด้านหน้า แตกต่างกัน $0.9 - 3.1^{\circ}\text{C}$ สำหรับแถวกลาง และแตกต่างกัน $1.2 - 4.1^{\circ}\text{C}$ สำหรับแถวหลัง ซึ่งด้านซ้ายของห้อง และเนื่องจากด้านซ้ายมือของห้องใกล้กับคอยล์เย็น (FCU) ของเครื่องปรับอากาศ ในขณะที่ด้านขวามือจะห่างไกลกว่า ค่า RH แปรผันในช่วงแคบๆ สำหรับที่แถวนั่งทั้งหมด โดยมีค่าระหว่าง $51.0 - 52.6\%$ สำหรับแถวด้านหน้า $49.7 - 55.4\%$ สำหรับแถวตรงกลาง และ $47.8 - 55.3\%$ สำหรับแถวหลัง

กราฟอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งอื่นๆ ก็มีลักษณะเดียวกัน แสดงว่าเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้นมีความน่าเชื่อถือและความเสถียร ความเร็วลมที่วัดได้ในกริด 7 แถว $\times$ 9 สดมภ์ รวมทางเดินตรงกลางด้วย ถูกวัดค่าโดยอุปกรณ์วัดความเร็วลม หรือ อนิโมมิเตอร์แบบดิจิทัลแบบใบพัด (rotating vane digital anemometer) แสดงผลดังรูปที่ 3.19 ที่แสดงให้เห็นว่าความเร็วลมด้านหลังห้องสูงกว่าโซนอื่นๆ และมีค่าอยู่ระหว่าง 0.6 – 1.2 m/s ในขณะที่ด้านหน้าของห้องมีความเร็วลมต่ำ แสดงถึงการกระจายลมที่ไม่ดี



รูปที่ 3.18 กราฟการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์



รูปที่ 3.19 ค่าการกระจายความเร็วลมในห้องทดลอง

3.2.4 แบบสอบถามความพึงพอใจ

แบบสอบถามที่ถูกออกแบบมาเพื่อวัดความพึงพอใจของนักศึกษาต่อสภาวะในห้องเรียน ได้ถูกแจกให้กับนักศึกษาหลังจากเริ่มเรียนไปแล้ว 1 ชั่วโมง ในขณะที่มีการวัดค่าพารามิเตอร์ได้ด้วย และแบบสอบถามถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1: เก็บข้อมูลทั่วไป อาทิ เพศ อายุ โดยระบุตำแหน่งของนักศึกษาแต่ละคนตามเมตริกซ์ 7 แถว $\times$ 8 สดมภ์ นักศึกษาทั้งหมดอยู่ระหว่าง 15-20 ปี ร้อยละของนักศึกษาวิศวกรรมศาสตร์เพศชายและเพศหญิง คือ 94 และ 6 ตามลำดับ

ส่วนที่ 2: วัดความรู้สึกต่อความร้อนของแต่ละคนโดยให้ค่าความพึงพอใจต่อสภาพความร้อน ความชื้น การเคลื่อนที่ของอากาศ ความพอใจต่อสิ่งแวดล้อม ความพอใจต่อการระบายเหงื่อจากร่างกาย และการยอมรับต่อสภาพ

ความร้อน ดังที่แนะนำในเอกสารอ้างอิง [6] ผลตอบแบบสอบถามจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลคำนวณที่ได้จากสมการแฟงเกอร์ ดังนั้นค่าความพึงพอใจของสภาพความร้อนแบบ 7 สเกล จะได้ค่าความโหวตโดยเฉลี่ยของผู้อาศัย (Occupant actual mean vote: AMV)

ส่วนที่ 3: ตรวจสอบข้อมูลเสื้อผ้าโดยเก็บเป็นเช็คคลิสของประเภทเสื้อผ้าเพื่อให้ทราบสภาพความเป็นฉนวนของผู้อยู่อาศัย [13] ซึ่งพบว่าผู้อยู่อาศัยหรือนักศึกษาทั้งหมดสวมชุดเครื่องแบบนักศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ที่ประกอบด้วยเสื้อที่เชิร์ต กางเกงขายาว และแจ็กเก็ตแขนสั้น ยกเว้นนักศึกษาหญิงรายเดียวในแถวที่สองซึ่งสวมเสื้อเดอร์ตัวย

ส่วนที่ 4: เป็นการยอมรับต่อสภาวะความน่าสบายของผู้อยู่อาศัยที่ถูกประเมินอีกครั้ง เพื่อตรวจสอบคะแนนกับส่วนที่ 1-3 ก่อนหน้านี้ อาทิ ความพึงพอใจและการยอมรับต่อสภาวะของอากาศในห้องปรับอากาศ

3.2.5 ผลการวัดและการวิเคราะห์ผล

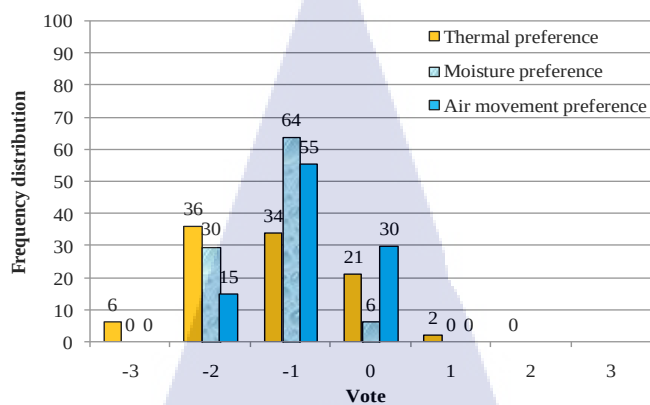
3.2.5.1 ความพึงพอใจรายบุคคล

รูปที่ 3.20 แสดงผลที่ได้จากแบบสอบถามหลังจากการวิเคราะห์และประมวลผลในรูปของการกระจายความถี่เป็นร้อยละของความพึงพอใจต่อสภาพความร้อน ความชื้น และการเคลื่อนที่ของอากาศ ผู้อาศัยทั้งหมดรายงานว่าพอใจกับสภาพที่ความเย็นและค่อนข้างเย็น ในขณะที่ให้ความชื้นและการเคลื่อนที่อากาศด้วย ผู้อยู่อาศัยเกือบทั้งหมดเป็นนักศึกษาที่สวมกางเกงขายาว เสื้อที่เชิร์ตแขนสั้นและทับด้วยแจ็กเก็ต (ค่า $I_{clo} = 0.96$) นั่งกับที่นั่งและเจียบซึ่งให้ค่าอัตราเมตาบอลิกเป็น 1.0 met ซึ่งเทียบเท่าการสร้างความร้อนจากเมตาบอลิกเป็น 58.1 W/m²

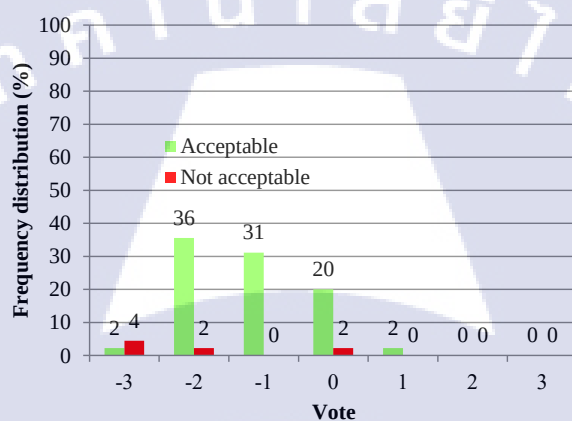
ตามมาตรฐาน ASHRAE 55 (1992) [6] สภาพความร้อนในช่วงฤดูร้อนที่จะทำให้ผู้อยู่อาศัยร้อยละ 90 รู้สึกพึงพอใจคือที่อุณหภูมิที่เหมาะสมเป็น 24.5 °C โดยช่วงค่าอุณหภูมิที่ยอมรับได้ คือ 23 °C – 26 °C นอกจากนี้ยังมีสมมติฐานของค่าป้อนสำหรับคำนวณ PMV ดังนี้ RH = 55% ความเร็วลมสัมพัทธ์โดยเฉลี่ย < 0.15 m/s อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย (mean radiant temperature) เท่ากับอุณหภูมิอากาศ และอัตราเมตาบอลิก 1.2 met โดยสภาพความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า 0.5 clo อย่างไรก็ตาม ค่าที่ใช้ในงานวิจัยนี้แตกต่างออกไป โดยใช้ค่าที่วัดได้จากการทดลองเพื่อเป็นค่าป้อนให้กับการคำนวณ PMV แทน

ค่าโหวตของผู้อยู่อาศัยจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าความพึงพอใจต่อสภาพความร้อนซึ่งใช้ค่าดัชนี 3 รายการ ได้แก่ ดัชนีความพึงพอใจต่อสภาพความร้อน ดัชนีความพึงพอใจต่อสภาพความชื้น และดัชนีความพึงพอใจต่อการเคลื่อนที่ของอากาศ

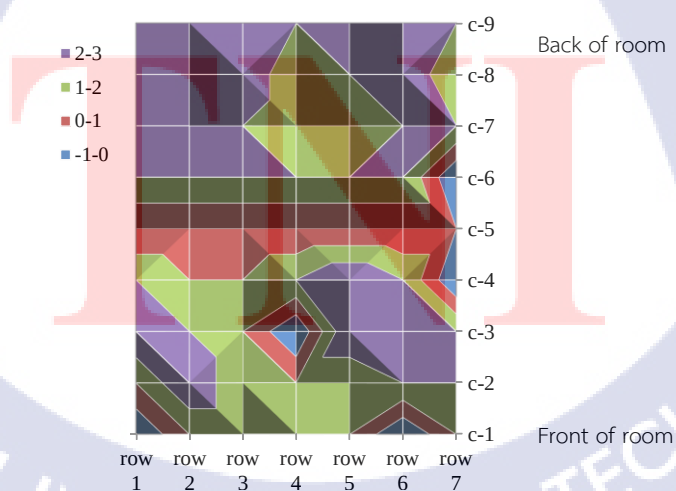
รูปที่ 3.21 แสดงความสอดคล้องกันระหว่างค่าโหวตด้านความร้อน (Thermal vote) และค่าการยอมรับได้ต่อสภาพความร้อน (Thermal acceptability) ซึ่งผู้อยู่อาศัยร้อยละ 87 ที่ยอมรับต่อสภาพความร้อนและแสดงผลการโหวตออกมาในช่วง -2 to 0 (ค่อนข้างเย็น) ดังนั้น ความไม่พอใจที่แท้จริง (Percentage of dissatisfied (APD)) มีค่าเพียง 8% แสดงว่าในอีกนัยหนึ่งผู้อยู่อาศัยที่รู้สึกว่สภาพแวดล้อมนี้ยอมรับไม่ได้ นอกจากนี้ผู้อยู่อาศัยร้อยละ 98 ไม่มีเหตุออกแสดงว่ารู้สึกดี โดยในส่วนที่ 4 ของแบบสอบถามนั้นการรับรู้ต่อสภาพความร้อนของผู้อยู่อาศัยจะถูกตรวจสอบอีกครั้งโดยถูกตั้งคำถามอีกครั้ง เพื่อให้โหวตความคิดเห็นที่มีต่อสภาวะน่าสบายในระดับ 7 สเกล จากค่า -3 ที่ไม่พอใจไปจนถึง +3 ที่พึงพอใจ ดังแสดงผลในกราฟคอนทัวร์ดังรูปที่ 3.22 ที่แบ่งตามกริดของห้องเรียน



รูปที่ 3.20 กราฟการกระจายความถี่ของความพึงพอใจส่วนบุคคลในด้านความร้อน ความชื้น และการเคลื่อนที่ของอากาศ



รูปที่ 3.21 กราฟแสดงการยอมรับต่อสภาพความร้อน



รูปที่ 3.22 กราฟคอนทัวร์ของการยอมรับต่อสภาพความร้อน (ค่าโหวตโดยเฉลี่ยที่แท้จริง) ของผู้อาศัยตามค่า 7 ระดับ (-1 คือ ไม่ค่อยพอใจ และ 3 คือ พอใจมาก)

3.2.5.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองสำหรับการคำนวณค่า PMV มาจากสมดุลย์ความร้อนที่สร้างความสัมพันธ์ระหว่าง 6 ตัวแปร เพื่อคำนวณสภาวะความสบายเชิงความร้อน ได้แก่ สภาพความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า อุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ความเร็วลม อัตราเมตาบอลิซึมของร่างกายผู้อยู่อาศัย และค่าเฉลี่ยการแผ่รังสีความร้อน [6-8] ดังสมการที่ 3.13

$$PMV = (a_0 e^{-a_1 M} + a_2)(M - W) - a_3 \{a_4 - a_5(M - W) - Pa\} - a_6 \{(M - W) - a_7\} - a_8 M(a_9 - Pa) - a_{10}(a_{11} - T_{ai}) - a_{11} f_{cl} \{(T_{cl} + 273)^4 - (\bar{T}_r + 273)^4\} - f_{cl} h_c (T_{cl} - T_{ai}), \quad (3.13)$$

เมื่อ M (W/m^2) และ W (W/m^2) คือ ค่าอัตราเมตาบอลิซึมและงานที่ทำ ตามลำดับ

P_a (Pa) คือ ความดันไอพาร์เซียลของไอน้ำ T_{ai} ($^{\circ}C$) และ $\bar{T}_r$ ($^{\circ}C$) คือ อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิการแผ่รังสี โดยเฉลี่ย ตามลำดับ T_{cl} คือ อุณหภูมิพื้นผิวของเสื้อผ้าซึ่งเป็นฟังก์ชันของ $T_{cl} = f(M, W, Pa, I_{cl}, f_{cl}, \bar{T}_r, h_c, T_{ai})$ และ h_c คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนซึ่งเป็นฟังก์ชันของดังนี้ $h_c = f(h_c^*, V_a) T_{ai}$

โดยค่าสัมประสิทธิ์ a_0 ถึง a_{11} มีค่าเป็น 0.303, 0.036, 0.028, 3.05×10^{-3} , 5733, 6.99, 0.42, 58.15, 1.7×10^{-5} , 5867, 0.0014, 34, and 3.96×10^{-8} ตามลำดับ

ตารางที่ 3.8 การเปรียบเทียบค่า AMV และ PMV ที่แต่ละตำแหน่งวัดของห้องเรียน

row	Location	LHS1 (c-2)			LHS2 (c-4)		
		AMV	PMV	PPD	AMV	PMV	PPD
3	Front	1	0.0	5.1	1	0.1	5.1
5	Middle	1	-0.9	20.5	3	0.5	11.2
7	Back	2	0.1	5.5	-1	-0.7	16.4
row	Location	RHS1 (c-6)			RHS2 (c-8)		
		AMV	PMV	PPD	AMV	PMV	PPD
3	Front	2	0.1	5.3	3	0.0	5.3
5	Middle	2	0.2	5.5	2	0.1	5.2
7	Back	-1	-0.8	18.6	1	-0.3	8.1

หมายเหตุ: LHS = ด้านซ้ายมือของห้องเรียน, RHS = ด้านขวามือของห้องเรียน และหมายเลข 0, 2, 4, 6, 8 คือ สดมภ์ 2, 4, 6, 8 ของที่นั่ง

จากผลงานวิจัยของ Songuppakarn *et al* [14] จากผลงานวิจัยที่นำเสนอในหัวข้อ 3.1 ได้มีความพยายามทำให้สมการที่ (3.2) หรือ (3.13) ยง่ายขึ้นจนได้เป็นสมการที่ (3.14) สมการอื่นๆ ประกอบกับโมเดลของโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อลดความยุ่งยากของสมการ PMV ลง ผลที่ได้จากการทำให้สมการง่ายขึ้นเป็นฟังก์ชันของ PMV กับ 4 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิอากาศในห้องเรียน ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และสภาพความต้านทานต่อความร้อนของเสื้อผ้า โดยพิจารณาว่าค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ยเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิพื้นผิวนั่ง และสมมติว่าค่าอัตราเมตาบอลิซึมมีค่าเดียว ในขณะที่ค่างานที่นักเรียนทำในห้องทดลองนี้มีค่าเดียวเช่นกัน

$$PMV = f(T_{ai}, RH, V_a, I_{cl}) \quad (3.14)$$

เมื่อ I_{cl} ($m^2 \cdot ^\circ C/W$) คือ สภาพความเป็นฉนวนความร้อน และ RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

งานวิจัยในหัวข้อที่ 3.2 นี้ มีการทำโปรแกรมคำนวณค่า PMV โดยใช้ MATLAB 2012 โดยประยุกต์จาก โปรแกรมคำนวณ (Source-code) ที่แนะนำไว้ในภาคผนวก D ของมาตรฐาน ASHRAE (Computer Program for Calculation of PMV-PPD) [6]

การทำนายค่า PPD ซึ่งเป็นดัชนีที่เป็นค่าทำนายเชิงปริมาณของร้อยละความไม่พึงพอใจของผู้คนที่ค่าประเมินของ PMV ค่าอื่นๆ

เมื่อพิจารณาค่าการถ่ายโอนความร้อนและมวลระหว่างร่างกายมนุษย์ที่มีเมตาบอลิซึมจากกิจกรรมที่ทำ และกับสิ่งแวดล้อมเพื่อให้เกิดสมดุล ผลการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องปรับอากาศจะถูกนำมาใช้ในการคำนวณค่าอุณหภูมิประสิทธิผล (Effective Temperature: ET) [15] คือ

$$ET = T_{ai} - 0.4(T_{ai} - 10) \left(1 - \frac{RH}{100} \right) \quad (3.15)$$

เมื่อหาค่าเฉลี่ยของค่าวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากเซนเซอร์แล้ว ค่า ET สำหรับแถวที่ 3, 5 และ 7 อยู่ในช่วง $21.8 - 22.2$ $^\circ C$, $21.0 - 23.2$ $^\circ C$, และ $20.9 - 23.9$ $^\circ C$ ตามลำดับ ซึ่งค่อนข้างต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ ดังนั้น ผู้อยู่อาศัยจึงแสดงการยอมรับต่อสภาพความร้อนที่ระดับติดลบ และสมการที่ 3.15 นี้ไม่ได้รับผลของการถ่ายโอนความร้อนโดยการพาและการแผ่รังสีไว้ด้วย ค่าเหล่านี้จึงค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับค่าที่แนะนำไว้โดย ASHRAE Standard 55 (1992) [6]

ผลการวิเคราะห์จากแบบสอบถามส่วนที่ 4 แสดงผลเป็นแผนภาพคอนทัวร์ดังรูปที่ 3.22 ซึ่งเป็นไปตามคู่มือของ ASHRAE ซึ่งค่าร้อยละความไม่พึงพอใจ (PPD) ที่ 10% สัมพันธ์กับช่วงค่า PMV ± 0.5 แม้ว่า PMV จะเท่ากับ 0 ร้อยละ 5 ของผู้คนก็ยังรู้สึกไม่พึงพอใจกับสภาพอากาศ [6]

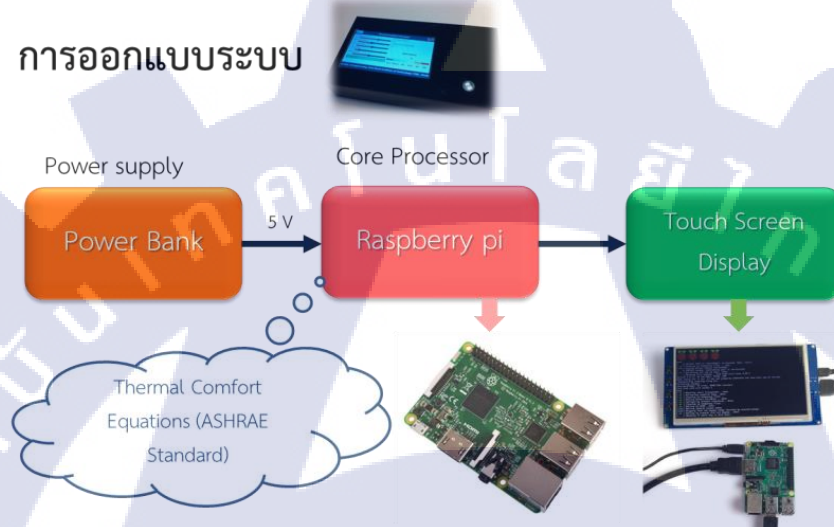
การทำนายค่าความรู้ต่อสภาพความเป็นกลางทางความร้อนโดยโมเดล PMV ถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ประเมินจากกลุ่มของผู้อาศัย (ค่าโหวตโดยเฉลี่ยที่แท้จริง) สำหรับสเกลความรู้ต่อสภาพความร้อน ดังตารางที่ 3.8 ดังนั้น การตรวจวัดแบบเรียลไทม์โดยเซนเซอร์ที่ติดตั้งกระจายอยู่ในพื้นที่ปรับอากาศก็จะช่วยทำให้ทราบถึงการยอมรับและการรับรู้ต่อสภาพความร้อนของห้องได้

การเปรียบเทียบระหว่างค่า PMV-PPD จากการวัดและการโหวตโดยใช้สเกล 7 ระดับ สรุปไว้ดังตารางที่ 3.4 แสดงว่า AMV ที่ได้นั้นสอดคล้องกับค่า PMV ที่คำนวณจากสมการแพงเกอร์ในพื้นที่ส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตาม มีเพียงหนึ่งตำแหน่ง (แถวกลางและด้านซ้ายมือ LHS1 ของห้องที่สดมภ์ที่ 2) ที่มีค่าที่ไม่สอดคล้องกันของค่าการรับรู้ต่อสภาพความร้อน PMV ซึ่งอนุมานได้ว่าโครงข่ายเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ใช้งานได้ในทางปฏิบัติเพื่อการตรวจวัดค่าการรับรู้ต่อสภาพความสบายเชิงความร้อน หรือ สภาวะน่าสบายของนักเรียนในห้องเรียนภายในสภาวะปรับอากาศแบบคงตัว

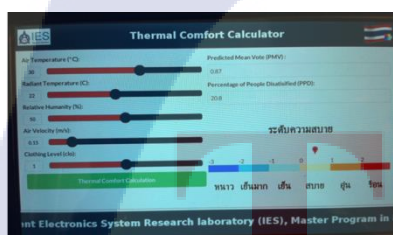
เมื่อพัฒนาชุดเซนเซอร์และโปรแกรมคำนวณและตรวจสอบการใช้งานในห้องเรียนแล้ว ก็ได้มีการออกแบบเครื่องคำนวณสภาวะความสบายแบบเคลื่อนที่ได้ โดยออกแบบตามกรอบแนวคิดดังรูปที่ 3.23 โดยใช้อุปกรณ์จ่ายพลังงานหรือพาวเวอร์ซัพพลาย ที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงความต่างศักย์ 5V ให้กับตัวประมวลผลหลัก (Core Processor) หรือ ราสเบอรี่ไพ (Raspberry Pi) Raspberry Pi หรือ คอมพิวเตอร์จิ๋วที่ทำงานร่วมกับ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ใช้งานร่วมกับ Linux ได้หลายตระกูล ใช้ภาษา Python ในการคำนวณสมการและออกคำสั่งติดต่อกับฮาร์ดแวร์ สามารถประยุกต์ใช้ Php MySQL ติดต่อกับเว็บและฐานข้อมูลได้ หรือ Apache WebServer ทำหน้าที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ได้ ซึ่งคอมพิวเตอร์จิ๋วในเครื่อง Thermal Comfort Calculator แบบ Stand alone นี้จะสามารถคำนวณค่า PMV และ PPD โดยใช้สมการที่ปรับมาจากสมการของแฟงเกอร์ และใช้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากผลการวิจัยในหัวข้อที่ 3.1 และ 3.2 ด้วย จากนั้นแสดงผลบนหน้าจอแบบทัชสกรีน ซึ่งสามารถปรับค่าพารามิเตอร์ 5 ตัว ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และสภาพความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า ดังแสดงภาพอุปกรณ์พร้อมหน้าจอ ในรูปที่ 3.24 ซึ่งเครื่องคำนวณสภาวะน่าสบายนี้เคยนำเสนอในงาน Thailand Industry Expo 2016 มาแล้ว

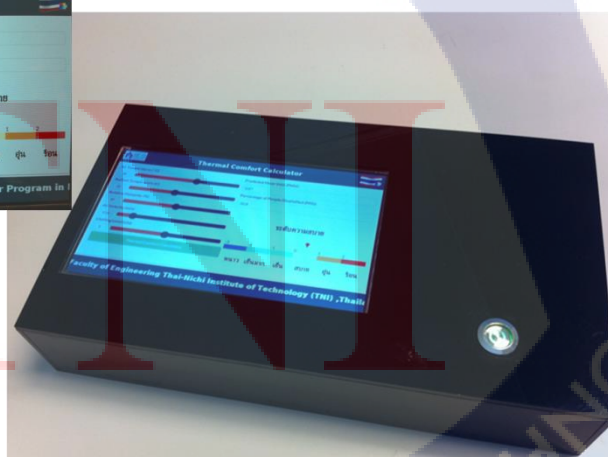
การออกแบบระบบ



รูปที่ 3.23 กรอบแนวคิดการออกแบบเครื่องคำนวณสภาวะน่าสบาย



เครื่องคำนวณสภาวะน่าสบาย
(Thermal Comfort)
ที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 3.24 เครื่องคำนวณสภาวะน่าสบายที่พัฒนาขึ้น

เครื่องคำนวณสภาวะน่าสบายแบบ Stand Alone กึ่งคอมพิวเตอร์นี้มีความทนทาน ใช้น้ำจอบแบบสัมผัส มีปุ่มเปิดปิดเดียวทำให้ใช้งานได้ง่าย ใช้งานร่วมกับเซนเซอร์ที่ติดตั้งกระจายในพื้นที่ทำงานได้ และแสดงผลผ่านระบบอินเตอร์เน็ตได้ สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อควบคุมการใช้ไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศได้ และหากจะพัฒนาต่อไปก็สามารถออกแบบขนาดและรูปลักษณ์ตามความต้องการลูกค้าได้

3.3. การประมวลผลการเก็บข้อมูลสภาวะน่าสบายของห้องเรียน

งานวิจัยส่วนนี้ใช้การเก็บข้อมูลจากการวัดค่าต่างๆ ในห้องเรียน และใช้แบบสอบถามสำหรับห้องเรียนในอาคาร C และ B ซึ่งมีการทำงานวิจัยร่วมกับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.) ด้วย งานวิจัยทำในลักษณะเดียวกับงานวิจัยในหัวข้อ 3.2 ซึ่งแบบสอบถามที่ใช้การสำรวจนี้ ประกอบด้วย 2 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นข้อมูลเกี่ยวกับผู้ที่ถูกสำรวจประกอบด้วย อายุ เพศ การแต่งกาย และส่วนที่สองเป็นชุดคำถามที่เกี่ยวข้องกับความสบายในช่วงที่กำลังสัมภาษณ์และตรงกับสภาวะในห้อง ตารางที่ 3.9 แสดงระดับสเกลของความสบายในห้องปรับอากาศที่ให้ผู้ถูกสำรวจประเมิน

ตารางที่ 3.9 ระดับสเกลของความรู้สึกสบายภายในห้องปรับอากาศ

สเกล ตัวเลข	สเกล ความรู้สึกของ ASHRAE	การยอมรับ (Acceptability)			ความชอบ (Preference)		
		อุณหภูมิ	ปริมาณลม	ความชื้น	อุณหภูมิ	ปริมาณลม	ความชื้น
+3	ร้อน		สูงเกินไป	สูงเกินไป			
+2	อุ่น		สูง	สูง			
+1	ค่อนข้างอุ่น	รับได้	ค่อนข้างสูง	ค่อนข้างสูง	อุ่นขึ้น	ลมมากขึ้น	ชื้นขึ้น
0	สบาย	พอรับได้	พอดี	พอดี	ไม่เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยน
-1	ค่อนข้างเย็น	รับไม่ได้	ค่อนข้างต่ำ	ค่อนข้างต่ำ	เย็นลง	ลมน้อยลง	แห้งลง
-2	เย็น		ต่ำ	ต่ำ			
-3	หนาว		ต่ำเกินไป	ต่ำเกินไป			

3.3.1 เครื่องมือตรวจวัดสภาวะแวดล้อมอุณหภูมิในอาคาร

ระหว่างที่ผู้ถูกสำรวจกำลังกรอกข้อมูลในแบบสอบถาม สภาวะแวดล้อมอุณหภูมิรอบตัวผู้ถูกสอบถามจะถูกตรวจวัด โดยข้อมูลประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศ (t_a) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (RH) อุณหภูมิโกลบ (t_g) และความเร็วลม (V_a) เครื่องมือวัดที่ใช้เป็นชนิดสำหรับการใช้งานนอกพื้นที่ ความแม่นยำของอุปกรณ์มีดังนี้ อุณหภูมิอากาศ $\pm 0.3^\circ\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลม $\pm 3.0\%$ และอุณหภูมิโกลบ $\pm 0.2^\circ\text{C}$ ผลของการวัดค่าเหล่านี้จะใช้ประกอบการวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลจากแบบสอบถาม

3.3.2 ผลการสำรวจ

ในหัวข้อนี้แสดงผลสำรวจและการวิเคราะห์ โดยเปรียบเทียบกับความสบายตามมาตรฐาน ANSI/ASHRAE 55-1992 และ ISO 7730

3.3.2.1 อาคารที่สำรวจ

อาคารที่สำรวจเป็นอาคารปรับอากาศในสถาบันการศึกษา (สถาบัน TNI และ มจร.) อาคารของ มจร. ทั้งหมดก่อสร้างมาแล้วกว่า 15 ปี ผนังภายนอกเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนสองด้าน ผิวผนังภายนอกทาสีอ่อน หน้าต่างทั้งหมดมีการบังเงาจากรังสีอาทิตย์ อุปกรณ์บังแดดภายในเป็นมู่ลี่ลูมิเนียมหรือผ้ามา่าน ห้องทั้งหมดปรับอากาศด้วยเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน สำหรับห้องที่ทำการสำรวจส่วนใหญ่มีผนังภายนอกเพียงด้านเดียว

3.3.2.2 ชุดข้อมูลจากการสำรวจ

การสำรวจนี้ได้ชุดตัวอย่างจำนวน 175 ชุด จากผู้ถูกสอบถาม 123 คน ทั้งหมดเป็นคนไทยซึ่งคุ้นชินกับภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ตารางที่ 3.10 แสดงข้อมูลอายุและการสวมเสื้อผ้าของผู้ที่ถูกสำรวจ

ตารางที่ 3.10 อายุและการสวมเสื้อผ้าของผู้ที่ถูกสำรวจ

ข้อมูล		เพศชาย	เพศหญิง	รวม
อายุ (ปี)	20-25	108	30	138
	25-30	2	4	6
	30-35	4	9	13
	35-40	3	9	12
	>40	1	5	6
	รวม	118	57	175
ความเป็นฉนวน ของเสื้อผ้า (clo)	ค่าเฉลี่ย	0.60	0.51	0.57
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.06	0.12	0.09
	ค่าสูงสุด	0.63	0.79	0.79
	ค่าต่ำสุด	0.42	0.29	0.29

จากตาราง ตัวอย่างที่สำรวจได้ครอบคลุมคนตั้งแต่อายุน้อยกว่า 20 ปีกระทั่งมากกว่า 40 ปี อย่างไรก็ตาม กว่าร้อยละ 85 เป็นนักศึกษาที่มีอายุระหว่าง 20-25 ปี นอกจากนี้กว่าร้อยละ 67 เป็นเพศชาย

3.3.2.3 ความเป็นฉนวนของเครื่องแต่งกาย

ลักษณะการแต่งกายของผู้ถูกสอบถามมีการเก็บรวบรวมเพื่อคำนวณค่าความเป็นฉนวนของเครื่องแต่งกาย โดยอิงข้อมูลตามที่แสดงในมาตรฐาน ANSI/ASHRAE 55-1992 จากผลการคำนวณในตารางที่ 3.10 จะสังเกตได้ว่าค่าเฉลี่ยของความเป็นฉนวนของเครื่องแต่งกายสำหรับเพศชายเท่ากับ 0.60 และสำหรับเพศหญิงเท่ากับ 0.51 ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.06 สำหรับเพศชายซึ่งค่อนข้างต่ำ เนื่องจากนักศึกษาส่วนใหญ่แต่งชุดฟอร์ม

นักศึกษาระหว่างอยู่ที่สถาบันการศึกษา สำหรับเพศหญิง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเป็นฉนวนของเครื่องแต่งกายสูงกว่าของเพศชายเนื่องจากการแต่งกายที่หลากหลายกว่า

3.3.2.4 สภาวะอากาศในอาคารและความสบายอุณหภูมิ

ในระหว่างสำรวจมีการตรวจวัดสภาวะอากาศในห้องปรับอากาศ การวัดนี้ประกอบด้วยข้อมูลอุณหภูมิอากาศ (t_a) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (RH) อุณหภูมิควบแน่น (t_{dp}) และอุณหภูมิโกลบ (t_g) รวมถึงความเร็วลมรอบตัวผู้ถูกสอบถาม สำหรับข้อมูลอื่นๆ ได้แก่ อุณหภูมิแผ่รังสี และอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ ซึ่งจะจากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลตรวจวัดจริง

เพื่อประเมินความรู้สึกสบายของผู้ถูกสอบถามตามมาตรฐาน ASHRAE standard 55 ค่า PMV และ PPD จะถูกคำนวณโดยแบบจำลองของ Fanger และเนื่องจากการสำรวจนี้มุ่งเฉพาะผู้ทำงานในสำนักงานและนักศึกษาในห้องเรียน จึงกำหนดให้ค่าอัตราเมตาโบลิซึมของทุกคนให้เท่ากับ 1.2 met หรือ 69.8 W/m² สำหรับตารางที่ 3.11 แสดงค่าสถิติที่เกี่ยวข้องกับความสบายอุณหภูมิ

ตารางที่ 3.11 ค่าสถิติของสภาวะแวดล้อมภายในอาคารและการทำนายความสบายอุณหภูมิ
ตาม ASHRAE standard 55

ตัวสถิติ	อุณหภูมิอากาศ (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิ ควบแน่น (°C)	อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (°C)	อุณหภูมิแผ่รังสี (°C)	ดัชนีความสบาย	
						PMV	PPD
ค่าเฉลี่ย	26.0	51.2	15.2	26.1	26.1	0.51	12.38
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.9	3.4	1.4	0.8	0.8	0.31	5.57
ค่าสูงสุด	27.7	68.6	19.6	27.8	27.8	1.06	28.99
ค่าต่ำสุด	23.4	33.9	7.5	23.6	23.6	-0.46	5.00

จากตารางที่ 3.11 จะพบว่าค่าตรวจวัดของอุณหภูมิอากาศอยู่ระหว่าง 22°C ถึง 28°C โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 26.0°C ค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 48.7% ถึง 70% อุณหภูมิโอเปอเรทีฟมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.1°C สูงกว่าอุณหภูมิอากาศเล็กน้อย ค่าเฉลี่ยของความเร็วลมประมาณ 0.03 m/s และผลคำนวณค่าดัชนีความสบาย PMV เท่ากับ 0.51 ซึ่งแสดงว่าคนรู้สึกค่อนข้างอุ่น (อิงตามมาตรฐาน ASHRAE 55)

3.3.2.5 ความรู้สึกสบายอุณหภูมิ (Actual Mean Vote: AMV)

ความรู้สึกสบายของผู้ถูกสอบถามได้ถูกประเมินตามระดับสเกลที่แสดงในตารางที่ 3.9 ภายใต้สภาวะที่แสดงในตารางที่ 3.11 ผลการประเมินจากแบบสอบถามสามารถแสดงได้ดังในตารางที่ 3.12

จากตารางที่ 3.12 จะเห็นว่าดัชนี AMV มีค่าเฉลี่ย -0.11 ซึ่งแสดงว่ารู้สึกเย็นเล็กน้อย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ AMV เท่ากับ 1.09 โดยมีค่าสูงสุด +3 ซึ่งเป็นระดับความรู้สึก “ร้อน” และมีค่าต่ำสุด -3 ซึ่งเป็นระดับความรู้สึก “หนาว”

ตารางที่ 3.12 ค่าสถิติของดัชนีความสบายอุณหภูมิจากแบบสอบถาม

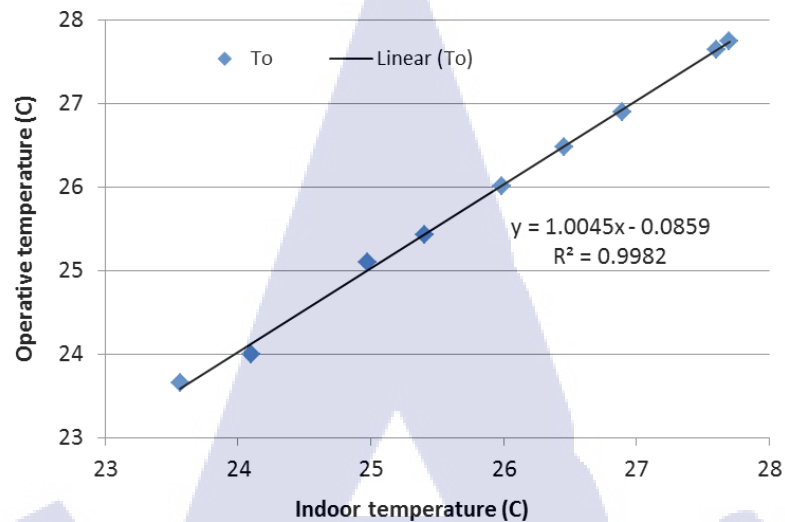
ตัวสถิติ	Actual mean vote	คะแนนโหวตการยอมรับ			คะแนนโหวตความชอบ		
		อุณหภูมิ	ความเร็วลม	ความชื้น	อุณหภูมิ	ความเร็วลม	ความชื้น
ค่าเฉลี่ย	-0.11	2.29	0.03	-0.07	0.01	0.14	0.13
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.09	0.55	1.04	0.74	0.74	0.67	0.60
ค่าสูงสุด	3	3	2	2	1	1	1
ค่าต่ำสุด	-3	1	-3	-2	-1	-1	-1

ข้อมูลการสำรวจการโหวตความสบายอุณหภูมิจากแบบสอบถาม 175 ข้อมูลได้ถูกนำมาแจกแจงเป็นกลุ่มย่อยตามค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟเป็นช่วงๆ ช่วงละ 0.5°C ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 การกระจายของจำนวนการโหวตความรู้สึกตามสเกล ASHRAE ของผู้ถูกสอบถาม

อุณหภูมิอากาศ	อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ	จำนวนการตอบความรู้สึกภายใต้สเกล ASHRAE							จำนวนการตอบสะสม	จำนวนผู้ยอมรับ	จำนวนผู้รู้สึกเป็นกลาง
		-3	-2	-1	0	+1	+2	+3			
23.57	23.65	1	3	0	2				3.4	33.3	33.3
24.10	24.00	1	0	0	1				4.6	50.0	50.0
24.98	25.10		7	4	7	1			15.4	63.2	36.8
25.41	25.44		6	11	11				31.4	78.6	39.3
25.99	26.01		2	15	21	5	5		58.9	85.4	43.8
26.45	26.48				24	10	7		82.3	82.9	58.5
26.90	26.90				5	11	4	2	94.9	72.7	22.7
27.60	27.65					1	3		97.1	25.0	0.0
27.70	27.75					2	3		100.0	40.0	0.0
รวม		2	18	30	71	30	22	2			
%		1.1	10.3	17.1	40.6	17.1	12.6	1.1	100.00	74.9	40.6

ผลจากตารางที่ 3.13 ค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟสูงกว่าอุณหภูมิอากาศไม่มาก แสดงให้เห็นว่าอิทธิพลจากอุณหภูมิแผ่รังสีมีไม่สูงนัก ซึ่งน่าจะเป็นผลจากอาคารที่มีการบังแดดจากหน้าต่าง และห้องมีการปรับอากาศมาเป็นเวลานาน และผนังได้ซับความเย็นเอาไว้ รูปที่ 3.25 แสดงความสัมพันธ์ของค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟและอุณหภูมิอากาศจากการสำรวจ

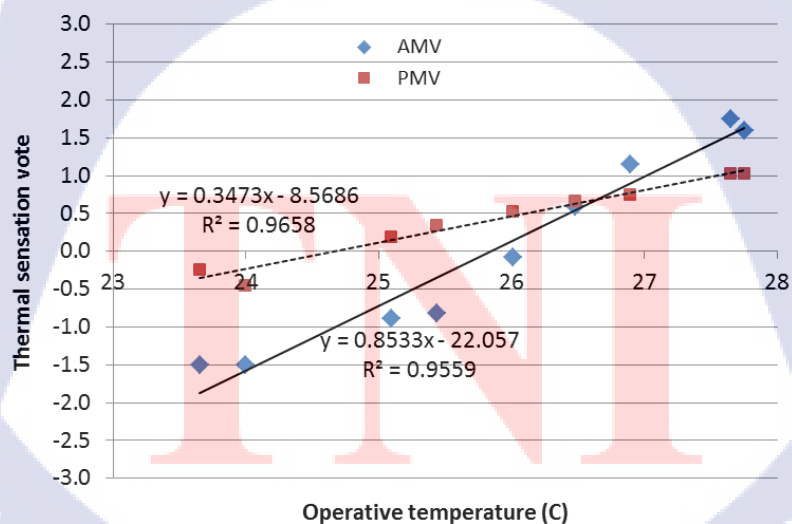


รูปที่ 3.25 ความสัมพันธ์ของค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟและอุณหภูมิอากาศจากการสำรวจ

ในขั้นตอนหนึ่งของการวิเคราะห์ความรู้สึกสบายของผู้ถูกสอบถาม ค่าเฉลี่ย AMV ได้ถูกนำมาพลอตแสดงความสัมพันธ์กับค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.26 จากรูปแสดงให้เห็นว่ามีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นตรง โดยความสัมพันธ์แสดงได้ด้วยสมการ

$$AMV = 0.853 t_o - 22.057 \quad (3.16)$$

และจากสมการความสัมพันธ์ ค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่เป็นกลาง (Neutral temperature: t_n) ซึ่งผู้ถูกสอบถามรู้สึกสบายไม่ร้อนและไม่หนาว คือ 25.9°C .



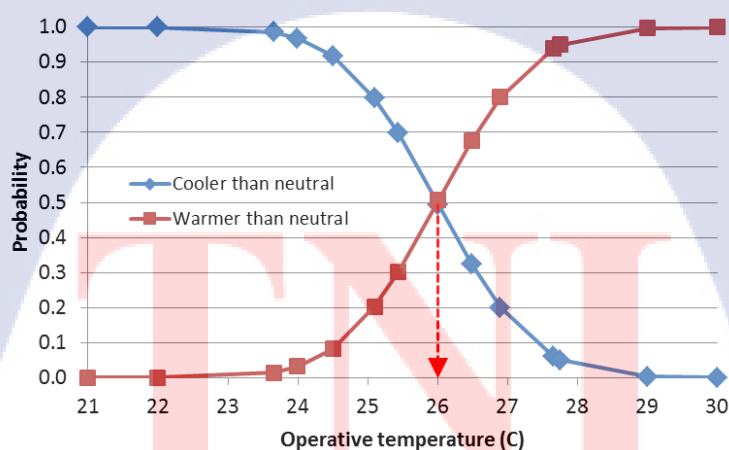
รูปที่ 3.26 การคำนวณค่า AMV และ PMV ที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ

ในรูปที่ 3.26 ยังแสดงการพลอตค่าเฉลี่ยของ PMV กับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ ซึ่งได้ความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นตรงเช่นกัน อย่างไรก็ตาม ค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่เป็นกลางเท่ากับ 24.7°C ต่ำกว่ากรณีของ AMV ที่ได้จากการสอบถาม 1.2°C

นอกจากนี้ยังเห็นได้ว่า ค่าความชื้นของความสัมพันธ์ระหว่าง PMV และอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ ต่ำกว่าความชื้นของความสัมพันธ์ระหว่าง AMV และอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ ดังนั้น ผลคำนวณจากแบบจำลอง PMV ทำนายความรู้สึกสบายอุณหภูมิของผู้ถูกสอบถามต่ำกว่าความเป็นจริงทั้งด้านความรู้สึกเย็นและความรู้สึกร้อน

สำหรับการวิเคราะห์ในส่วนถัดไป ข้อมูลโหวตความรู้สึกสบายซึ่งถูกแจกจ่ายต่างช่วงของอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ จะถูกนำมาคำนวณเป็นร้อยละของผู้โหวต “ร้อนกว่าความรู้สึกสบาย” (ASHRAE scales +1, +2 และ +3) และ “เย็นกว่าความรู้สึกสบาย” (ASHRAE scales -1, -2 และ -3) โดยจำนวนโหวตของความรู้สึกสบาย (ASHRAE scales 0) จะถูกแบ่งอย่างละครึ่งให้กับ “ร้อนกว่าความรู้สึกสบาย” และ “เย็นกว่าความรู้สึกสบาย” โดยรูปที่ 5.7 แสดงการพลอตของผลการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองโพรบิต “the maximum likelihood probit model” ของการโหวต “ร้อนกว่าความรู้สึกสบาย” และการโหวต “เย็นกว่าความรู้สึกสบาย” กับค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ (t_o)

ประโยชน์จากการวิเคราะห์โพรบิตนี้ คือ การกำหนดอุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่ตรงกับความรู้สึกสบายที่เป็นกลาง ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยค่าอุณหภูมิที่สอดคล้องกับร้อยละ 50 ของการตอบสนองในแบบจำลองโพรบิต โดยจากรูปจะเห็นว่าจุดตัดของเส้นกราฟความสัมพันธ์ “ร้อนกว่าความรู้สึกสบาย” และ “เย็นกว่าความรู้สึกสบาย” อยู่ที่อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ 26.0°C ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ข้างต้นที่แสดงว่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่ตรงกับความรู้สึกสบาย คือ 25.9°C .



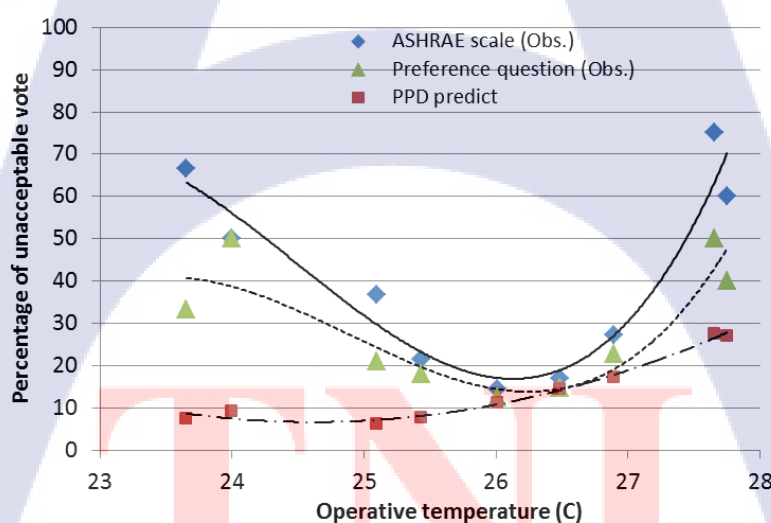
รูปที่ 3.27 การพลอตโพรบิตการโหวต “ร้อนกว่าความรู้สึกสบาย” และ “เย็นกว่าความรู้สึกสบาย” กับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ

3.3.3 การยอมรับต่อสภาวะสบายอุณหภูมิ

จากคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามสามารถนำมาวิเคราะห์การยอมรับต่อสภาวะสบายอุณหภูมิของผู้ถูกสำรวจได้ ทั้งนี้การยอมรับต่อสภาวะสบายอุณหภูมิอาจประเมินจาก 3 วิธีด้วยกัน

วิธีแรกเป็นการประเมินโดยใช้ผลโหวตของ AMV บนสเกล ASHRAE วิธีนี้สมมติว่าผู้ถูกสอบถามยอมรับต่อสภาวะสบายเมื่อโหวตความรู้สึกว่า “เย็นเล็กน้อย: -1” หรือ “รู้สึกสบาย: 0” หรือ “ร้อนเล็กน้อย +1” ผู้ที่โหวตความรู้สึกนอกเหนือค่าในช่วงกลางนี้ (หนาว: -3, เย็น: -2, อุณหภูมิ: +2, ร้อน: +3) ถือว่าไม่ยอมรับสภาวะสบายภายในห้องปรับอากาศ

ผลการประเมินนี้สามารถแสดงได้ด้วยเส้นกราฟในรูปที่ 3.28 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์เป็นร้อยละของ “การโหวตไม่ยอมรับสภาวะสบาย” ที่อุณหภูมิโอเพอเรทีฟต่างๆ สำหรับผลประเมินตามวิธีแรกแสดงได้ด้วยเส้นกราฟ ASHRAE scale (Obs.) จะเห็นว่าที่อุณหภูมิโอเพอเรทีฟ 26°C มีจำนวนผู้ที่ไม่ยอมรับน้อยที่สุด ซึ่งเท่ากับร้อยละ 18 และร้อยละของการไม่ยอมรับจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิโอเพอเรทีฟห่างออกไปจากอุณหภูมิ 26°C ไม่ว่าทางด้านเย็นลงหรือร้อนขึ้น เส้นกราฟยังแสดงให้เห็นว่าอัตราการไม่ยอมรับเพิ่มขึ้นรวดเร็วสำหรับกรณีที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเทียบกับกรณีที่อุณหภูมิลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะคนที่อยู่ในเขตร้อนมีความต้องการที่จะอยู่ในสภาวะค่อนข้างเย็นมากกว่าสภาวะค่อนข้างร้อน



รูปที่ 3.28 การยอมรับของสภาพสบายอุณหภูมิกับอุณหภูมิโอเพอเรทีฟ

สำหรับวิธีที่ 2 ที่ใช้ประเมินการยอมรับต่อสภาวะสบายอุณหภูมิในอาคารสามารถทำได้ด้วยการตั้งคำถามโดยตรงกับผู้ถูกสำรวจ โดยตั้งคำถามว่า “ท่านยอมรับสภาวะสบายอุณหภูมิในอาคาร ณ ขณะนี้หรือไม่?” ซึ่งคำถามนี้ปรากฏในแบบสอบถามที่จัดทำขึ้นด้วยเช่นกัน ผู้ถูกสอบถามจะตอบว่า “ยอมรับ” หรือ “ไม่ยอมรับ” ซึ่งการยอมรับได้สื่อถึงผู้ถูกสอบถามต้องรู้สึกสบายเพียงพอที่จะอยู่ในห้องปรับอากาศได้อย่างต่อเนื่อง ผลการประเมินการยอมรับจากวิธีที่ 2 นี้แสดงไว้ในรูปที่ 3.28 ด้วยเช่นกัน โดยแสดงด้วยเส้นกราฟ “Acceptance question (Obs.)” จากเส้นกราฟแสดงให้เห็นว่า การยอมรับสภาวะสบายอุณหภูมิอยู่ในช่วงระหว่าง 26.0-26.5°C สูงกว่าการประเมินด้วย

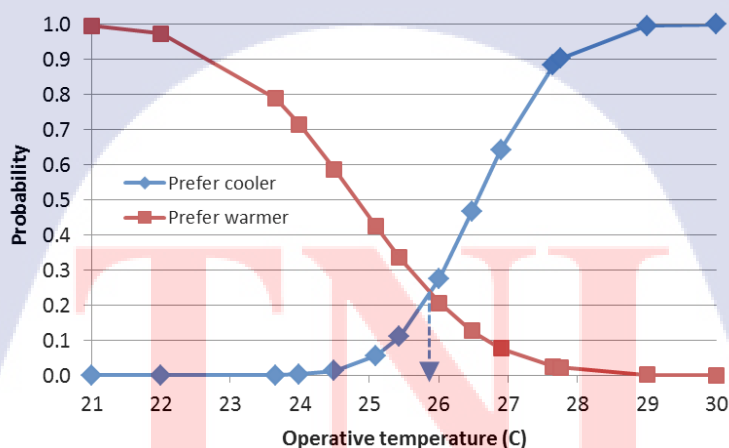
วิธีแรก ร้อยละของการไม่ยอมรับต่ำกว่าในทุกช่วงอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ ทั้งนี้จะเป็นเพราะลักษณะของการถามหรือการตั้งคำถาม ซึ่งผู้ตอบพยายามตอบในเชิงบวกทำให้ได้ค่าอุณหภูมิความสบายที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ยังพบลักษณะของแนวโน้มเช่นเดียวกับวิธีแรกที่อัตราการไม่ยอมรับต่อสภาพแวดล้อมสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นรวดเร็วเท่ากับกรณีที่อุณหภูมิลดลง

จากกราฟที่แสดงผลประเมินจากทั้งสองวิธี ยังสื่อให้เห็นว่าไม่ว่าที่อุณหภูมิใดๆ ก็ไม่สามารถทำให้ทุกคนพอใจได้ แม้ที่ค่าอุณหภูมิที่ผู้ถูกสอบถามบอกว่าสบายที่สุด ก็ยังมีผู้ที่ไม่ยอมรับค่าอุณหภูมินี้กว่าร้อยละ 15 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดตาม ASHRAE standard 55 ที่ระบุว่าช่วงอุณหภูมิสบาย จำนวนของผู้ไม่ยอมรับจะไม่เกินร้อยละ 10

สำหรับเส้นกราฟที่ 3 ซึ่งแสดงบนรูปที่ 3.28 เป็นการประเมินร้อยละของการไม่ยอมรับจากการคำนวณดัชนี PPD ซึ่งค่า PPD นี้จะหาได้ก็ต่อเมื่อทราบค่า PMV จากแบบจำลองคณิตศาสตร์ของ Fanger ผลการประเมินแสดงให้เห็นว่าไม่มีความสอดคล้องกับผลการสำรวจจริง

3.3.3.1 ความชอบที่ต้องการเปลี่ยนสภาพสบายอุณหภูมิจำลอง

แบบสอบถามได้ตั้งคำถามเกี่ยวกับความชอบที่ต้องการเปลี่ยนสภาพสบายอุณหภูมิจากที่เป็นอยู่ โดยเป็นคำถามจะถามผู้ถูกสำรวจว่าต้องการหรืออยากให้สภาพในห้องที่เป็นอยู่ “เย็นลง”, “ไม่เปลี่ยนแปลง” หรือ “ร้อนขึ้น” ซึ่งข้อมูลที่ได้จากคำถามนี้จะถูกนำมาแจกตามอุณหภูมิโอเปอเรทีฟเป็นช่วงๆ ช่วงละ 0.5°C เพื่อคำนวณเป็นร้อยละของความชอบที่ต้องการที่อยากเปลี่ยนสภาวะปัจจุบันให้ “เย็นลง”, “ไม่เปลี่ยนแปลง” หรือ “ร้อนขึ้น”



รูปที่ 3.29 การพลอตโพรบิตของการโหวต “อยากให้เย็นลง” และ “อยากให้ร้อนขึ้น” กับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ

รูปที่ 3.29 แสดงกราฟโพรบิตโมเดลของความเป็นไปได้ที่คนต้องการหรืออยากให้อากาศเย็นลงหรือร้อนขึ้นที่อุณหภูมิโอเปอเรทีฟต่างๆ จากรูปจะเห็นว่าที่อุณหภูมิต่ำ เช่น 21°C ความเป็นไปได้ที่คนอยากให้อุณหภูมิสูงขึ้นคิดเป็นร้อยละ 100 จากนั้นลดลงตามลำดับตามค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้น ในขณะเดียวกัน ที่อุณหภูมิสูง เช่น 30°C ความเป็นไปได้ที่คนอยากให้อุณหภูมิลดลงคิดเป็นร้อยละ 100 และลดลงตามลำดับเมื่ออุณหภูมิต่ำลง

จากเส้นกราฟทั้งสองจะได้จุดตัดซึ่งความอยากที่จะทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิลดลงเท่ากัน ซึ่งจะตรงกับอุณหภูมิประมาณ 25.9°C ผลที่ได้จากการนี้สอดคล้องกับการวิเคราะห์ที่ผ่านมาข้างต้นด้วยเช่นกันแม้จะใช้วิธีการตั้งคำถามที่ต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่ากราฟโพธิ์ทั้งสองเส้นมีค่าการเปลี่ยนแปลงความความเป็นไปได้ต่างกัน (ความชันต่างกัน) โดยเส้นกราฟที่ต้องการให้อุ่นขึ้นที่อุณหภูมิต่ำมีความชันน้อยกว่าเส้นกราฟที่ต้องการให้เย็นลงที่อุณหภูมิสูงสะท้อนให้เห็นว่าคนในเขตร้อนอยากอยู่ในห้องปรับอากาศที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิสูง

3.3.3.2 การเคลื่อนไหลของอากาศ

ในการสำรวจนี้ได้มีการสำรวจความพึงพอใจต่อการไหลของอากาศในพื้นที่ปรับอากาศ จากการวัดความเร็วลมของอากาศในห้องปรับอากาศพบว่าเกือบทั้งหมดมีความเร็วลมโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.03 m/s บริเวณที่มีความเร็วลมสูงกว่ามักพบเฉพาะบริเวณใกล้เครื่องส่งลมเย็นหรือที่ลมเย็นตก

ในการประเมินความพึงพอใจต่อการไหลของอากาศในห้องปรับอากาศได้พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของคนเป็นร้อยละที่ต้องการให้มีปริมาณลมผ่านตัวสูงขึ้นเทียบกับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ จากรูปที่ 3.30 จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นผู้ถูกสำรวจต้องการให้มีการเคลื่อนของลมผ่านตัวมากขึ้นเพื่อให้เกิดความรู้สึกสบาย และที่อุณหภูมิโอเปอเรทีฟ 26.0°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิเป็นกลาง จำนวนผู้ที่ยังต้องการให้มีลมผ่านตัวมีประมาณร้อยละ 25

3.3.3.3 ความชื้นของอากาศ

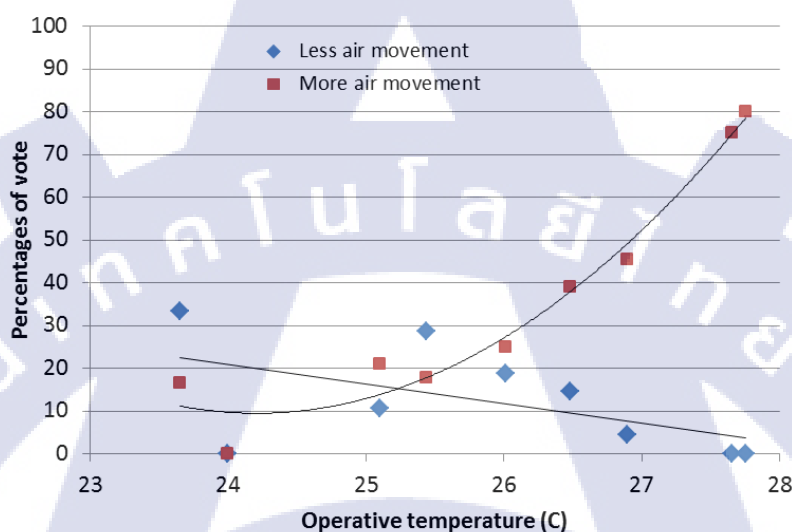
ความชื้นของอากาศในพื้นที่ปรับอากาศเป็นตัวแปรที่มีการตรวจวัดและตั้งคำถามเพื่อวิเคราะห์หาค่าที่ต่อความรู้สึกสบายของอุณหภูมิ จากในรูปที่ 9 ผลการสำรวจแสดงให้เห็นว่าค่าอุณหภูมิควบแน่นในห้องปรับอากาศอยู่ระหว่าง $13.0-17.5^{\circ}\text{C}$ ซึ่งสอดคล้องกับความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 48-70% โดยมีค่าเฉลี่ยในช่วง 55-60% อย่างไรก็ตามเนื่องจากพื้นที่สำรวจเป็นห้องปรับอากาศ ค่าเบี่ยงเบนของความชื้นอากาศจึงมีไม่มาก

ในแบบสอบถามของการสำรวจ ได้มีการตั้งคำถามว่า “ท่านรู้สึกอย่างไรกับความชื้นของอากาศในห้อง ณ ขณะนี้” และ “ท่านต้องการให้อากาศในห้องมีความชื้นเพิ่มขึ้นหรือลดลง” ผลจากการสอบถามพบว่าผู้ถูกสำรวจมีความพึงพอใจต่อความชื้นของอากาศในช่วงที่กว้างมาก และไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างความต้องการให้อากาศชื้นมากขึ้นหรือลดลงกับอุณหภูมิควบแน่น (หรือความชื้นอากาศ) ดังแสดงในรูปที่ 3.31

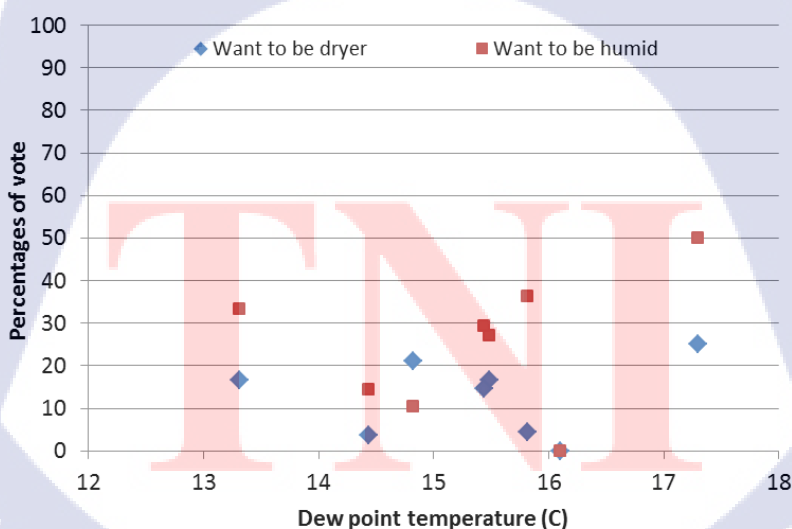
3.3.3.4 วิเคราะห์ผลการสำรวจ

จากการสำรวจความสบายของคนไทยในห้องปรับอากาศ พบว่าค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่ทำให้คนไทยรู้สึกสบายแบบเป็นกลางคือไม่ร้อนและไม่เย็นเท่ากับ 26°C ด้วยค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟนี้ หากอุณหภูมิแผ่รังสีของห้องมีค่าสูงกว่า 26°C อุณหภูมิของอากาศในห้องจะต้องต่ำกว่า 26°C และในทางกลับกันหากอุณหภูมิแผ่รังสีของห้องมีค่าต่ำกว่า 26°C คนในห้องสามารถรู้สึกสบายได้ที่อุณหภูมิอากาศสูงขึ้น จากการสำรวจพบว่าค่าอุณหภูมิแผ่รังสีของห้องมีค่าใกล้เคียงกันอุณหภูมิแผ่รังสีเนื่องจากอาคารมีการบังแดดที่ดี คนในห้องจึงรู้สึกสบายที่อุณหภูมิอากาศ 26°C

เมื่อเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟจากการสำรวจที่ทำให้คนไทยรู้สึกสบายกับค่าอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณตามมาตรฐาน ASHRAE 55 พบว่าคนไทยมีอุณหภูมิที่รู้สึกสบายสูงกว่ามาตรฐานประมาณ 1.2°C และหากเทียบกับคำแนะนำของอุณหภูมิอากาศเพื่อความสบายสำหรับการออกแบบระบบปรับอากาศตามมาตรฐานการปรับอากาศและการระบายอากาศของประเทศไทยที่กำหนดไว้ที่ 25°C รวมถึงการตั้งค่าเทอร์โมสตัทในห้องปรับอากาศที่ 25°C ทำให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะปรับให้อุณหภูมิอากาศในห้องสูงขึ้นเป็น 26°C เพื่อลดการใช้พลังงานในการปรับอากาศและเพิ่มความเร็วลมในพื้นที่ปรับอากาศเพิ่มเพื่อให้คนไทยรู้สึกสบายโดยไม่มีความไม่พึงพอใจต่อปริมาณลมที่สูงขึ้น



รูปที่ 3.30 โหวตเป็นร้อยละของคนที่ต้องการให้มีลมผ่านตัวสูงขึ้นกับอุณหภูมิโอเปอเรทีฟ



รูปที่ 3.31 การพลอตโพรบิตของการโหวต “ร้อนกว่าความรู้สึกสบาย” และการโหวต “เย็นกว่าความรู้สึกสบาย”

3.4 การประเมินศักยภาพการจัดการพลังงานในระบบปรับอากาศของอาคารเรียน C ณ สถาบัน TNI

จากที่ได้ทำการทดสอบวัดค่าสภาวะอากาศ และประเมินสภาวะความน่าสบายของห้องเรียนบริเวณชั้น 4 ของอาคาร C แล้ว ดังได้กล่าวไว้ข้างต้น หากสามารถปรับอุณหภูมิอากาศปรับอากาศขึ้นเป็น 26 °C และควบคุมไม่ให้ผู้มีการปรับอุณหภูมิเองได้เช่นเดิม ก็จะสามารถลดการใช้พลังงานในการปรับอากาศลงได้ และอีกมาตรการที่ควรทำร่วมกัน คือ การเพิ่มความเร็วลมในพื้นที่ปรับอากาศขึ้น โดยมีการปรับกริลของหัวจ่ายลมที่คอยล์เย็นและตรวจวัดความเร็วลมที่ตำแหน่งต่างๆ โดยแบ่งกริดภายในห้อง และตรวจสอบโดยเฉพาะตำแหน่งที่มีผู้ใช้งานพื้นที่นั้น จากนั้นตรวจสอบสภาวะน่าสบายโดยการคำนวณค่า PMV และ PPD อีกครั้ง เพื่อคาดการณ์ว่าคนที่ใช้ห้องเรียนรู้สึกสบาย โดยยังคงพึงพอใจต่อปริมาณลมที่สูงขึ้น การปรับอุณหภูมิและความเร็วลมนี้เป็นแนวทางในการจัดการใช้พลังงานในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนของอาคารเรียน C โดยไม่ใช้งบประมาณหรือเงินลงทุนแต่อย่างใด และที่คาดว่าจะประหยัดพลังงานลงได้ร้อยละ 5 – 10

สำหรับมาตรการที่ต้องการเงินลงทุนเพิ่ม อาทิ การเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเป็นแบบอินเวอร์เตอร์ก็จะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ถึงร้อยละ 20 ในขณะที่ต้องใช้เงินลงทุนเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 20 - 25 และคาดการณ์ว่าผลการประหยัดพลังงานจะทำให้มีระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 1 ปี

3.5 เอกสารอ้างอิง

- [1] ThaiEasyElec, Download from <http://www.thaieasyelec.com/article-wiki/basic-electronics/>
- [2] Electoyou, Download from <http://www.elec2you.com/product/74/dht11>
- [3] Oddwires, Download from <http://www.oddwires.com/using-a-dht11-to-measure-temperature-and-humidity/>
- [4] ARMmbed, Download from <https://developer.mbed.org/cookbook/SHT15>
- [5] P.M. Ferreira, A.E. Ruanoa, S. Silva, E.Z.E. Conceicao. (2012). Neural networks based predictive control for thermal comfort and energy savings in public buildings. Energy and Buildings, 55, 238 – 251.
- [6] American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy,” ANSI/ASRAE Standard 55 – 1992, ASHRAE, Atlanta, 1992.
- [7] Meysam Karamirada, Mahmoud Omida, Reza Alimardania, Hossein Mousazadeha, Seyyed Navid Heidari . (2013). ANN based simulation and experimental verification of analytical four – and five – parameters models of PV modules. Simulation Modelling Practice and Theory, 34, 86 – 98.1751-1757.
- [8] T. Kazanasmaz, M. Gunaydin, S. Binol. (2009). Artificial neural networks to predict daylight illuminance in office building. Building and Environment, 44, 1751-1757.

- [9] Maria Anna Nico, Stefania Liuzzi, and Pietro Stefanizzi, "Evaluation of thermal comfort in university classrooms through objective approach and subjective preference analysis", *Applied Ergonomics*, Vol. 48 (2015), pp. 111-120.
- [10] A.I. Dounis*, C. Caraiscos .(2009). Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 1246 – 1261.
- [11] A.A. Argiriou, I. Bellas – Velidis, C.A. Balaras (2000). Development of a neural network heating controller for solar buildings. *Neural Networks*, 13, 811 – 820.
- [12] Wai Leung Tse and Wei Lok Chun (2008), "A Distributed Sensor network for Measurement of Human Thermal Comfort Feelings", *Sensors and Actuators*, A.144, pp.394-402.
- [13] ASHRAE Handbook Chapter 8, Thermal Comfort, Typical Insulation and Permeation Efficiency Values for Clothing Ensembles.
- [14] T. Songuppakarn, W. Wongsuwan, and W. San-um (2014), "Artificial Neural Networks Based Prediction for Thermal Comfort in an Academic Classroom", *International Conference and Utility Exhibition on Green Energy for Sustainable Development (ICUE 2014)*, 19-21 March 2014, the Jomtien Palm Beach Hotel and Resort, Pattaya City, Thailand.
- [15] M. Fountain and C. Huizenga, "A Thermal Sensation Model for use by the Engineering Profession Results of Cooperative Research Between the American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers", Inc. and Environmental Analytics, 1995. [Final report].

บทที่ 4

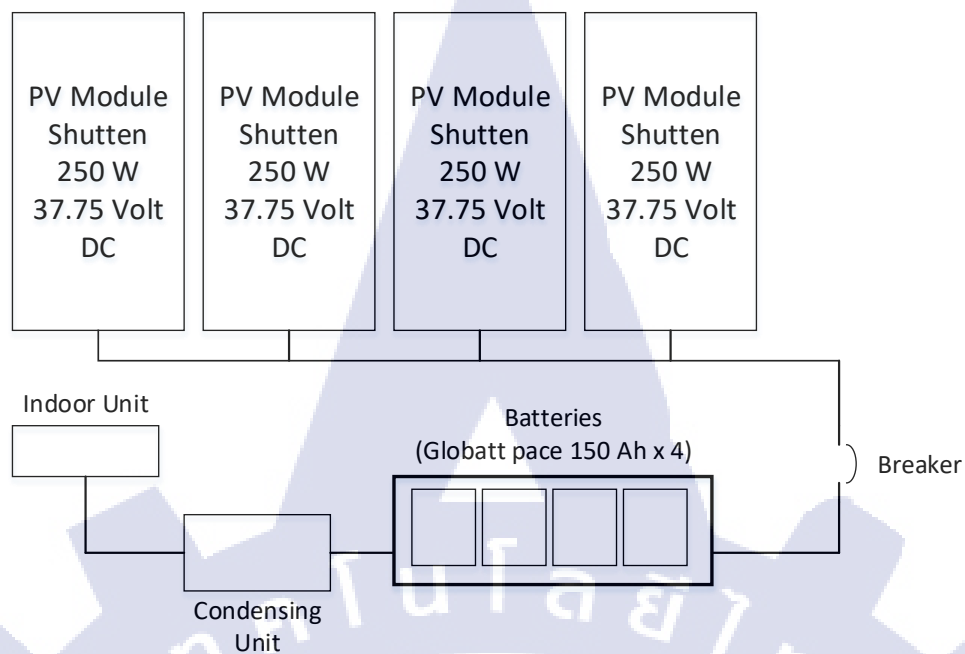
ผลวิจัยส่วนที่สอง การทดสอบระบบปรับอากาศรังสีอาทิตย์

4.1 แนวคิดการนำพลังงานรังสีอาทิตย์มาใช้กับอาคาร

งานวิจัยส่วนนี้ได้ทดสอบนำพลังงานรังสีอาทิตย์มาใช้ในการปรับอากาศในอาคาร โดยทดสอบการใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในการขับเคลื่อนระบบปรับอากาศ โดยใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ และไม่ใช้อินเวอร์เตอร์ในการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ มีการทดสอบระบบในห้องทดลองที่โรงปฏิบัติการ K และทดสอบสภาวะน่าสบาย (Thermal comfort) ของผู้ที่อยู่ภายในพื้นที่ปรับอากาศนี้

การนำระบบปรับอากาศจากรังสีอาทิตย์แบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มาใช้ภาระค่าไฟฟ้าสำหรับห้องทดสอบ โดยออกแบบระบบปรับอากาศที่ประกอบด้วยหน่วยภายในห้อง (Indoor Unit หรือ Fan coil unit) และหน่วยภายนอกห้อง (Outdoor unit หรือ Condensing unit) โดย Indoor Unit ถูกติดตั้งทดสอบในห้องทดลองที่ปรับมาจากตู้คอนเทนเนอร์ขนาด กว้าง 2.5 m (W) X ยาว 3 m (L) X สูง 2.2 m (H) ซึ่งอยู่ภายในห้อง K-105 ของโรงปฏิบัติการ K ของสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น โดยต่อไปนี้จะเรียกว่าตู้ทดสอบ (Experimental Chamber)

ภาพอย่างง่ายของระบบแสดงดังรูปที่ 4.1 โดยระบบประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline) ของ Shutten จำนวน 4 แผง กำลังไฟฟ้าแผงละ 250 W ได้ศักย์ไฟฟ้าสูงสุด 37.75 Volt DC ส่งไฟฟ้ากระแสตรงเข้าแบตเตอรี่ของ Globatt pace ขนาด 12 Volt ความจุ 150 Ah จำนวน 4 ลูก และมีการดึงไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่จ่ายให้กับคอยล์ร้อน (Condensing unit) ที่มีคอมเพรสเซอร์แบบรับไฟฟ้ากระแสตรงอยู่ใน คอยล์ร้อนนี้ติดตั้งภายนอกตู้ทดสอบแต่อยู่ภายในห้องทดสอบ K-105 ในขณะที่สารทำความเย็นจะหมุนเวียนเป็นวัฏจักรไปยังคอยล์เย็น (Indoor unit หรือ Fan coil unit) ซึ่งติดตั้งภายในตู้ทดสอบ และสามารถทำได้ อุณหภูมิภายในตู้ทดสอบจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกตู้ทดสอบที่อุณหภูมิบรรยากาศได้ การทดลองนี้ได้ติดตั้งแผงเซลล์ทั้ง 4 ที่หลังคาอาคาร K ซึ่งสูงขึ้นไปจากตู้ทดสอบประมาณ 7-8 เมตร ส่วนตู้ทดสอบดังรูปที่ 4.2 ภายในห้องทดลอง K-105 โดยมีคอยล์ร้อนติดตั้งทางด้านนอกตู้



รูปที่ 4.1 ภาพอย่างง่ายระบบปรับอากาศที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์



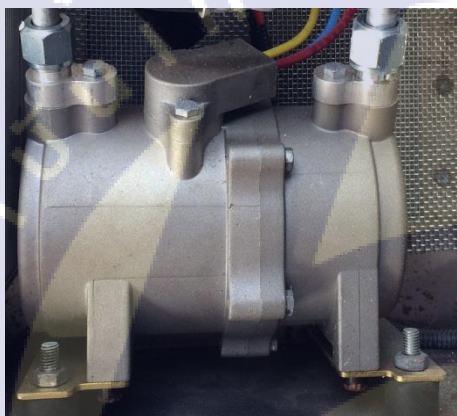
รูปที่ 4.2 ตู้ห้องทดสอบที่ห้อง K-105 โรงปฏิบัติการ K

4.2 การติดตั้งระบบทดสอบการปรับอากาศ

ระบบทดสอบทั้งหมดติดตั้งภายในห้องทดลอง K-105 ยกเว้นชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งอยู่ด้านหลังคาโรงปฏิบัติการ K บริเวณเหนือห้อง K-105 ข้อมูลรายละเอียดและภาพถ่ายอุปกรณ์ทดสอบดังต่อไปนี้

4.2.1 องค์ประกอบระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศขนาดอัตราทำความเย็น 5,700 Btu/h ต้องการไฟฟ้า 960 Watt ที่แรงดันไฟฟ้า 24 Volt โดยรับไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ภาพและข้อมูลขององค์ประกอบในระบบปรับอากาศ ดังแสดงภาพถ่ายคอมเพรสเซอร์ กล่องควบคุม คอยล์ร้อน พัดลมสำหรับคอยล์ร้อน คอยล์เย็น ชุดแบตเตอรี่ และโมเดลเซลล์แสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 4.3 – 4.11



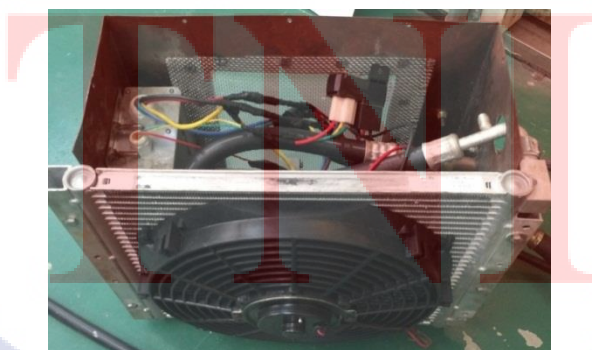
รูปที่ 4.3 คอมเพรสเซอร์สกรอลล์ชนิดไฟฟ้ากระแสตรง

24 Volt DC



รูปที่ 4.4 กล่องควบคุมคอมเพรสเซอร์ขนาด

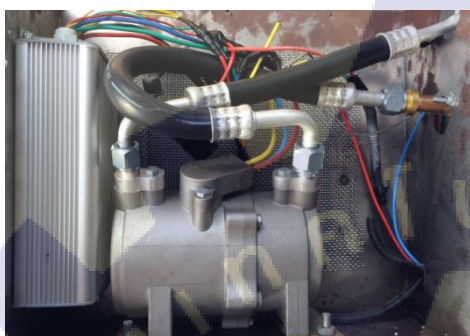
1000 Watt 24 Volt



รูปที่ 4.5 คอยล์ร้อนหรือ Condensing unit ขนาด 400(W) X 350(H) X 40(L) mm พร้อมสายท่อน้ำยาสารทำความเย็นใช้สำหรับ R-134a ยาว 4 m.



รูปที่ 4.6 พัดลมสำหรับระบายความร้อนจากคอยล์ร้อน ขนาด 12" แรงดันไฟฟ้า 24 Volt 90 Watt



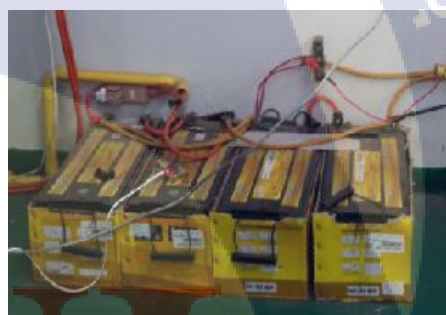
รูปที่ 4.7 คอมเพรสเซอร์และกล่องควบคุมภายในชุด
คอยล์ร้อน



รูปที่ 4.8 ภาพแสดงการชาร์จน้ำยาทำความเย็นเข้า
คอมเพรสเซอร์



รูปที่ 4.9 คอยล์เย็นที่มีขนาด
600(W) X 280(H) X 180(L) mm



รูปที่ 4.10 แบตเตอรี่ Globatt แบบ Deep Cycle
ขนาด 12 Volt 150 Ah. 4 ลูก ต่อวงจรเป็นอนุกรมและ
ขนานได้ 24 Volt สามารถสำรอง ไฟฟ้าได้ประมาณ 6
ชั่วโมง



รูปที่ 4.11 โมดูลโฟโตโวลตาอิกยี่ห้อ Schutten ขนาด 250 Watt จำนวน 4 แผง รวม 1000 Watt
แรงดันไฟสูงสุด 37.75 Volt DC

4.2.2. การเตรียมระบบทดสอบ

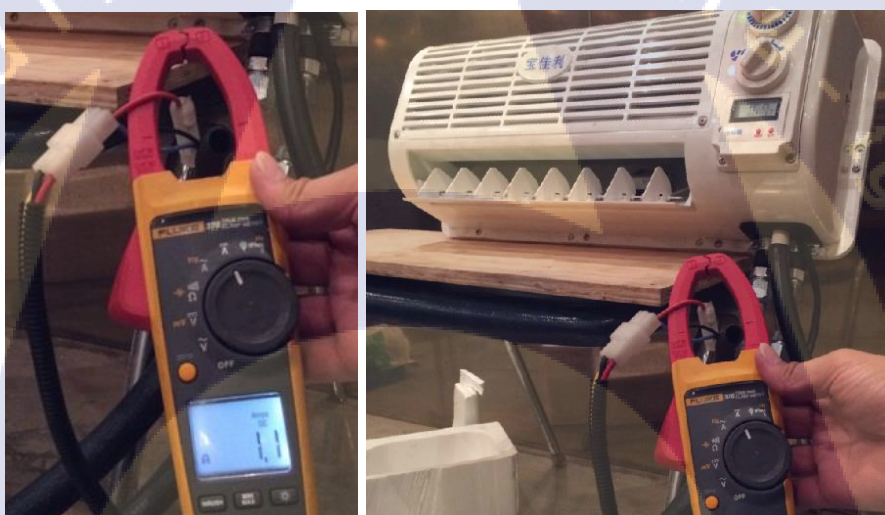
การเตรียมระบบปรับอากาศ ดำเนินการดังนี้

- 1) กำหนดคุณลักษณะจำเพาะขององค์ประกอบระบบปรับอากาศ ขนาดกำลังทำความเย็น 5,700 Btu/h ได้แก่ คอยล์ร้อน คอยล์เย็น ซึ่งสั่งซื้อจากประเทศจีนแล้วนำมาปรับปรุงให้เหมาะกับการใช้งานในประเทศไทย โดยสั่งซื้อระบบท่อสารทำความเย็นและสายไฟฟ้า
- 2) ติดตั้งองค์ประกอบระบบ
 - ก. ติดตั้งคอยล์ร้อนและคอยล์เย็นชนิดแยกส่วนในระยะที่ห่างกันไม่เกิน 4 m คอยล์เย็นติดตั้งในตู้ทดสอบ ส่วนคอยล์ร้อนวางไว้ด้านนอกตู้ทดสอบ
 - ข. คอมเพรสเซอร์เป็นชนิดสกรอลล์ (Scroll Compressor) ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงขับเคลื่อนผ่านกล่องควบคุม
 - ค. เดินสายน้ำยาทำความเย็นและสายไฟฟ้าผ่านช่องที่เจาะไว้ด้านล่างของตู้ทดสอบ โดยท่อสารทำความเย็นเป็นท่อพอลิเมอร์ชนิดเดียวกับที่ใช้ในรถยนต์
 - ง. ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าสำหรับระบายความร้อนจากคอยล์ร้อน โดยใช้พัดลมชนิดเดียวกับในรถยนต์ใช้แรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์
 - จ. อัดสารทำความเย็น R-134a เข้าสู่ระบบ โดยติดตั้งอุปกรณ์กำจัดความชื้นจากสารทำความเย็นในระบบ
 - ฉ. ติดตั้งท่อระบายคอนเดนเสทจากระบบ

- ข. ต่อระบบสายไฟฟ้าเข้ากับชุดแบตเตอรี่ขนาดแรงดัน 24 โวลต์
- ช. ติดตั้งหลอดไฟฟ้าส่องสว่างชนิดไส้ขนาด 40 W จำนวน 6 หลอด เพื่อแทนการให้ความร้อน
- ณ. ติดตั้งชุดเซนเซอร์และเครื่องมือวัด และคอมพิวเตอร์สำหรับเก็บข้อมูลจากเซนเซอร์

4.2.3. เครื่องมือวัด

เครื่องมือวัดของระบบทดสอบแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ เครื่องมือวัดที่ติดตั้งมากับคอยล์ร้อนและคอยล์เย็น และเครื่องมือวัดเพื่อเก็บค่าการทดลอง ชุดเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้ระบุไว้แล้วในตารางที่ 3.1 ในบทที่ โดยชุดเซนเซอร์ T-RH แบบ SHT15 ถูกติดตั้งกับระบบทดสอบเพื่อวัดอุณหภูมิฝั่งลมกลับเข้าสู่คอยล์เย็น นอกจากนี้ยังมีเครื่องมือวัดความดันน้ำยาสารทำความเย็น คือ เกจวัดความดัน ติดตั้งที่ทางเข้าของคอมเพรสเซอร์ เพื่อให้สามารถตรวจสอบค่าความดันสารทำความเย็น การวัดกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบปรับอากาศ ใช้มัลติมิเตอร์ของ FLUKE ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 เครื่องมือวัดมัลติมิเตอร์สำหรับวัดกระแสไฟฟ้า

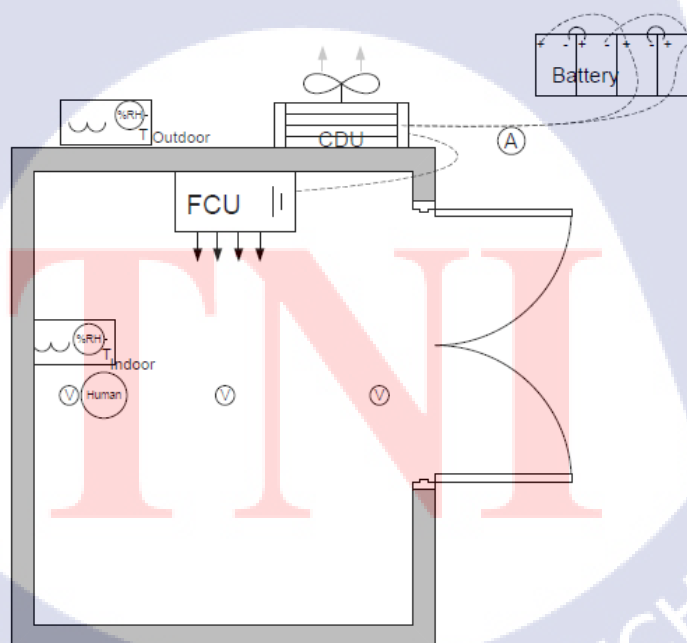
4.2.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อสภาวะนำสบายภายในตู้ทดสอบ

ปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อตู้ทดสอบ คือการให้ความร้อนจากส่วนต่างๆ อาทิ ความร้อนสะสมในผนังที่มีฉนวนของตู้ทดสอบ ภาระจากคนหรือผู้ทำการปฏิบัติงานภายในตู้ทดสอบ ภาระจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในห้องทดสอบ (อาทิ คอมพิวเตอร์, เครื่องมือวัดต่างๆ) ภาระจากหลอดไฟฟ้าที่ให้แสงสว่างภายในห้องทดสอบ ภาระจากการที่อากาศภายนอกรั่วไหลเข้ามาเมื่อเปิดประตูเข้าออกตู้ทดสอบ

4.3. ขั้นตอนการทดลอง

ตู้ทดสอบโดยขนาดปริมาตร กว้าง 2.5 m (W) X ยาว 3 m (L) X สูง 2.2 m (H) โดยคาดว่าจะปรับสภาพอุณหภูมิภายในห้องและอยู่ในช่วง 23-28 °C ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 40-60 %RH เพื่อสร้างสภาวะน่าสบายให้กับผู้อาศัยในห้อง โดยภาพผังห้อง (Floor plan) ของตู้ทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.13 ที่แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ตำแหน่งติดตั้งชุดคอยล์ร้อนและคอยล์เย็น และตำแหน่งการนั่งของผู้ทดสอบ โดยทำการทดสอบระบบปรับอากาศในคาบเวลา 3 ชั่วโมง ด้วยขั้นตอนดังนี้

- (1) เปิดระบบปรับอากาศก่อนเริ่มทดสอบประมาณ 15 นาที เพื่อให้อุณหภูมิในห้องค่อนข้างคงที่ โดยระบบรับไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ ในขณะที่แบตเตอรี่รับไฟฟ้าจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- (2) เปิดหลอดไฟฟ้าส่องสว่าง
- (3) กำหนดตัวแปรด้าน อายุ และดัชนีมวลกาย ของผู้เข้าทดสอบ และให้ผู้ทดสอบเข้านั่งประจำที่ในห้องทดสอบ และกำหนดอิริยาบถของผู้ทดสอบโดยเปลี่ยนเป็นนั่งหรือยืน โดยผู้ทดสอบจะต้องตอบแบบประเมินความสบายทุกๆ ครึ่งชั่วโมง
- (4) บันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นทุก 10 นาทีระหว่างการทดสอบ และบันทึกค่าในคอมพิวเตอร์
- (5) บันทึกค่ากระแสไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศใช้
- (6) วัดความเร็วลมเย็นจากเครื่องปรับอากาศ



รูปที่ 4.13 ผังตำแหน่งอุปกรณ์ในตู้ทดสอบ

การทดสอบระบบเบื้องต้น 2 วัน เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิที่ระบบปรับอากาศทำได้ จากนั้นทำการทดลองอีก 5 วัน ซึ่งจะมีผู้เข้าร่วมทดสอบนั่งในตู้ทดสอบ และตอบแบบสอบถามเพื่อประเมินความรู้สึกสบายของผู้อยู่ในห้องทดสอบด้วย ดังข้อมูลวันเวลาเริ่มทดสอบ อุณหภูมิขณะเริ่มทดสอบ กรณีการใช้แบตเตอรี่ที่ประจุมาแล้ว หรือกรณีการใช้หรือไม่ใช้ไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพศและอายุของผู้ทดสอบ ความเร็วลมจากเครื่องปรับอากาศ ดังข้อมูลในตารางที่ 4.1 รวมเป็นทั้งสิ้น 7 การทดลอง เวลาที่เริ่มการทดลองจะเป็นช่วงเที่ยงถึงเย็นเป็นส่วนใหญ่ เพื่อให้มั่นใจว่าแบตเตอรี่ประจุมาเต็มแล้ว และกำหนดความเร็วลมจาก FCU คงที่ เป็น 0.5 m/s ตลอดการทดลอง มีการประจุไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้แบตเตอรี่ในการทดลองที่ 4 และ 7 โดยผู้เข้าร่วมทดสอบมีอายุตั้งแต่ 26 – 62 ปี

ตารางที่ 4.1 สรุปข้อมูลสำหรับแต่ละชุดการทดลอง

การทดลองที่	วันที่	เวลาที่เริ่มทำการทดลอง	ระยะเวลาทำการทดลอง	อุณหภูมิบรรยากาศขณะเริ่มทำการทดสอบ	การทดสอบต่อเนื่องโดยไม่มีหรือมีการชาร์จแบตเตอรี่มาก่อน	เพศของผู้เข้าร่วมทดสอบ	อายุของผู้เข้าร่วมทดสอบ	ความเร็วลมเครื่องปรับอากาศ	การใช้งานแผงโซลาร์เซลล์ขณะทดสอบ
		(น.)	(hours)	(°C)					
1	29 พ.ค. 59	9.52	3	37.0	n/a	n/a	n/a	0.5	ไม่มี
2	26 มิ.ย. 59	16.58	3	33.0	n/a	n/a	n/a	0.5	ไม่มี
3	9 ก.ค. 59	16.40	3	32.3	ไม่มี	หญิง	26	0.5	ไม่มี
4	10 ก.ค. 59	14.30	3	32.5	มี	หญิง	28	0.5	มี
5	23 ก.ค. 59	11.40	3	32.0	ไม่มี	ชาย	27	0.5	ไม่มี
6	30 ก.ค. 59	12.40	3	32.1	ไม่มี	หญิง	23	0.5	ไม่มี
7	31 ก.ค. 59	16.38	3	33.4	มี	หญิง	62	0.5	มี

4.4. การวิเคราะห์ภาระของเครื่องปรับอากาศ

4.4.1. การถ่ายเทความร้อนจากผนังที่มีฉนวน

ผนังตู้ทดสอบกว้าง 2.5 เมตร ยาว 3.0 เมตร สูง 2.2 เมตร และหนา 0.205 เมตร ทำจากวัสดุที่มีผิวด้านนอกเป็นเหล็กดำ (SS400) หนา 2.0 มิลลิเมตร ตรงกลางเป็นฉนวนใยแก้วหนา 50 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชั้น และผิววัสดุด้านในท้องเป็นสแตนเลส 304 (SUS304) หนา 2.0 มิลลิเมตร การคำนวณภาระจากผนังห้องเย็น (Wall Gain Load) ซึ่งระหว่างการปรับอากาศหรือการลดอุณหภูมิภายในห้อง เครื่องปรับอากาศก็ต้องดึงความร้อนที่สะสมไว้ที่ผนัง 3 ชั้นนี้ออกมาด้วย

4.4.2 คนหรือผู้ทำการปฏิบัติงานภายในห้องทดสอบ

คนหรือพนักงานผู้ปฏิบัติงานในห้องปรับอากาศเป็นแหล่งความร้อนเช่นเดียวกัน โดยสำหรับค่าความร้อนจากบุคคลที่นั่งทำงานแบบออฟฟิศหรือยืน (ดังในกรณีทดสอบ) มีค่าความร้อนสัมผัสและค่าความร้อนแฝง 75 W (250 Btu/h) และ 55 W (200 Btu/h) ตามลำดับ

4.4.3 อุปกรณ์ที่ใช้ปฏิบัติการภายในห้องทดสอบ

นอกเหนือจากคนแล้วยังมีอุปกรณ์ที่เป็นแหล่งให้ความร้อนภายในตู้ทดสอบ คือ หลอดไฟส่องสว่าง และ คอมพิวเตอร์ หลอดไฟขนาด 40 W จำนวน 6 หลอด และ คอมพิวเตอร์ขนาด 300 W จำนวน 1 เครื่อง

4.4.4 สมดุลย์พลังงานสำหรับระบบตู้ทดสอบ

สมมติว่าตู้ทำทดสอบเป็นระบบที่อากาศส่วนใหญ่ในห้องจะถูกไหลเวียนผ่านคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ อากาศถูกทำให้เย็นแล้วเป่ากลับออกมาสู่ภายในห้อง และการทดลองจำเป็นต้องเปิดปิดประตูทุก 10 นาที คิดประเมินเป็นค่าการรั่วไหลอากาศจากภายนอกเป็น 4 ACH ตามมาตรฐาน ASHRAE 62.2 ในปี 2004 ที่กำหนดการระบายอากาศสำหรับอาคารที่พักอาศัยไว้ ตู้ทดสอบนี้มีปริมาตรภายใน 16.5 m³ เทียบเป็นอากาศจากบรรยากาศภายนอกตู้ทดสอบไหลเข้ามา 66 m³/hr

หากปริมาตรควบคุมคืออากาศภายในห้อง และปริมาตรควบคุมนี้ไม่มีงานอื่นๆ มาเกี่ยวข้อง ความร้อนที่ปริมาตรควบคุมได้รับมาจาก มนุษย์ในห้อง หลอดไฟส่องสว่าง และคอมพิวเตอร์ ในขณะที่ไม่คิดความร้อนที่สูญเสียจากห้องเพราะตู้ทดสอบหุ้มฉนวนไว้หนามาก ดังนั้นความเย็นที่ระบบปรับอากาศทำได้ ก็คือความร้อนที่ถ่ายเทออกจากอากาศในปริมาตรควบคุม หาได้จากสมการที่ (4.1) โดยค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานในปริมาตรควบคุมคิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามเวลาและ Thermal mass หรือ ผลรวมของผลคูณของมวลและความจุความร้อนขององค์ประกอบภายในปริมาตรควบคุม

$$\frac{dE}{dt} = \sum \dot{Q} - \sum \dot{W} \quad (4.1)$$

$$\sum_i (M \cdot C_p)_i \frac{dT}{dt} = \sum \dot{Q}_{in} - \sum \dot{Q}_{out} = (\dot{Q}_{wall} + \dot{Q}_{lighting} + \dot{Q}_{human} + \dot{Q}_{computer} + \dot{Q}_{inf il}) - \dot{Q}_{AC}$$

การวิเคราะห์สมดุลพลังงาน จะพิจารณาคาบเวลาที่มีผู้อยู่อาศัยในห้องทดสอบเป็นระยะเวลาการทดสอบ 3 ชั่วโมง โดยการหาค่าความร้อนที่เครื่องปรับอากาศดึงออกจากห้องได้จริง จะต้องอินทิเกรตสมการที่ (3.1) จากเวลาเริ่มต้นสิ้นสุดที่ 3 ชั่วโมง โดยค่าอุณหภูมิของอากาศลดลงจากค่าเริ่มต้น (T_i) ถึงค่าสิ้นสุด (T_f) จนได้สมการที่ (4.2)

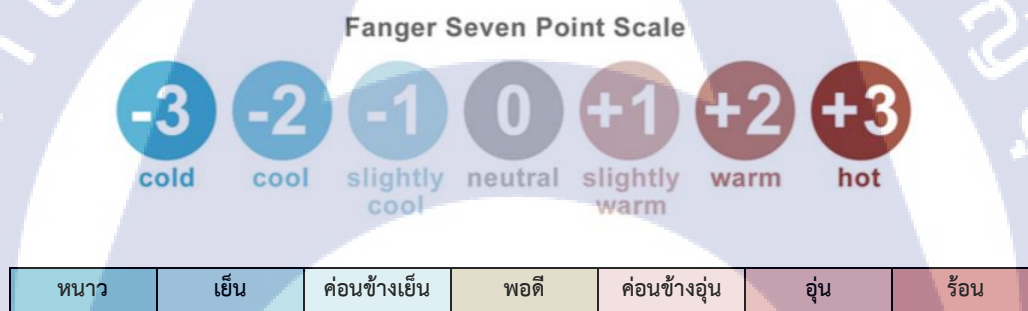
และ (4.3) ตามลำดับ และเนื่องจากปริมาตรควบคุมคิดเฉพาะมวลของอากาศภายในตู้ทดสอบจึงหาค่า Thermal mass (M.Cp) เฉพาะของอากาศเท่านั้น

$$-(M.Cp)_{air}(T_i - T_f) = \sum Q_{in} - Q_{AC} \quad (4.2)$$

$$Q_{extracted\ by\ AC} = (M.Cp)_{air}(T_i - T_f) + (Q_{wall} + Q_{lighting} + Q_{human} + Q_{computer} + Q_{inf\ il}) \quad (4.3)$$

4.4.5. แบบทดสอบอุณหภูมิกับความสบาย

แบบสอบถามเกี่ยวกับสภาพความสบายในห้อง ทดสอบกับกลุ่มบุคคลที่อยู่ในตู้ทดสอบ โดยแบ่งตามชั้นช่วงอายุ มีการกรอกแบบสอบถามแล้วนำมาคำนวณค่า Predicted Mean Vote (PMV) และ Percent of People Dissatisfied (PPD) เพื่อให้ทราบความรู้สึกเชิงอุณหภูมิขณะสภานั้นว่ามีความรู้สึกอย่างไร โดยอ้างอิงจากมาตรฐาน ASHRAE Standard 55 ที่มีการแบ่งระดับตามศาสตราจารย์ Fanger ซึ่งกำหนดไว้ตั้งแต่ ค.ศ. 1980 เป็นสเกลดังรูปที่ 4.14 ที่แบ่งเป็น 7 ระดับ สเกลนี้เป็นฐานสำหรับการสอบถามข้อมูลกลุ่มคนส่วนใหญ่ว่าผู้คนรู้สึกอย่างไรภายใต้ความหลากหลายของกิจกรรม เสื้อผ้า และสภาวะสิ่งแวดล้อมภายในพื้นที่ปรับอากาศ



รูปที่ 4.14 สเกลประเมินสภาวะน่าสบายโดย Fanger [1]

4.5 การติดตั้งระบบปรับอากาศแบบคอมเพรสเซอร์ชนิดกระแสดตรง

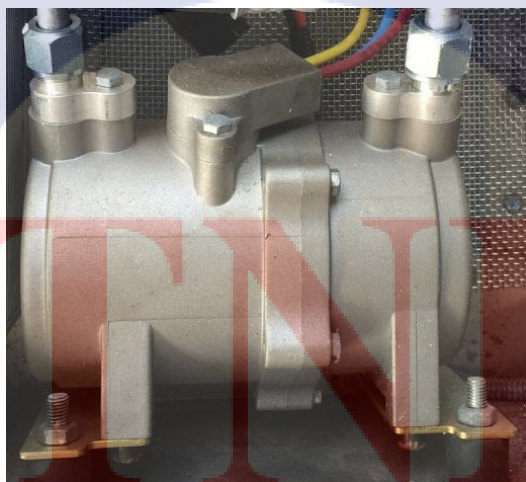
ห้องหรือตู้ทดสอบ (Experimental Chamber) เป็นห้องที่มีผนังฉนวนหนา เพราะดัดแปลงมาจากห้องทดสอบชิ้นส่วนยานยนต์ที่มีการควบคุมอุณหภูมิ ตู้นี้มีพื้นที่ของพื้น 7.5 m² และมีปริมาตร 16.5 m³ โดยตู้นี้ได้รับบริจาคจากบริษัทโตโยต้ามอเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด (TMT) แต่การใช้ตู้ทดสอบซึ่งฉนวนหนา เพื่อลดความร้อนถ่ายเทจากบรรยากาศภายนอก จะทำให้ทราบว่าระบบปรับอากาศนี้มีสมรรถนะในการลดอุณหภูมิได้เต็มที่เท่าใด และเป็นการชดเชยกับการที่ตู้เก็บเงินทางด่วนจริงจะอยู่กลางแจ้งและรับความร้อนจากภายนอกโดยตรง

การคัดเลือกระบบปรับอากาศแบบคอมเพรสเซอร์กระแสดตรงในงานวิจัยนี้ มาจากหลายทางเลือก แม้แต่การประยุกต์ใช้คอมเพรสเซอร์แบบสกอลล์จากระบบไฮบริด ซึ่งทาง TNI ได้รับบริจาคจากบริษัท SANDEN ซึ่งสามารถ

ข้อการทำงานได้สองทาง คือจากเครื่องยนต์และการใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ แต่การสตาร์ทให้คอมเพรสเซอร์แบบ Brushless ดังรูปที่ 4.15 ขนาด 15 cc. กำลังไฟฟ้า 1.6 kW ความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรง 149 VDC ให้ทำงานนั้นทำได้ยากมาก จนกระทั่งขดลวดภายในไหม้และไม่สามารถใช้งานได้ จึงได้ใช้ทางเลือกอื่น โดยคัดเลือกคอมเพรสเซอร์กระแสตรงขนาดเล็กที่ขนาดเล็กที่สุดที่สามารถหาได้ และมีความใกล้เคียงคอมเพรสเซอร์แบบสโคลล์ที่ได้รับบริจาค ความจุ 23 cc. กำลังไฟฟ้า 1.8 kW โดยสั่งซื้อจากประเทศจีน ดังรูปที่ 4.16 และยังสั่งซื้อคอยล์ร้อนและคอยล์เย็นมาครบชุด แต่ต้องมาปรับเปลี่ยนองค์ประกอบระบบ และเพิ่มอุปกรณ์เสริม อาทิ เดินท่อน้ำยาทำความเย็น R-134a เดินสายไฟฟ้าใหม่ อัดน้ำยา ติดตั้งเกจวัดความดัน และเครื่องมือวัดต่างๆ จนกระทั่งระบบสามารถทำงานได้ และสามารถประเมินสมรรถนะการทำงานได้



รูปที่ 4.15 คอมเพรสเซอร์แบบสโคลล์ที่ได้รับบริจาคจาก SANDEN



รูปที่ 4.16 คอมเพรสเซอร์จากผู้ผลิตในประเทศจีน

4.6 ผลการติดตั้งระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศที่ออกแบบการประกอบและการติดตั้งเสร็จสิ้นแล้ว ได้รับการทดสอบเบื้องต้นโดยไม่มีผู้อยู่อาศัยในห้อง พบว่าสามารถลดอุณหภูมิห้องทดสอบภายในเวลา 3 ชั่วโมง ได้ 17- 20 °C และทำงานได้นานถึง 6 ชั่วโมง จึงได้ออกแบบการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานระบบปรับอากาศนี้ เป็น 2 ส่วน ได้แก่

- (1) ทดสอบการทำงานเบื้องต้นของระบบปรับอากาศในห้องทดสอบ โดยไม่มีผู้อยู่ภายในห้องทดสอบ และวัดเฉพาะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ จำนวน 2 การทดลอง (การทดลองที่ 1-2)
- (2) ทดสอบการทำงานของระบบปรับอากาศ จำนวน 5 การทดลอง (การทดลองที่ 3-7) โดยให้ระบบทำงาน 3 ชั่วโมงต่อเนื่อง โดยมีผู้อยู่อาศัยในห้องทดสอบด้วย เพื่อกำหนดแบบประเมินความพึงพอใจต่อสภาวะน่าสบายในห้องทดสอบ ตามมาตรฐานความสบาย (Thermal Comfort) ASHRAE Standard 55 (1992) และอีกส่วนคือการประเมินผลความสบายสำหรับผู้อยู่อาศัยด้วย

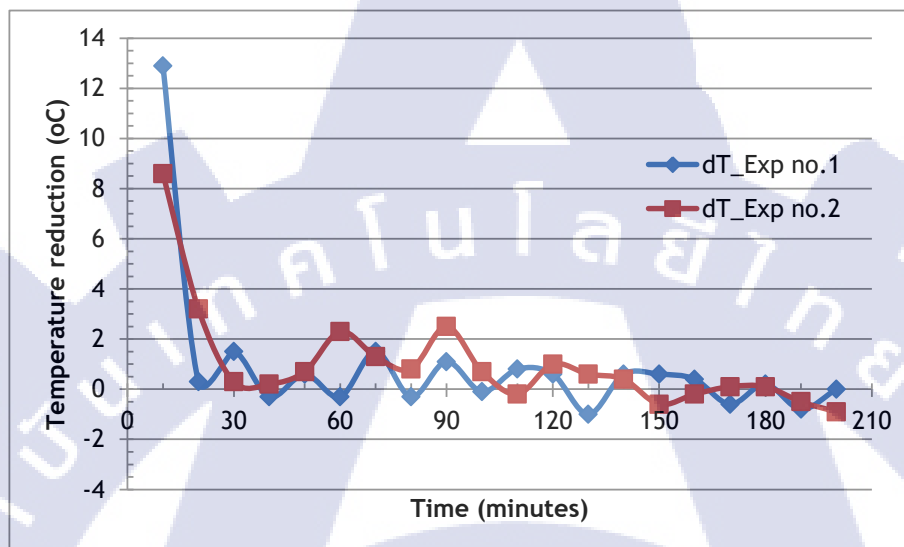
การทดสอบระบบปรับอากาศ โดยทำการเปิดเครื่องปรับอากาศและวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกห้องทดสอบ โดยเซนเซอร์ T & RH ที่พัฒนาขึ้นดังกล่าวในบทที่ 3 โดยบันทึกค่าทุก 10 แต่ละการทดสอบใช้เวลา 3 ชั่วโมง ทำการทดสอบ 5 วัน โดยมีปัจจัยควบคุม คือ ภาระจากคนหนึ่งคนภายในห้องทดสอบ ภาระจากคอมพิวเตอร์ที่ใช้เก็บข้อมูลภายในห้องทดสอบ ภาระจากหลอดไฟฟ้าที่ให้แสงสว่างภายในห้องทดสอบ ภาระจากการรั่วของอากาศเข้าห้องเนื่องจากการเปิดประตูเข้าออกห้องทดสอบ เป็นต้น โดยสรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติของผลการวัด ได้แก่ ค่าน้อยสุด ค่ามากที่สุด และค่าเฉลี่ย ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเครื่องปรับอากาศ และความเร็วม ได้ดังตารางที่ 4.2 โดยอ้างอิงเงื่อนไขการทดลองจากตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดเบื้องต้น

Exp. No.	Indoor Temperature (°C)			Outdoor Temperature (°C)			Indoor Relative Humidity (%RH)			Outdoor Relative Humidity (%RH)			Supply current (A)			Velocity (m/s)
	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Avg.
1	16.9	35.8	20.2	37												0.5
2	11.8	34.2	17.3	33												0.5
3	23.2	34.5	26.4	29.8	34.0	32.0	50.1	59.2	54.1	58.5	63.5	60.1	41.4	48.5	43.9	0.5
4	23.2	32.0	25.3	30.7	32.5	31.6	44.0	63.0	51.8	65.0	79.0	70.6	40.1	45.1	42.1	0.5
5	23.7	32.0	26.7	32.0	34.0	33.0	45.0	59.1	49.6	58.0	61.0	59.1	41.7	45.8	43.7	0.5
6	22.2	32.9	25.3	30.7	32.1	31.1	42.8	57.7	47.2	57.0	64.1	59.5	38.2	45.5	41.0	0.5
7	22.9	33.5	25.6	32.3	33.6	33.0	44.7	53.8	47.4	50.7	56.5	52.8	39.9	45.5	41.7	0.5

4.7 ผลการทดสอบระบบปรับอากาศเบื้องต้น

การทดสอบเบื้องต้นที่ 1 และ 2 ทดสอบเมื่อ 29 พ.ค. 59 (เริ่มทดสอบประมาณ 10:00 น.) และ 26 มิ.ย. 59 (เริ่มทดสอบประมาณ 17:00 น.) ในวันที่อุณหภูมิบรรยากาศภายนอกเริ่มต้นสูงถึง 37 °C และ 33 °C ตามลำดับ กราฟแสดงอัตราการลดลงของอุณหภูมิทุก 10 นาที ดังรูปที่ 4.17 ซึ่งอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 20-30 นาที จากนั้นจะเปลี่ยนแปลงในระดับ 0.9 – 2.5 °C โดยมีความร้อนผ่านผนังตู้ทดสอบประมาณ 4.37 – 4.62 W/m²

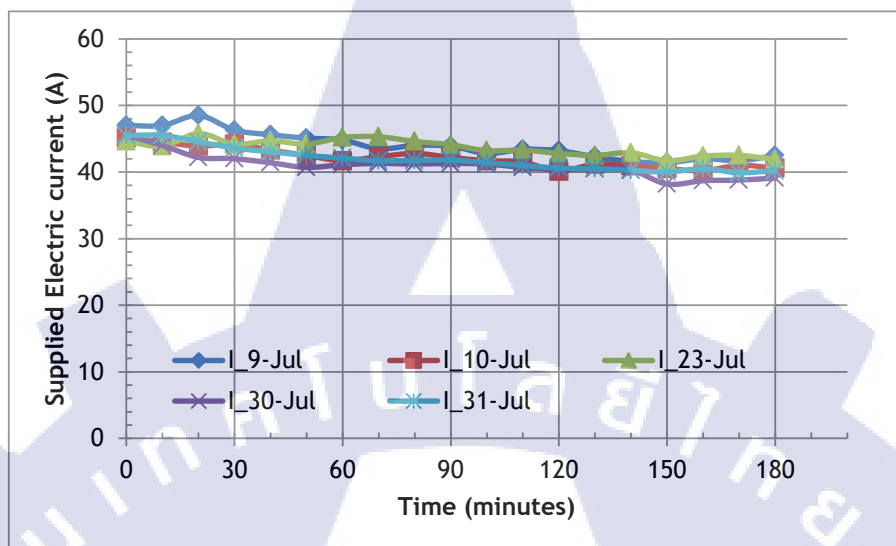


รูปที่ 4.17 อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามเวลาของตู้ทดสอบ

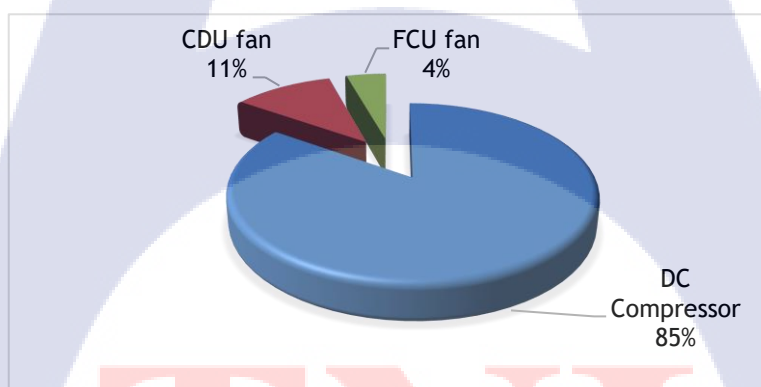
4.8 การใช้กระแสไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ

การทดลองที่ 3-7 ในเดือน ก.ค. 59 ระหว่างวันที่ 9 – 31 ก.ค. 59 กระแสไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องปรับอากาศดึงจากแบตเตอรี่ และจ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์กระแสตรง พัดลมของคอยล์ร้อน และพัดลมของคอยล์เย็น วัดค่ากระแสไฟฟ้าด้วยมัลติมิเตอร์ โดยความต่างศักย์จากแบตเตอรี่ไม่ต่ำกว่า 24 VDC โดยช่วงสตาร์ทการทำงานของคอมเพรสเซอร์ต้องการพลังงานไฟฟ้ามากกว่าขณะทำงานปกติ โดยในช่วงต้นของการทำงานมีการใช้กระแสไฟฟ้าสูง เนื่องจากการสตาร์ทมีความเสียดทาน เมื่อผ่านไปช่วงระยะเวลา 5 นาที การใช้กระแสไฟจะเริ่มค่อนข้างคงที่ จากรูปที่ 4.18 กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ขณะเริ่มต้นประมาณ 45 A แล้วค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ ในช่วง 3 ชั่วโมง หรือค่อนข้างคงที่ ค่าอยู่ในช่วง 38.2 – 48.5 A ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ลดลงโดยรวมในช่วงการทำงาน 3 ชั่วโมง ประมาณ 4.7 A และค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดการทำงานจาก 5 การทดลองนี้คือ 42.5 A

สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศในส่วนคอมเพรสเซอร์กระแสตรง พัดลมของ Condensing Unit หรือคอยล์ร้อน และพัดลมของ Fan Coil Unit หรือคอยล์เย็น แสดงดังรูปที่ 4.19 โดยคอมเพรสเซอร์ใช้ไฟฟ้าไป 85% ที่เหลือเป็นของพัดลม



รูปที่ 4.18 กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้ระบบปรับอากาศ



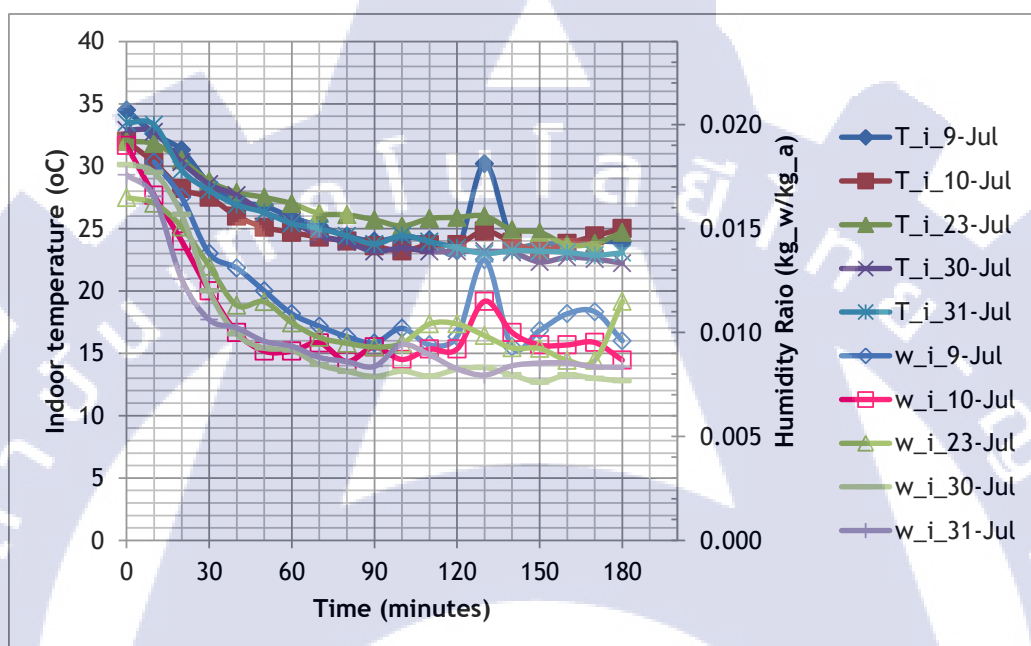
รูปที่ 4.19 สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในระบบปรับอากาศโดยองค์ประกอบระบบ

4.9 การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในตู้ทดสอบ

การทดลองที่ 3-7 มีการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกตู้ทดสอบอย่างต่อเนื่อง เพื่อประเมินให้ทราบสมรรถนะของระบบปรับอากาศ โดยการทดลองที่ 3, 5 และ 6 มีการดึงไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เท่านั้น ส่วนวันที่ 4 และ 7 มีการประจุไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาด้วย กราฟรูปที่ 4.20 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและอัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio) ตามเวลาของการทดลองที่ 3-7 ใน 5 วัน ซึ่งพบว่าค่าอุณหภูมิและความชื้นค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาทดสอบ 3 ชั่วโมง ซึ่งอุณหภูมิลดลงจากอุณหภูมิ

บรรยากาศภายนอกประมาณ 32 – 34.5 °C จนเหลือ 22 – 25 °C ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ลดลงจากช่วงค่า 53.8% – 63% เหลือ 44% - 59.1% ซึ่งเข้าใกล้ช่วงความสบายตามมาตรฐานของ ASHRAE ที่กำหนดให้สภาวะในช่วงหน้าร้อน มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 23 – 25 °C และความชื้นสัมพัทธ์ไว้อยู่ในช่วงที่ 30%-70%

อย่างไรก็ตาม ในวันที่ 9 ก.ค. ค่าอุณหภูมิมีการแกว่งขึ้นลงเนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น การเปิดประตูเข้าออก หรือกิจกรรมที่ผู้อาศัยทำ เป็นต้น แต่ทั้งนี้เครื่องปรับอากาศยังคงรักษาความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ในขอบเขตของความสบายได้



รูปที่ 4.20 กราฟการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและอัตราส่วนความชื้นของตู้ทดสอบใน 5 การทดลอง

ระหว่างกระบวนการปรับอากาศจะมีการทำความเย็นที่คอยล์เย็นจนกระทั่งถึงจุดน้ำค้างและความชื้นในอากาศควบแน่นออกมา ดังจะเห็นได้จากกราฟที่ค่าอัตราส่วนความชื้นหรือกลีโกรัมน้ำต่อกลีโกรัมอากาศ คำนวณได้ค่าอัตราการระบายน้ำออก 102 – 216 ml/s รวมเป็นน้ำที่ถูกควบแน่นออกไปจากอากาศชื้นตลอดระยะเวลา 3 ชั่วโมง ถึง 1.1 – 2.33 kg

4.10 ผลจากแบบสำรวจความพึงพอใจต่อสภาพทางอุณหภูมิในห้องปรับอากาศ

การปรับอากาศเป็นไปเพื่อสร้างความสบายให้กับผู้อยู่อาศัยในห้องปรับอากาศ ซึ่งจะวัดโดยค่า PMV และ PPD ดังกล่าวไว้ในบทที่ 2 และเพื่อให้ทราบความพึงพอใจจำเป็นต้องใช้แบบสอบถามความสบายเชิงอุณหภูมิ หรือ สภาวะน่าสบาย (Thermal Comfort) โดยผู้ตอบแบบสอบถามต้องกรอกข้อมูลทั่วไป อาทิ ชื่อ นามสกุล เพศ น้ำหนัก อายุ แบ่งเป็น 6 ช่วง คือ 1: ต่ำกว่า 20 ปี, 2: 20 – 25 ปี, 3: 26 – 30 ปี, 4: 31 – 35 ปี, 5: 36 – 40 ปี และ 6: 40

ปีขึ้นไป) เสื้อผ้าที่สวมใส่โดยจะมีค่าตัวเลขให้กับเสื้อผ้าแต่ละชิ้นซึ่งจะนำมาบวกกันรวมเป็นตัวเลขในหน่วย clo โดย 1 clo เท่ากับค่าความต้านทาน $0.155 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ (หรือ $0.88 \text{ }^\circ\text{F}\cdot\text{ft}^2\cdot\text{h/Btu}$ ในระบบหน่วยอังกฤษ) ซึ่งข้อมูลส่วนตัวก็จะแปลค่าเป็นตัวเลขต่อไป

นอกจากนี้ในแต่ละการทดลองตลอดคาบเวลา 3 ชั่วโมง ทุก 30 นาที ผู้ตอบแบบสอบถามก็จะกรอกแบบสอบถาม เพื่อระบุความรู้สึกของตนเองต่อสภาพอากาศในห้องปรับอากาศ โดยตอบ 7 คำถาม ทั้งหมด 6 ครั้ง ทำให้มีข้อมูลทั้งหมด 30 ข้อมูล ซึ่งผลการตอบแบบสอบถามจะถูกแปลค่าเป็นตัวเลขต่อไป โดยผลการกรอกแบบสอบถามสรุปไว้ดังตารางที่ 4.3

- (1) ความรู้สึกกับความสบาย ณ ปัจจุบัน (AMV) มีค่าระหว่าง -3 ถึง 3 จาก “หนาว” ถึง “ร้อน”
- (2) การยอมรับต่ออุณหภูมิของอากาศในห้อง ณ ขณะนั้น (TempAC) มีค่าระหว่าง 1 – 3 จาก “ไม่ยอมรับ” ถึง “ยอมรับได้อย่างพึงพอใจ”
- (3) ความต้องการให้อุณหภูมิในห้องปรับอากาศเป็นเช่นนั้น (TempPre) มีค่าระหว่าง -1 ถึง 1 จาก “เย็นขึ้น” ถึง “อุ่นขึ้น”
- (4) ความรู้สึกต่อระดับการไหลเวียนของลมภายในห้อง (FlowAC) มีค่าระหว่าง -3 ถึง 3 จาก “ลมต่ำไปอึดอัด” ถึง “ลมแรงมาก”
- (5) ความต้องการอยากให้การไหลเวียนของลมในห้องเป็นเช่นนั้น (FlowPre) มีค่าระหว่าง -1 ถึง 1 จาก “น้อยลง” ถึง “มากขึ้น”
- (6) ความรู้สึกต่อความชื้นภายในห้อง (HumAC) มีค่าระหว่าง -3 ถึง 3 จาก “แห้งมาก” ไปถึง “ชื้นมากเกินไป”
- (7) ความต้องการให้ความชื้นภายในห้องเป็นเช่นนั้น (HumPre) มีค่าระหว่าง -1 ถึง 1 จาก “แห้งลงอีก” ถึง “ชื้นมากขึ้น”

นอกจากนี้ยังมีอีกคำถามเพื่อตรวจสอบความเคยชินต่อสภาพอากาศของผู้ทดสอบ ที่สอบถามว่าผู้ทดสอบนอนหลับในห้องที่เปิดเครื่องปรับอากาศเป็นปกติหรือไม่

จากการตอบแบบสอบถามของผู้ตอบ 5 คน อายุ 23, 26, 27, 28 และ 62 ปี และมีทั้งเพศชายและหญิง ดังสรุปในตารางที่ 4.1 โดยผู้ทดสอบนั่งในตู้ทดสอบที่มีการปรับอากาศโดยเครื่องปรับอากาศแบบคอมเพรสเซอร์ กระแสตรงเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 3 ชั่วโมง โดยมีการใส่เสื้อผ้าระหว่าง $0.25 - 0.48 \text{ clo}$

การคำนวณค่า PMV และ PPD จะต้องทราบข้อมูลอย่างน้อย 6 ค่า คือ อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature) อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย (Mean Radiant Temperature) ความเร็วของลม (Relative Air Velocity) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า (Clothing) และอัตราการเมตาบอลิซึม (Metabolic Rate) มีข้อมูลจากการวัดในการทดลอง 3 ค่า คือ อุณหภูมิอากาศ (T) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (RH) และความเร็วลม (v)

นอกจากนี้ มีข้อมูลอีก 2 ค่าที่แสดงในตารางที่ 4.3 ที่มาจากการคำนวณ คือ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (T_{dp}) ที่มาจากการใช้ Psychrometric Calculation Online (<http://www.sugartech.co.za/psychro/>) และอุณหภูมิโกลบ (T_g) ซึ่งเป็นการประเมินผลของการแผ่รังสี อุณหภูมิอากาศ และความเร็วลมต่อสภาวะน่าสบายของมนุษย์ แต่ค่านี้ไม่ได้วัดจากการทดลองเพราะไม่มีเครื่องมือวัดจึงต้องคำนวณจากสมการที่มาจากฐานข้อมูล ทำให้ได้ค่า T_g ที่เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ $T_g = f(T, RH)$ ดังสมการที่ (4.3) ซึ่งมาจากการเลือกโมเดลคณิตศาสตร์แบบ Linear โดยโปรแกรม SPSS เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์โดยสมการนี้มีระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 และค่า Sig. มีค่าน้อยกว่า 0.05 สำหรับสัมประสิทธิ์ $\beta_0, \beta_1, \beta_2$

$$T_g = 27.8(0.134 + 0.898(T) - 0.053(RH)) \quad (4.3)$$

อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย (T_{mrt}) คำนวณจากอุณหภูมิโกลบ (T_g) อุณหภูมิอากาศ (T_a) และความเร็ว (v) ดังสมการที่ (4.4) ส่วนค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าได้จากแบบสอบถาม และค่าอัตราการเมตาบอลิซึมกำหนดให้คงที่เป็น 1.2

$$T_{mrt} = \left[(T_g + 273.15)^4 + \frac{1.1 \times 10^8 \times v^{0.6} (T_g - T_a)}{(0.95 \times 100^{0.4})} \right]^{0.25} - 273.15 \quad (4.4)$$

อุณหภูมิอีกค่าที่ใช้ในการพิจารณา คือ Operative Temperature (T_o) หรือ อุณหภูมิที่ผู้อาศัยในห้องปรับอากาศสามารถรู้สึกได้ เป็นอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรอบตัวที่มีผลมาจากอุณหภูมิการแผ่รังสีกับอุณหภูมิอากาศ คำนวณได้จากสมการที่ (4.5)

$$T_o = \frac{T_a + T_{mrt}}{2} \quad (4.5)$$

จากตารางที่ 4.3 ที่สรุปค่าวัดจากการทดลอง ค่าจากแบบสอบถาม และผลการคำนวณ T_{mrt} , PMV, PPD และ T_o ด้วย สรุปได้ว่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างการทดลอง คือ $24.9 \pm 1.9^\circ\text{C}$ และ $49.2 \pm 4.0\%$ RH โดยค่า Dew point จากการเปิด Psychrometric chart calculation คือ $13.5 \pm 2.3^\circ\text{C}$ และค่า T_g ที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.3) โดยเฉลี่ยคือ $24 \pm 1.7^\circ\text{C}$

ตารางที่ 4.3 ตารางสรุปข้อมูลและผลการประเมินจากแบบสอบถามความสบายเชิงอุณหภูมิ

No.	Sex	Age	Clo	Ta	Rh	Tdp	Tg	Va	AMV	TempAC	TempPre	FlowAC	FlowPre	HumAC	HumPre	Tmrt	PMV	PPD	To
1	2	3	0.25	28.6	56.0	18.98	27.1	0.5	1	2	-1	0	0	1	0	27.0	0.0	5.0	27.8
2	2	3	0.25	25.9	52.1	15.36	24.9	0.5	0	2	0	0	0	0	0	24.8	-1.3	39.7	25.3
3	2	3	0.25	24.0	51.0	13.28	23.3	0.5	-1	3	0	0	0	-1	0	23.2	-2.2	83.9	23.6
4	2	3	0.25	23.2	55.1	13.73	22.5	0.5	-1	3	0	1	0	0	0	22.4	-2.5	94.1	22.8
5	2	3	0.25	23.8	55.1	14.29	23.0	0.5	-1	3	0	1	0	0	0	22.9	-2.3	86.8	23.3
6	2	3	0.25	23.9	52.1	13.52	23.1	0.5	-2	3	0	1	0	0	0	23.1	-2.2	85.5	23.5
7	2	3	0.42	27.5	52.0	16.80	26.3	0.5	0	3	-1	-1	1	0	0	26.1	0.0	5.0	26.8
8	2	3	0.42	24.7	47.0	12.68	24.0	0.5	0	3	0	0	0	0	0	23.9	-1.1	30.2	24.3
9	2	3	0.42	23.6	51.0	12.92	22.9	0.5	0	3	0	0	0	0	0	22.8	-1.5	51.1	23.2
10	2	3	0.42	23.7	50.3	12.80	23.0	0.5	0	3	0	0	0	0	0	22.9	-1.5	49.2	23.3
11	2	3	0.42	23.2	53.0	13.13	22.5	0.5	0	3	0	0	0	0	0	22.4	-1.6	59.2	22.8
12	2	3	0.42	25.0	44.0	11.95	24.3	0.5	0	3	0	0	0	0	0	24.2	-1.0	25.7	24.6
13	1	3	0.34	28.8	53.1	18.33	27.4	0.5	0	3	0	0	0	-1	0	27.2	0.3	7.5	28.0
14	1	3	0.34	27.0	47.0	14.77	26.0	0.5	0	3	0	0	0	0	0	25.8	-0.4	9.3	26.4
15	1	3	0.34	25.7	45.2	12.99	24.9	0.5	0	3	0	0	0	0	0	24.8	-1.0	26.4	25.2
16	1	3	0.34	25.9	49.9	14.70	24.9	0.5	0	3	0	0	0	0	0	24.8	-0.9	22.3	25.4
17	1	3	0.34	24.7	47.6	12.87	23.9	0.5	0	3	0	0	0	0	0	23.9	-1.4	46.4	24.3
18	1	3	0.34	24.7	59.1	16.21	23.7	0.5	0	3	0	0	0	0	0	23.5	-1.4	44.4	24.1
19	2	2	0.38	28.6	49.0	16.87	27.3	0.5	0	3	0	0	0	-1	1	27.1	0.3	7.2	27.8
20	2	2	0.38	25.5	45.0	12.74	24.7	0.5	-2	3	1	1	-1	-2	1	24.6	-0.9	23.0	25.1
21	2	2	0.38	23.2	44.6	10.52	22.7	0.5	-2	2	1	2	-1	-2	1	22.6	-1.9	70.6	22.9
22	2	2	0.38	23.2	46.5	11.15	22.6	0.5	-3	2	1	2	-1	-2	1	22.6	-1.9	70.1	22.9
23	2	2	0.38	22.3	45.5	10.00	21.9	0.5	-2	2	1	2	-1	-2	1	21.9	-2.2	84.9	22.1
24	2	2	0.38	22.2	46.2	10.14	21.8	0.5	-2	3	1	1	-1	-1	1	21.8	-2.2	86.3	22.0
25	2	6	0.48	28.1	44.7	14.99	26.9	0.5	1	3	0	0	0	1	0	26.8	0.3	7.4	27.4
26	2	6	0.48	25.4	46.2	13.05	24.6	0.5	0	2	0	0	0	0	0	24.5	-0.6	13.3	24.9
27	2	6	0.48	23.8	45.6	11.40	23.2	0.5	0	2	0	0	0	0	0	23.1	-1.2	36.7	23.4
28	2	6	0.48	23.5	45.8	11.19	22.9	0.5	-1	2	0	0	0	0	0	22.9	-1.3	42.2	23.2
29	2	6	0.48	28.2	48.2	11.69	22.6	0.5	-1	2	0	0	0	0	0	22.5	-1.4	47.2	22.9
30	2	6	0.48	23.1	47.4	11.35	22.5	0.5	-2	1	1	0	0	0	0	22.5	-1.5	49.6	22.8
Statistic data of Questionnaire	Avg	0.37	24.9	49.2	13.5	24.0	0.5	-1	3	0	0	0	0	0	0	24.0	-1.2	43.7	24.4
	Min	0.25	22.2	44.0	10.0	21.8	0.5	-3	1	-1	-1	-1	-1	-2	0	21.8	-2.5	5.0	22.0
	Max	0.48	28.8	59.1	19.0	27.4	0.5	1	3	1	2	1	1	1	1	27.2	0.3	94.1	28.0
	stdev	0.08	1.93	3.97	2.30	1.66	0.0	1	1	1	1	1	0	1	0	1.63	0.82	28.70	1.78

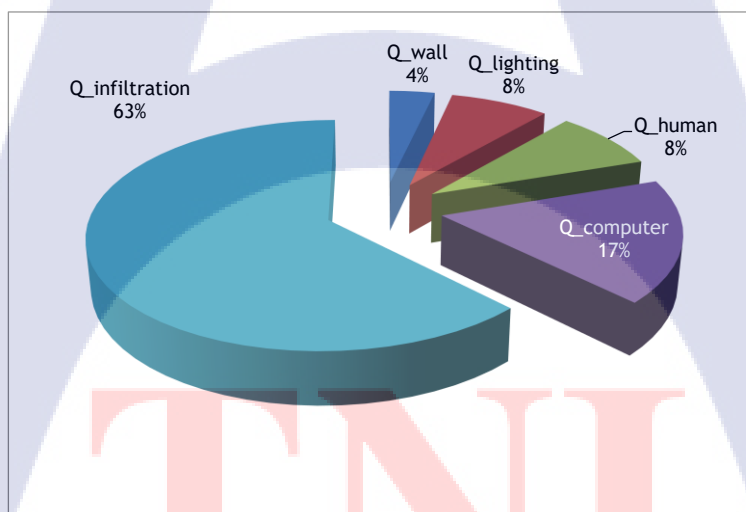
4.11 สมดุลย์พลังงานของห้องปรับอากาศ

การทำสมดุลย์พลังงานของตู้ทดสอบที่ปรับอากาศโดยระบบปรับอากาศแบบรับไฟฟ้ากระแสตรง จากข้อมูล 5 การทดลอง ทำให้ทราบว่าเครื่องปรับอากาศสามารถดึงความร้อนออกไปได้เท่าไร โดยใช้สมการที่ (4.1) และได้ผลดังสรุปในตารางที่ 4.4 พบว่า ระบบปรับอากาศดึงความร้อนหรือทำความเย็นได้ 4,294 – 6,316 Btu/h หรือโดยเฉลี่ย 5,305 Btu/h

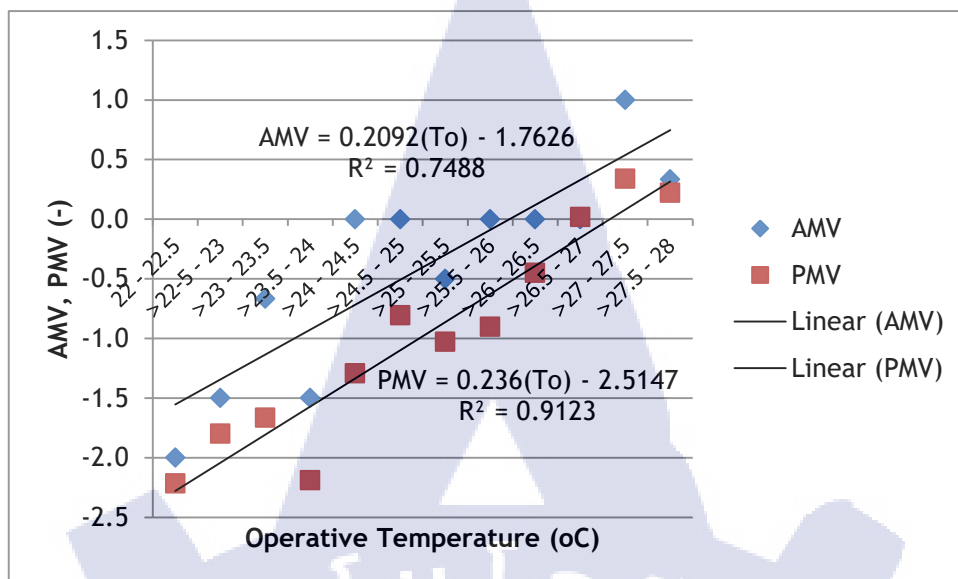
สัดส่วนของแต่ละองค์ประกอบความร้อนที่ถ่ายเทเข้าปริมาตรควบคุมของอากาศในตู้ทดสอบแสดงดังกราฟรูปที่ 4.21 ที่แสดงว่าผลจากอากาศร้อนที่รั่วไหลเข้ามาจากด้านนอกตู้ทดสอบมีถึง 63% ส่วนผลการประเมินจากแบบสอบถาม 7 รายการ โดยเฉลี่ยรู้สึกว่าย่ำเย็น และมีการยอมรับต่ออุณหภูมิของอากาศในห้อง ณ ขณะนั้น โดยเฉลี่ยพอใจในอุณหภูมิอากาศ ความชื้น และการไหลเวียนของลม และไม่ต้องการให้ปรับเปลี่ยน

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์หาค่าสมมูลพลังงานของอากาศภายในตู้ทดสอบ

BASIS: 3 hours					
Item	9-Jul	10-Jul	23-Jul	30-Jul	31-Jul
Mass of indoor air (kg)	19.10	19.21	19.12	19.25	19.21
Indoor air temp (K)	299.6	298.5	299.9	298.5	298.8
Cp of indoor air (kJ/kg.K)	1.0027	1.0026	1.0028	1.0026	1.0027
M.Cp_indoor air (kJ/K)	19.15	19.26	19.17	19.30	19.26
Initial indoor temperature (oC)	34.5	32.0	32.0	32.9	33.5
Final indoor temperature (oC)	23.9	25.0	24.7	22.2	23.1
(M.Cp)_air.(Ti-Tf)	203	135	140	206	201
Q_wall (kJ)	533	590	596	552	702
Q_lighting (kJ)	1296	1296	1296	1296	1296
Q_human (kJ)	1404	1404	1404	1404	1404
Q_computer (kJ)	1620	3240	3240	3240	3240
Q_infiltration (kJ)	8522	13308	10567	9756	9783
Q_extracted by DC Air-con (kJ)	13,578	19,973	17,242	16,455	16,626
Q_AC (kW)	1.26	1.85	1.60	1.52	1.54
Q_AC (Btu/hr)	4,294	6,316	5,452	5,203	5,258
Range (Btu/hr) Min/Max	4,294	6,316			
Average (Btu/hr)		5,305			



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงสัดส่วนขององค์ประกอบความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อากาศในตู้ทดสอบ



รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง AMV และ PMV

จากข้อมูลในตารางที่ 4.3 ที่แสดงค่า AMV (Actual Mean Vote) หรือความสบาย ณ ปัจจุบันของผู้อาศัยในตู้ทดสอบที่ได้จากแบบสอบถาม และค่า PMV (Predicted Mean Vote) ที่แสดงค่าผลทำนายความรู้สึกของผู้อาศัยตามมาตรฐาน ASHRAE 55 สามารถแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์กับ Operative Temperature ได้ดังรูปที่ 4.22 ซึ่งจะได้แนวโน้มเป็นเส้นตรง โดยค่า PMV ที่คำนวณได้จะต่ำกว่าค่า AMV อยู่ 0.6 ± 0.4 °C และพบว่าค่า R-square ของเส้นตรงที่เป็นแนวโน้มของ AMV กับ Operative temperatureค่อนข้างต่ำ อีกทั้งผู้อาศัยในตู้ทดสอบจะรู้สึกว่าหนาวถึงเย็นเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่เส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง PMV และ T_o มีค่า R-square 0.9123 และเป็นเส้นเกือบขนานที่ต่ำกว่าเส้น AMV

4.12 เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://danieloverbey.blogspot.com/2013/02/evaluating-human-thermal-comfort.html>

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ดำเนินการขึ้น ณ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อประเมินสภาวะน่าสบายของห้องเรียนในอาคารเรียนของสถาบัน โดยเน้นที่ห้องเรียนในอาคาร C โดยการพัฒนาอุปกรณ์วัดพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อการประเมินสภาวะน่าสบายของห้องเรียนโดยใช้อุปกรณ์ความรู้ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์และระบบไร้สาย นอกจากนี้ยังมีสถิติการนำพลังงานหมุนเวียน ซึ่งในที่นี้คือพลังงานรังสีอาทิตย์มาใช้ในการปรับอากาศในห้องทดสอบ และตรวจวัดค่าพารามิเตอร์สำคัญโดยอุปกรณ์วัดทางอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้น ซึ่งงานวิจัยได้บรรลุวัตถุประสงค์

5.1.1 สรุปผลการวิจัยส่วนที่ 1 การประเมินสภาวะน่าสบายในห้องเรียน

อาคารเรียนในเมืองใหญ่ส่วนใหญ่ต้องมีการปรับอากาศซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นสัดส่วนที่มาก อย่างไรก็ตาม ห้องเรียนต่างๆ ในอาคารเรียนก็ควรที่จะสามารถรักษาสภาพความน่าสบายทางอุณหภูมิ หรือเรียกสั้นๆ ว่าสภาวะน่าสบาย (Thermal comfort) ไว้ในระดับที่ดี ในขณะที่ไม่ใช้พลังงานเพื่อการปรับอากาศมากเกินไป ค่าดัชนีที่นิยมใช้คือ Predicted Mean Vote (PMV) ซึ่งจะสามารถรวมเข้าไปได้กับการควบคุมระบบปรับอากาศได้ด้วย

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) ถูกนำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อทำนายค่า PMV โดยมีการเปรียบเทียบค่าโหวตจากแบบสอบถามด้วย มีการนำโมเดล ANN สองประเภทมาใช้ คือ ANN แบบ Feed forward และ NARX ซึ่งงานวิจัยทำให้ได้ทราบว่ารูปแบบหรือโทโปโลยีของ ANN และ NARX ที่เหมาะสม คือ $1 \times 7 \times 4 \times 1$ และ $1 \times 10 \times 1$ ตามลำดับ คำนวณน้ำหนักและไบแอสที่ได้สามารถนำไปใช้ในการทำนายค่า PMV ของห้องทดลองต่อไป และค่าทำนายของ PMV ที่ได้จากแบบจำลอง ANN และ NARX ก็สอดคล้องเป็นอย่างดีกับผลการคำนวณค่า PMV จากสมการของแฟงเกอร์หรือค่าที่ได้จากแบบสอบถาม

งานวิจัยส่วนถัดมาในเรื่องสภาวะน่าสบาย คณะผู้วิจัยได้พัฒนาเซนเซอร์แบบไร้สายที่ติดตั้งกระจายอยู่ตามตำแหน่งต่างๆ ในห้องเรียนที่ปรับอากาศได้ โดยทดสอบ ณ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น เช่นกัน การทดลองได้มีการสอบถามความพึงพอใจต่อสภาวะอากาศในห้องโดยแบบสอบถามด้วย เพื่อให้ทราบถึงความพึงพอใจและการรับรู้ต่อสภาพอุณหภูมิ ความชื้น และการเคลื่อนที่ของอากาศ รวมถึงการยอมรับของผู้อยู่อาศัย (หรือ นักศึกษา) ในห้องเรียนด้วย ค่าโหวตที่แท้จริงจะถูกเปรียบเทียบกับค่า PMV ที่คำนวณได้จากสมการแฟงเกอร์ที่ได้รับการประยุกต์ใช้โดยทำให้สามารถคำนวณค่าได้ง่ายยิ่งขึ้น ค่าโหวตที่แท้จริงถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากสมการ PMV อย่างง่ายนี้ และพบว่าผลการใช้เน็ตเวิร์คของเซนเซอร์แบบไร้สายที่ติดตั้งหลายตำแหน่งทั่วห้อง และสามารถวัดค่าแบบเรียลไทม์เพื่อตรวจสอบสภาวะอากาศในห้องเรียนได้ มีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ สามารถใช้งานได้อย่างน่าเชื่อถือและเสถียรระหว่างช่วงเวลาการวัดค่าเพื่อให้ทราบความพึงพอใจของนักศึกษาในห้องเรียนที่มีการปรับอากาศด้วยสภาวะคงตัว

นอกเหนือจากนี้ ยังได้มีการนำเสนอเพื่อเทียบผลที่ได้จากงานวิจัยที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น กับงานวิจัยที่ทำร่วมกับบัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มจร. และได้สรุปผลไว้แล้วในบทที่ 3 พบว่าคนไทยมี

อุณหภูมิที่รู้สึกสบายสูงกว่ามาตรฐานประมาณ $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ และหากเทียบกับค่าแนะนำของอุณหภูมิอากาศเพื่อความสบาย สำหรับการออกแบบระบบปรับอากาศตามมาตรฐานการปรับอากาศและการระบายอากาศของประเทศไทยที่กำหนดไว้ที่ $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ รวมถึงการตั้งค่าเทอร์โมสแตตในห้องปรับอากาศที่ $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ทำให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะปรับให้อุณหภูมิอากาศในห้องสูงขึ้นเป็น $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ เพื่อลดการใช้พลังงานในการปรับอากาศและเพิ่มความเร็วลมในพื้นที่ปรับอากาศเพิ่ม เพื่อให้คนรู้สึกสบายโดยไม่มี ความไม่พึงพอใจต่อปริมาณลมที่สูงขึ้น

นอกจากงานภาคทฤษฎีแล้ว สำหรับภาคปฏิบัติก็ได้มีการพัฒนาเครื่องมือเพื่อสนับสนุนการลดการใช้พลังงาน โดยในอนาคต ที่อาจพัฒนาต่อยอดไปใช้ช่วยการปรับสภาวะอากาศภายในห้องเรียน อาทิ อุณหภูมิและการความเร็วของอากาศเย็น โดยใช้สภาวะน่าสบาย (Thermal comfort) ที่ระบุโดยดัชนีจากมาตรฐาน ASHRAE ซึ่งเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นเรียกว่า Thermal comfort calculator ที่สามารถคำนวณค่า PMV และ PPD ได้โดยไม่ต้องพึ่งพาระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ คือทำงานได้แบบ Stand alone โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ร่วมกับคอมพิวเตอร์จีแบรสบอเรรี่ไพ (Raspberry Pi) ซึ่งจะสามารถไปต่อเชื่อมกับโครงข่ายเซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่พัฒนาขึ้นโดยห้องวิจัย IES ได้ด้วย นอกจากนี้ในอนาคตก็จะสามารถโปรแกรมแบบจำลอง ANN และ NARX จากโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้จากการงานวิจัยนี้เข้าไปใน Raspberry Pi ได้เช่นกัน

5.1.2. ผลงานวิจัยส่วนที่สอง การทดสอบระบบปรับอากาศจากโรงสีอาทิพย์

งานวิจัยส่วนที่สองได้มีการนำชุดเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้นแบบไร้สาย ที่สามารถติดตั้งได้หลายจุดมาใช้ในการตรวจสอบค่าสภาวะอากาศแบบเรียลไทม์ ในขณะที่มีการทดสอบระบบปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์กระแสดรง ที่ติดตั้ง ณ หน่วยทดสอบในห้อง K-105 ของอาคาร K โดยระบบปรับอากาศรับไฟฟ้าจากชุดแบตเตอรี่ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาอาคาร K ระบบปรับอากาศออกแบบมาให้มีกำลังการทำความเย็น $5,700\text{ Btu/h}$ รับกำลังไฟฟ้า 960 Watt ที่ความต่างศักย์ 24 VDC กระแสไฟฟ้า 42.3 A ระบบปรับอากาศสามารถรักษาอุณหภูมิภายในห้องอยู่ในช่วง $23\text{--}28^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ $47\text{--}59\text{ \%RH}$ ระบบทำความเย็นได้ $4,294\text{ -- }6,316\text{ Btu/h}$ หรือโดยเฉลี่ย $5,305\text{ Btu/h}$ เครื่องปรับอากาศทำงานและสามารถถึงความร้อนได้อย่างดี ผลการประเมินความพึงพอใจต่อสภาวะน่าสบายได้ค่า AMV อยู่ในช่วงหนาวถึงค่อนข้างอุ่น แต่ส่วนใหญ่หนาวถึงค่อนข้างเย็น ผลการวิจัยแสดงว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำระบบปรับอากาศแบบไฟฟ้ากระแสดรงจากเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้กับห้องเรียนหรืออาคารเรียนที่ได้รับการออกแบบมาให้เหมาะสมต่อการติดตั้งชุดเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาได้

5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยขั้นต่อไป

งานวิจัยในขั้นตอนต่อไป ก็คือการพัฒนาโมเดล ANN ให้ใช้งานร่วมกับชุดเซนเซอร์แบบไร้สายและ Raspberry Pi อย่างเต็มรูปแบบ มีการตรวจวัดค่าสภาวะอากาศในห้องปรับอากาศแบบเรียลไทม์ มีการคำนวณค่า PMV และ PPD เพื่อป้อนสัญญาณไปควบคุมอุณหภูมิและความเร็วลมของเครื่องปรับอากาศ โดยจะประยุกต์ใช้กับระบบปรับอากาศแบบคอมเพรสเซอร์กระแสดรงที่รับไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย

โครงการนี้ไม่ได้ดำเนินการต่อเนื่อง เหตุเนื่องจากไม่ได้ขอทุนวิจัยเพิ่มเติม แต่ได้มีการนำแนวคิดการพัฒนาโครงข่ายเซนเซอร์ไปใช้กับโครงการอื่น ได้แก่ โครงการแพลตฟอร์มอากาศเพื่อความสุข 4.0 (HAP4.0) : การบริหารจัดการคุณภาพด้านอาชีวอนามัย ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม (HSE) ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่งสำหรับอุตสาหกรรมภายใต้ชุดโครงการ “อุตสาหกรรมดิจิทัล” โดยสำนักงานส่งเสริมการวิจัยแห่งชาติ (สกว.) โดยมีการติดตั้งเซนเซอร์หลายตัวที่หลายตำแหน่งเพื่อวัดค่าสภาพอากาศ (อาทิ ก๊าซและฝุ่น) และค่าสภาวะอากาศ (อาทิ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ ความเร็วลม ทิศทางลม) และได้มีการประยุกต์การใช้งานจริงแล้ว

ระบบปรบอากาศจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นควรมีการทดลองเก็บข้อมูลเพิ่มเติมให้มากกว่านี้ แต่เนื่องจากปัญหาของอายุการใช้งานแบตเตอรี่ซึ่งไม่ยาวนานนัก ทำให้ต้องจัดหางบประมาณเพื่อจัดซื้อแบตเตอรี่เพื่อดำเนินการต่อไป

