การศึกษาความเหมาะสมของการใช้ระบบปรับอากาศในสำนักงาน เพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสภาวะความสบาย

Suitability Study of Using Air Conditioning System in Office Building for Energy Conservation and Thermal Comfort Conditions

พัฒนะ เมฆขำ

PATTANA MEKKHUM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อวิทยานิพนธ์	การศึกษาความเหมาะสมของการใช้ระบบปรับอากาศในสำนักงาน เพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสภาวะความสบาย
ชื่อ นามสกุล	พัฒนะ เมฆขำ
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.จันทิมา ริ้วลายเงิน

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้ให้ความเห็นชอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว

..... ประธานกรรมการ

(ดร.อติพงศ์ นันทพันธุ์)

..... กรรมการ

(ดร.ประกอบ ชาติภุกต์)

..... กรรมการ

(ดร.จันทิมา ริ้วลายเงิน)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล)

วันที่ 18 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2563

ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาความเหมาะสมของการใช้ระบบปรับอากาศในสำนักงาน เพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสภาวะความสบาย
ชื่อ สกุล พัฒนะ เมฆขำ
ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
สาขาวิชา และคณะ วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

ปัจจุบันพื้นที่สำนักงานเช่าได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในแหล่งทำเลคุณภาพ เช่น ใกล้แหล่งอาหาร และการเชื่อมโยงคมนาคมที่สะดวกสบาย โดยเฉลี่ยประชากรไทยทำงานประมาณ 8-10 ชั่วโมงต่อวัน จำเป็นต้องมีการปรับปรุงอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงานและความสบายของพนักงาน โดยกรอบอาคารที่เป็นกระจกเป็นส่วนที่ความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาในอาคารได้สูงสุด คำนวณจากการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร (OTTV) ได้ 92.94 W/m^2 สูงกว่าที่ประกาศกระทรวงพลังงานกำหนดต้องไม่เกิน 50 W/m^2 สำหรับอาคารสำนักงาน ในการปรับปรุงกรอบอาคารด้วยการเพิ่มความหนากระจกพบว่าสามารถลดค่า OTTV ลงได้ร้อยละ 1.3 และเมื่อติดฟิล์มกระจกสามารถลดค่า OTTV ลงได้ร้อยละ 47.2 และการติดมู่ลี่บังแดดพบว่าสามารถลดค่า OTTV ลงได้ร้อยละ 48.5 ในการปรับปรุงการอนุรักษ์พลังงาน การจัดการน้ำและของเสียและการเพิ่มสภาวะความสบาย ใช้เงินลงทุนแตกต่างกัน การวิเคราะห์องค์ประกอบ คือการใช้องค์ประกอบหลายแนวทางเพื่อเลือกความเต็มใจจ่ายในแต่ละทางเลือก โดยพบว่ามี 3 มาตรการที่สามารถลดการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานเช่าได้คือ (1) มาตรการการอนุรักษ์พลังงาน (2) การใช้ทรัพยากรอย่างเหมาะสม (3) การเพิ่มสภาวะความสบาย จากผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 30 คน พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามมีค่าความเต็มใจจ่ายรวม 39,090 บาท โดยเป็นมาตรการที่ (1), (2) และ (3) เท่ากับ 19,935.90, 17,590.50 และ 1,563.60 บาท/ปี ตามลำดับ โดยเก็บจากกองทุนสวัสดิการของพนักงานในองค์กร พบว่ามาตรการที่ (1) นำเงินไปติดมู่ลี่สามารถลดค่า OTTV ได้ 47.8 W/m^2 ส่วนมาตรการที่ (2) เงินลงทุน 18,000 บาท นำไปปรับปรุงเป็นเงินกลับคืนสู่องค์กรได้เฉลี่ยปีละ 5,400 บาท และมาตรการสุดท้ายสามารถทำให้พนักงานในองค์กรรู้สึกสบายเพิ่มขึ้นจากการปรับปรุงอาคาร เช่น การติดพัดลมตั้งโต๊ะขนาดเล็ก ซึ่งผลจากการศึกษาดังกล่าวคาดว่าจะสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงอาคารสำนักงานเช่าได้ในอนาคต

คำสำคัญ : การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร, สภาวะความสบาย, ค่าความเต็มใจจ่าย, การวิเคราะห์องค์ประกอบร่วม

Thesis title	Suitability Study of Using Air Conditioning System in Office Building for Energy Conservation and Thermal Comfort Conditions
Author	Pattana Mekkhum
Degree	Master of Engineering (Mechanical Engineering)
Major program	Mechanical Engineering Faculty of Engineering
Academic Year	2020

ABSTRACT

Presently, Rental office is famous in downtown that near food center and have good transportation. In Thailand, office buildings usually have operating time 8-10 hours per day. So, need to improve the building for energy conservation and employee's comfort. Glasses are one way that heat transfers occur highly. Overall Thermal Transfer Value (OTTV) is a tool for measure heat transfers through building envelope. From OTTV calculation for existing building, OTTV is 92.94 W/m^2 that over ministerial regulations indicate 50 W/m^2. Improving building envelope by add more thickness of glasses can reduce OTTV 1.3% and improving building envelope by film installation can reduce OTTV 47.2% and improving building envelope by add shading can reduce OTTV 48.5%. However, each improving policy have each investment cost. Conjoint analysis is consider of many factor to find willingness to pay for each choice. So, set policies for energy conservation, water and waste management and increase comfort are employees to improve energy conservation, water and waste management and increase comfort are 19,935.90, 17,590.50 and 1,563.60 baht respectively, so can improve building envelope by add shading result in OTTV to 47.8 W/m^2, Budget 18,000 Baht can be improve organization that payback about 5,400 Baht per year. Increase thermal comfort by install table fan. From the result of research expect to apply to improve rental office in the future.

Keywords : Overall Thermal Transfer Value, Thermal Comfort, Willingness to Pay, Conjoint Analysis

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยการสนับสนุนเป็นอย่างดีของ ดร.จันทิมา ริ้วลายเงิน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือ และแนวทางในการปรับปรุงแก้ไข เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ รวมถึงคณะผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ทุกท่านของสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณบิดามารดา และครูอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ อบรมสั่งสอนจนประสบความสำเร็จในการศึกษา นอกจากนั้นขอขอบคุณทุกๆท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ที่ไม่ได้เอ่ยนามถึง ขอขอบคุณบริษัท มิตรเทคนิคัลคอนซัลแท้นท์ จำกัด ที่ให้การอนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้

พัฒนะ เมฆขำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	4
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรม	5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.2 การทบทวนวรรณกรรม	24
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	27
3.1 วิธีดำเนินการวิจัย	27
3.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารสำนักงานเช่าปัจจุบัน	27
3.3 คำนวณภาระความร้อนที่เกิดจากภายในของสำนักงานเช่าปัจจุบัน	30
3.4 กำหนดมาตรการลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร	30
3.5 กำหนดมาตรการเพื่อออกแบบแบบสอบถาม	31
3.6 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลจากแบบสอบถาม	32
3.7 การคำนวณหาค่าความเต็มใจจ่าย	35
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและวิเคราะห์	37
4.1 ผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของสำนักงานเช่าปัจจุบัน	37
4.2 ผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของสำนักงานเช่าปัจจุบัน	38
4.3 กำหนดมาตรการในการปรับปรุงกรอบอาคาร และคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมโดยการเพิ่มความหนากระจกด้วยวัสดุกระจกเดิม	39
4.4 ติดฟิล์มกระจกเพื่อให้ค่า SHGC มีค่า 0.20	40
4.5 ติดมู่ลี่บังแสงที่กระจกเพื่อให้ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient: SC) มีค่า 0.40	41

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6 เพิ่มความหนากระจกจากเดิม 13.52 mm ให้เป็น 17.52 mm โดยใช้วัสดุกระจกชนิดเดียวกับปัจจุบันและติดฟิล์มที่กระจกเพื่อให้ค่า SHGC	42
4.7 เพิ่มความหนากระจกจากเดิม 13.52 mm ให้เป็น 17.52 mm. มีค่า 0.20 โดยใช้วัสดุกระจกชนิดเดียวกับปัจจุบันและติดมูลี่บังแดดที่กระจกเพื่อให้ค่า SC มีค่า 0.4	43
4.8 ติดฟิล์มกระจกให้มีค่า SHGC 0.20 และติดมูลี่บังแดดที่กระจกเพื่อให้ค่า SC มีค่า 0.4	45
4.9 เพิ่มความหนากระจกจากเดิม 13.52 mm ให้เป็น 17.52 โดยใช้วัสดุกระจกชนิดเดียวกับปัจจุบันและติดฟิล์มกระจกให้มีค่า SHGC 0.20 และติดมูลี่บังแดดที่กระจกเพื่อให้ค่า SC มีค่า 0.4	46
4.10 กำหนดมาตรการในการจัดการน้ำและของเสียโดยการเปลี่ยนสุขภัณฑ์เป็นชนิดประหยัดน้ำ	48
4.11 กำหนดมาตรการในการจัดการน้ำและของเสียโดยการควบคุมการเปิดปิดอ่างล้างมือและโถปัสสาวะด้วยอุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor)	48
4.12 กำหนดมาตรการในการจัดการน้ำและของเสียโดยการการนำกระดาษที่ใช้แล้วกลับมาใช้ด้านหลัง	49
4.13 กำหนดมาตรการในการเพิ่มความสบายโดยการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเครื่องใหม่ที่สามารถทำอุณหภูมิที่ 25°C ได้	50
4.14 กำหนดมาตรการในการเพิ่มความสบายโดยการติดพัดตัวเล็กประจำโต๊ะทำงานของพนักงานแต่ละคน	51
4.15 กำหนดมาตรการในการเพิ่มความสบายโดยการปรับเปลี่ยนชุดทำงานของบริษัทให้เป็นผ้าที่ระบายอากาศได้ดี	52
4.16 วิเคราะห์ค่าความเต็มใจจ่ายจากข้อมูลผู้บริหารและหัวหน้างาน	53
4.17 วิเคราะห์ค่าความเต็มใจจ่ายจากพนักงานจำนวน 30 คน	55
บทที่ 5 อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	58
5.1 การอภิปรายผล	58
5.2 ข้อเสนอแนะ	60
บรรณานุกรม	61
ภาคผนวก	65
ภาคผนวก ก ตารางแสดงข้อมูลในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร	66
ภาคผนวก ข ผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร	75

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ค แบบสอบถามที่ใช้เก็บข้อมูล 80
ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและความเต็มใจจ่ายของพนักงานข้อมูล 97
ภาคผนวก จ ขั้นตอนการใช้โปรแกรม N-Logit 100
ภาคผนวก ฉ บทความเข้าร่วมประชุมทางวิชาการ 104
ประวัติการศึกษาและการทำงาน 125

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	เกณฑ์ OTTV ในแต่ละประเภท	3
2.1	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังอาคาร	8
2.2	ขั้นตอนการศึกษาการวิเคราะห์องค์ประกอบร่วม	15
3.1	ข้อมูลพื้นที่วัสดุกรอบอาคาร	29
3.2	คุณสมบัติวัสดุทึบปัจจุบัน	29
3.3	ข้อมูลคุณสมบัติวัสดุโปร่งแสงปัจจุบัน	29
3.4	ข้อมูลคุณสมบัติวัสดุโปร่งแสงที่ติดฟิล์มกระจก	31
3.5	มาตรการอนุรักษ์พลังงาน	32
3.6	มาตรการจัดการน้ำและของเสีย	32
3.7	มาตรการเพื่อความสบาย	33
3.8	ชุดตัวเลือกของแบบสอบถาม	35
3.9	ตัวอย่างแบบสอบถาม	36
4.1	ภาระความร้อนที่เกิดภายใน	38
4.2	เปรียบเทียบการใช้น้ำของสุขภัณฑ์ก่อนและหลังการเปลี่ยนเป็นชนิดประหยัดน้ำ	49
4.3	เปรียบเทียบการใช้น้ำของอ่างล้างมือและโถปัสสาวะ ก่อนและหลังติดอุปกรณ์ตรวจจับการเปิด	49
4.4	เปรียบเทียบการใช้กระดาษโดยเฉลี่ยต่อเดือน	49
4.5	ค่าความเต็มใจจ่ายของพนักงานต่อคนสำหรับการอนุรักษ์พลังงาน จากข้อมูลผู้บริหารและหัวหน้างานจำนวน 4 คน	53
4.6	ค่าความเต็มใจจ่ายของพนักงานต่อคนสำหรับการจัดการน้ำและของเสีย จากข้อมูลผู้บริหารและหัวหน้างานจำนวน 4 คน	54
4.7	ค่าความเต็มใจจ่ายของพนักงานต่อคนสำหรับการเพิ่มความสบาย จากข้อมูลผู้บริหารและหัวหน้างานจำนวน 4 คน	54
4.8	ค่าความเต็มใจจ่ายของพนักงานต่อคนสำหรับการอนุรักษ์พลังงาน จากข้อมูลพนักงาน 30 คน	55
4.9	ค่าความเต็มใจจ่ายของพนักงานต่อคนสำหรับการจัดการน้ำและของเสีย จากข้อมูลพนักงาน 30 คน	56
4.10	ค่าความเต็มใจจ่ายของพนักงานต่อคนสำหรับการเพิ่มความสบาย จากข้อมูลพนักงาน 30 คน	56

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	จำนวนชั่วโมงการทำงานเฉลี่ยต่อปีของเมืองต่างๆทั่วโลก	2
1.2	สัดส่วนการใช้พลังงานภายในอาคาร	2
1.3	ขอบเขตพื้นที่ที่ทำการศึกษา	4
2.1	ค่าความต้านทานความร้อนจากวัสดุต่างชนิดกัน	7
2.2	ค่าความต้านทานความร้อนจากวัสดุต่างชนิดกันและมีช่องว่างอากาศภายใน	7
2.3	ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของอาคารบนพื้นโลกตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์	9
2.4	การเปลี่ยนแปลงของค่าเดคลิเนชั่นในรอบปี	11
2.5	ตำแหน่งและระนาบและจุดต่างๆที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์	11
2.6	ค่า PMV ที่ตัวแปรต่างๆกัน	14
3.1	พื้นที่สำนักงานเช่าที่ทำการศึกษา	28
3.2	ขั้นตอนวิธีการศึกษา	33
3.3	ตัวอย่างผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม N-Logit	36
4.1	ผลการเปรียบเทียบค่า OTTV ก่อนปรับปรุงของผนังโปร่งแสงและผนังทึบ	38
4.2	ผลการเปรียบเทียบค่า OTTV ของผนังโปร่งแสงและผนังทึบจากการเพิ่มความหนาของกระจก	40
4.3	ผลการเปรียบเทียบค่า OTTV ของผนังโปร่งแสงและผนังทึบจากการติดฟิล์มกระจก	41
4.4	ผลการเปรียบเทียบค่า OTTV ของผนังโปร่งแสงและผนังทึบจากการติดมู่ลี่บังแดด	42
4.5	ผลการเปรียบเทียบค่า OTTV ของผนังโปร่งแสงและผนังทึบจากการเพิ่มความหนาและติดฟิล์มกระจก	44
4.6	ผลการเปรียบเทียบค่า OTTV ของผนังโปร่งแสงและผนังทึบจากการเพิ่มความหนาและติดมู่ลี่บังแดดกระจก	45
4.7	ผลการเปรียบเทียบค่า OTTV ของผนังโปร่งแสงและผนังทึบจากการติดฟิล์มกระจกและติดมู่ลี่บังแดดกระจก	46
4.8	ผลการเปรียบเทียบค่า OTTV ของผนังโปร่งแสงและผนังทึบจากการเพิ่มความหนากระจก, ติดฟิล์มกระจกและติดมู่ลี่บังแดดกระจก	47
4.9	เปรียบเทียบผลการคำนวณค่า OTTV	48
4.10	ช่วงความสบายของสภาวะก่อนปรับปรุง	50
4.11	ช่วงความสบายของสภาวะอุณหภูมิ 25°C	51
4.12	ช่วงความสบายของสภาวะจากการติดพัดลมประจำโต๊ะ	52
4.13	ช่วงความสบายของสภาวะจากการปรับเปลี่ยนเสื้อพนักงาน	53

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.14 วิเคราะห์ผลข้อมูลและค่าความเต็มใจจ่ายจากข้อมูลผู้บริหารและหัวหน้างาน 54
4.15 สภาวะความสบายของผู้บริหารและหัวหน้างาน 55
4.16 วิเคราะห์ผลข้อมูลและค่าความเต็มใจจ่ายจากข้อมูลพนักงาน 30 คน 56
4.17 สภาวะความสบายของผู้บริหารและหัวหน้างาน 57
4.18 เปรียบเทียบสภาวะความสบายของผู้บริหารและหัวหน้างานกับพนักงาน 30 คน 57

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์/คำย่อ	คำเต็ม/คำจำกัดความ
$OTTV$	ค่าถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร (W/m^2)
U_w	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมรวมผ่านผนังทึบ ($W/m^2 \cdot °C$)
U_f	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมรวมผ่านผนังกระจก ($W/m^2 \cdot °C$)
TD_{eq}	ผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างอุณหภูมิภายในพื้นที่และอุณหภูมิภายนอก (°C)
ΔT	ผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างอุณหภูมิภายในพื้นที่และอุณหภูมิภายนอก (°C)
A_W	พื้นที่ผนังทึบ (m^2)
A_f	พื้นที่กระจก (m^2)
A_t	พื้นที่รวมผนังและกระจก (m^2)
SC	สัมประสิทธ์การบังแดด (Shading Coefficient)
$SHGC$	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจก
ESC	ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสงหรือผนังทึบ (W/m^2)
WWR	อัตราส่วนผนังกระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (Window to Wall Ratio)]
t_s	เวลาสุริยะ
t_l	เวลามาตรฐานท้องถิ่น
L_{gs}	เส้นแวงหลักมาตรฐานสำหรับประเทศไทยเท่ากับ 105 องศาตะวันออก
L_{gl}	เส้นแวงของตำแหน่งที่พิจารณาสำหรับประเทศไทยให้ใช้ค่าเท่ากับ 100.5 องศาตะวันออก
E_{qt}	สมการของเวลา หรือผลต่างของเวลาสุริยะกับเวลาปกติ (นาที)
L_t	เส้นรุ้ง (Latitude)
δ	มุมเบี่ยงของดวงอาทิตย์หรือมุมเดคลิเนชั่น(Declination angle) (rad)
ω	มุมแทนตำแหน่งของดวงอาทิตย์ก่อนหรือหลังเวลาเที่ยงสุริยะ (rad)
β	มุมเอียง (Inclination angle)
γ_p	มุมอะซิมุท (Azimuth of surface)
E_{ew}	รังสีอาทิตย์ที่ผ่านอุปกรณ์บังแดดมาตกกระทบบนหน้าต่างที่พิจารณา (W/m^2)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์/คำย่อ	คำเต็ม/คำจำกัดความ
$E_{et\theta}$	รังสีรวมของดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกกระทบบนหน้าต่างที่พิจารณา เสมือนหนึ่งไม่มีอุปกรณ์บังแดด (W/m^2)
PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied
M	อัตราเมตาบอริซึม (kcal/h)
I_{cl}	ค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า (clo)
I_{cl}	อุณหภูมิของอากาศ (˚C)
T_{mrt}	อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน (˚C)
v	ความเร็วลม (m/s)
P_v	ความดันไอของอากาศ (mmHg)
T_{cl}	อุณหภูมิภายนอกของเสื้อผ้า (˚C)
h_c	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (kcal/m^2.hr.˚C)
f_{cl}	ค่าอัตราส่วนพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยเสื้อผ้าต่อพื้นที่ไม่ได้ปกคลุมด้วยเสื้อผ้า
P_s	ความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิใดๆ (mmHg)

บทที่ 1

บทนำ

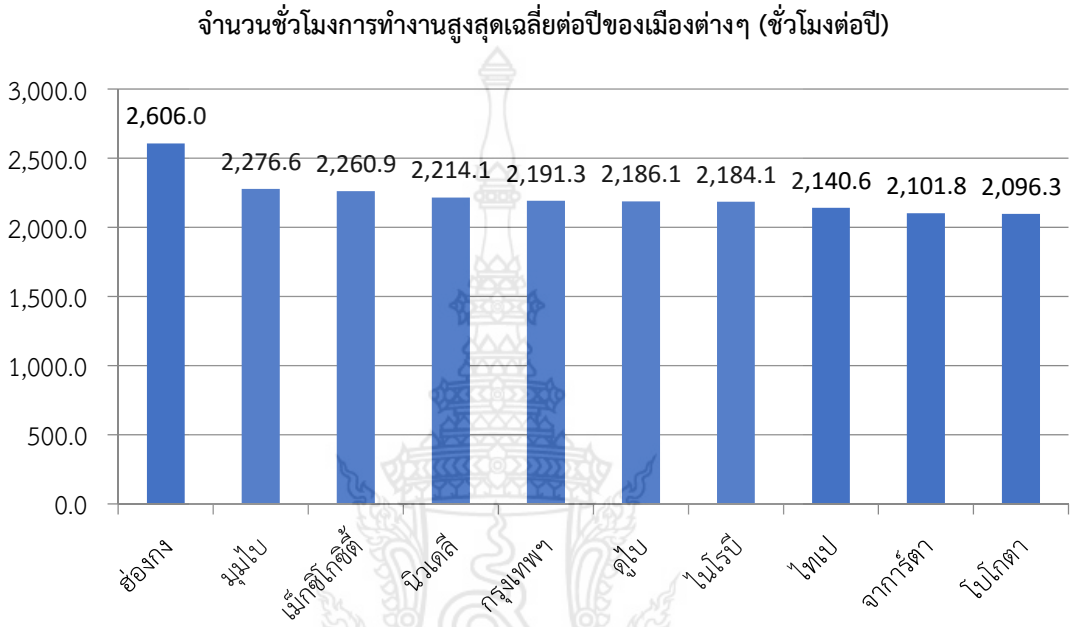
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมา พื้นที่สำนักงานเช่าได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในแหล่งทำเลคุณภาพ เช่น ใกล้แหล่งอาหาร และการเชื่อมโยงคมนาคมที่สะดวกสบาย อาคารเหล่านี้ส่วนใหญ่อยู่ใจกลางเมืองและมีการก่อสร้างมากกว่า 20 ปี หลายหน่วยงานเมื่อทำสัญญาเช่าแล้ว จำเป็นต้องมีการปรับปรุงอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและความสบายของพนักงาน การใช้พลังงานส่วนใหญ่ของอาคารอยู่ที่ระบบปรับอากาศ ระบบปรับอากาศเป็นระบบที่สำนักงานเช่าส่วนใหญ่ควรปรับปรุง เนื่องจากเช่น เครื่องปรับอากาศระบบเดิมมีความล้าสมัย หรืออาคารดังกล่าวใช้ระบบท่อส่งลมเย็น (Air Handling Unit: AHU) ซึ่งมีเวลาในการเปิด – ปิด ที่ชัดเจน ซึ่งไม่สอดคล้องกับการทำงานของพนักงาน และนอกจากนี้ระบบดังกล่าวภายในอาคารติดตั้งตั้งก่อสร้างอาคาร ประสิทธิภาพการทำความเย็นลดลง บวกกับปัจจุบัน การติดต่อสื่อสารกับลูกค้าภาพลักษณ์ในมุมด้านบุคลิกภาพของพนักงานต้องเด่นชัด

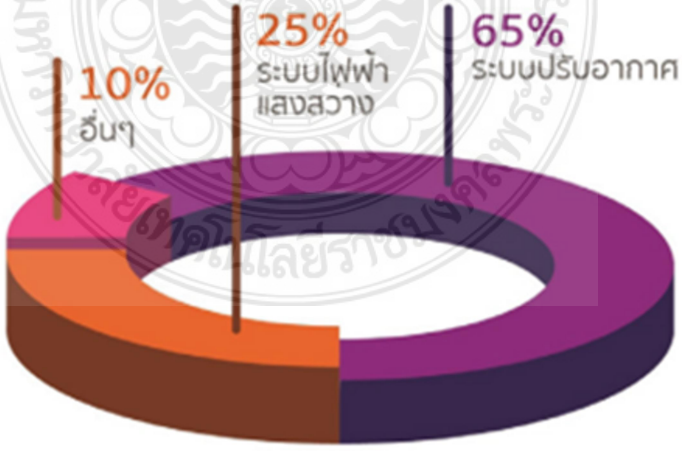
จากการสำรวจของ BLT [1] พบว่าคนกรุงเทพฯ มีค่าเฉลี่ยชั่วโมงการทำงานสูงเป็นอันดับ 5 ของโลก เฉลี่ย 40-44 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ หรือสัปดาห์ละ 5 วัน ตั้งแต่วันจันทร์ – วันศุกร์ เฉลี่ยวันละ 8 ชั่วโมง ดังรูปที่ 1.1 หมายความว่าภายในสำนักงานต้องมีระบบปรับอากาศเพื่อทำให้พนักงานที่ต้องใช้เวลาส่วนใหญ่อยู่ในสำนักงานเกิดสภาวะความสบายและทำให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานที่ดี พบว่าการปรับอากาศเพื่อความสบาย (Comfort air conditioning) คือการปรับสภาวะอากาศสำหรับให้ผู้ที่อาศัยในพื้นที่นั้นๆ รู้สึกสบาย โดยสภาวะสบายอาจขึ้นกับหลายปัจจัยที่นอกเหนือจากอุณหภูมิและความชื้น ได้แก่ การสวมเสื้อผ้า กิจกรรมในบริเวณนั้น ความเร็วลม การเผาผลาญพลังงานของแต่ละคน วัย และเพศ เป็นต้น ขึ้นอยู่กับความเร็วลมและเสื้อผ้าที่สวมใส่ [2] ทั้งนี้สำนักงานส่วนใหญ่ที่ติดตั้งระบบปรับอากาศขนาดใหญ่พบว่าอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่ทำให้รู้สึกไม่สบาย เช่น รู้สึกร้อนเกินไป จำเป็นต้องให้ผู้เช่าติดเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพิ่ม และกำหนดระยะเวลาเปิดปิดเอง ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้น

การใช้พลังงานในภาคอาคารพบว่าสามารถแบ่งสัดส่วนการใช้พลังงานเป็นของระบบปรับอากาศร้อยละ 65 ระบบไฟฟ้าแสงสว่างร้อยละ 25 และระบบอื่นๆร้อยละ 10 ดังรูปที่ 1.2 จะเห็นได้ว่าระบบปรับอากาศเป็นระบบที่ใช้พลังงานสูงที่สุดในอาคาร โดยคิดเป็นร้อยละ 65 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด ทำให้มาตรการในการการประหยัดพลังงานในอาคารส่วนใหญ่จึงมุ่งเน้นไปที่การลดใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ จำเป็นต้องมีการปรับปรุงกรอบอาคารอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน โดยการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง (Overall Thermal Transfer Value: OTTV) สามารถเป็นแนวทางในการพิจารณาปรับปรุงอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศได้ สำหรับอาคารสำนักงานมีเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของระบบกรอบอาคารไว้ โดยกฎกระทรวงกำหนดประเภท

หรือขนาดของอาคารและมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 [4] ดังตารางที่ 1.1 สำหรับอาคารสำนักงานเช่าค่า OTTV ควรน้อยกว่าหรือเท่ากับ 50 W/m^2



รูปที่ 1.1 จำนวนชั่วโมงการทำงานเฉลี่ยต่อปีของเมืองต่างๆทั่วโลก [1]



รูปที่ 1.2 สัดส่วนการใช้พลังงานภายในอาคาร [3]

ตารางที่ 1.1 เกณฑ์ OTTV ในแต่ละประเภท [4]

ประเภทอาคาร	OTTV (W/m^2)
สำนักงาน สถานศึกษา	≤ 50
โรงมหรสพ อาคารชุมนุมชน ห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า	≤ 40
โรงพยาบาล โรงแรม อาคารชุด	≤ 30

ความสบายของผู้อยู่อาศัยในสำนักงานเป็นสิ่งสำคัญ พบว่ามีหลายปัจจัยที่ส่งผลถึงสภาวะความสบายของคนที่นอกเหนือจากอุณหภูมิและความชื้น เช่น ความเร็วลมโดยใช้การพัดลมขนาดเล็ก เพื่อเพิ่มความเร็วลมภายในห้องที่ปรับอากาศส่งผลให้เกิดความสบายของผู้อยู่อาศัยและช่วยให้ประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศเพิ่มขึ้น [5] โดยขณะที่อุณหภูมิในห้องสูงถึง 26±0.5–28±0.5 องศาเซลเซียส เรายังคงรู้สึกสบายได้ถ้ามีความเร็วลมผ่านตัวเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.5-0.9 เมตรต่อวินาที [6] และเมื่อมีการเปิดพัดลมระบายอากาศจะทำให้อากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูงไหลเข้ามาในพื้นที่ ส่งผลให้ในพื้นที่มีความชื้นสูงทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกไม่สบายตัว [7] โดยขึ้นอยู่กับแต่ละบคคล

นอกจากระบบปรับอากาศ ในด้านสุขภาพพบว่าคุณภาพอากาศที่ดีช่วยลดการเกิดการเกิดโรคเจ็บป่วยจากการอยู่ในอาคาร (Sick building syndrome) ได้สูงสุดถึงร้อยละ 50 และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพจากการทำงาน [8] ซึ่งในการปรับปรุงเพื่อลดการใช้พลังงาน ประหยัดทรัพยากรและเพื่อสุขภาวะที่ดีของผู้ทำงานในสำนักงาน จำเป็นต้องมีการลงทุนเพื่อการปรับปรุงอาคารทั้งสิ้น ดังนั้นการศึกษาความเต็มใจที่จ่ายมากหรือน้อยในสำนักงานให้เช่า เพื่อที่ให้เป็นอาคารประหยัดพลังงานนั้นย่อมแตกต่างกัน เนื่องจากแต่ละบุคคลมีความเต็มใจจ่ายไม่เท่ากัน [9]

การปรับปรุงอาคารที่อยู่อาศัยให้ดีขึ้นทั้งในการอนุรักษ์พลังงานและให้เกิดความสบายจำเป็นต้องใช้เงินลงทุนเพื่อปรับปรุง อาคารสำนักงานต้องใช้เงินลงทุนจากผู้บริหารหรือหักจากเงินปันผลของพนักงานเพื่อทำการปรับปรุง เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบร่วม (Conjoint Analysis) เป็นวิธีการทางเศรษฐศาสตร์ที่นำหลายองค์ประกอบมารวมกัน เพื่อหาความเต็มใจจ่าย ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาการศึกษาแนวทางอนุรักษ์พลังงานและเพิ่มสุขภาวะที่เหมาะสมในอาคารสำนักงานโดยใช้พื้นที่อาคารสำนักงานเช่าแห่งหนึ่งเพื่อทำการศึกษาหาจุดเหมาะสมระหว่างด้านการอนุรักษ์พลังงานและทรัพยากรรวมถึงทางด้านสุขภาพ เพื่อเป็นตัวอย่างแนวทางในการปรับปรุงสำนักงานที่จะประหยัดพลังงานต่อไป

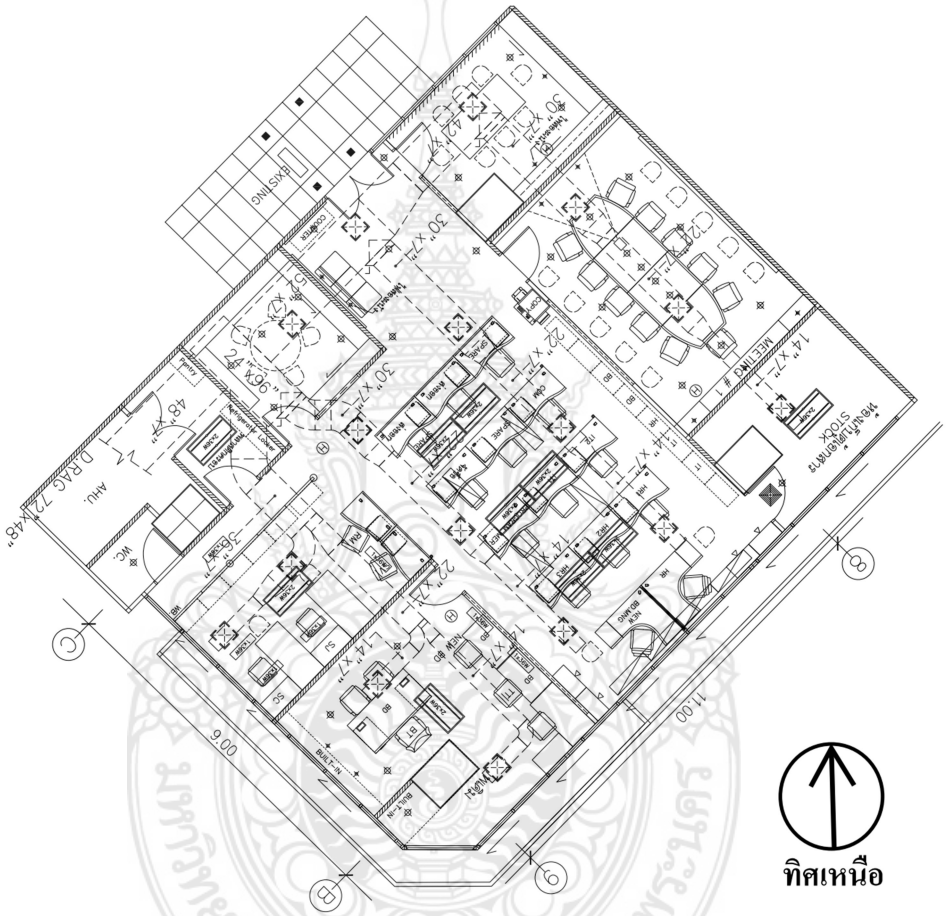
1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการอนุรักษ์พลังงานจากระบบปรับอากาศ

1.2.2 เพื่อศึกษาความเหมาะสมในการใช้ระบบปรับอากาศในสำนักงานเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสภาวะความสบาย

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ทำการคำนวณค่าถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารในสำนักงานให้เช่าพิกัดอยู่ในละติจูด 13°43’26” เหนือ ลองติจูด 100°32’28” ตะวันออก เขตสาทร จ.กรุงเทพมหานคร มีขนาดพื้นที่ 16x14 m^2 สูง 2.7 m ชั้นที่ทำการศึกษาคือชั้นที่ 12 ของอาคารสำนักงานจำนวน 37 ชั้น พื้นที่ใช้สอย 35,000 m^2 ประกอบด้วยห้องประชุม ห้องเก็บเอกสาร ห้องเตรียมอาหาร พื้นที่สำนักงาน ห้องทำงานหัวหน้า ห้องเครื่อง AHU และห้องน้ำ



รูปที่ 1.3 ขอบเขตพื้นที่ที่ทำการศึกษา

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 สามารถลดการพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาทางกรอบอาคารได้

1.4.2 สามารถทราบความเต็มใจจ่ายของพนักงานและเป็นแนวทางในการปรับปรุงสำนักงานเช่าต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรม

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร คือ ค่าที่แสดงถึงปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารผ่านผนัง ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิของอากาศภายนอกและปริมาณความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคารมีหน่วยเป็น W/m^2 หลักการในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมนี้ อาศัยทฤษฎีของการถ่ายเทความร้อน พบว่าความร้อนที่ผ่านกรอบอาคารเข้าสู่ภายในบริเวณอาคารนั้น ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

1. ความร้อนจากการนำความร้อนผ่านผนังทึบ
2. ความร้อนจากการนำความร้อนผ่านกระจก
3. ความร้อนจากการแผ่รังสีอาทิตย์ผ่านกระจก

เมื่อนำความร้อนทั้ง 3 ส่วน มาเฉลี่ยค่าตามพื้นที่จะได้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม [10] สามารถหาค่า OTTV ของผนังแต่ละด้านดังสมการที่ (2.1)

$$OTTV_i = \frac{\left(A_w \times U_w \times T_{eq}\right) + \left(A_f \times U_f \times \Delta T\right) + \left(A_f \times SHGC \times ESR \times SC\right)}{A_i} \quad (2.1)$$

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกทั้งหมดของอาคาร (OTTV) คือค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักแล้วของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน ($OTTV_i$) คำนวณได้จากสมการที่ (2.2)

$$OTTV = \frac{\sum\left(OTTV_i \times A_i\right)}{\sum A_i} \quad (2.2)$$

จากสมการที่ (2.1) สามารถเขียนอยู่ในรูปของอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา (WWR) ได้ดังสมการที่ (2.3)

$$OTTV_i = \left(U_w\right)\left(1-WWR\right)\left(TD_{eq}\right) + \left(U_f\right)\left(WWR\right)\left(\Delta T\right) + \left(WWR\right)\left(SHGC\right)\left(SC\right)\left(ESR\right) \quad (2.3)$$

โดย

U_w = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมรวมผ่านผนังที่ ($W/m^2 \cdot °C$)

U_f = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมรวมผ่านผนังกระจก (W/m^2·°C)

TD_{eq} = ผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างอุณหภูมิภายในพื้นที่และอุณหภูมิภายนอก (°C)

ΔT = ผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างอุณหภูมิภายในพื้นที่และอุณหภูมิภายนอก (°C)

A_W = พื้นที่ผนังทึบ (m^2)

A_f = พื้นที่หรือผนังกระจก (m^2)

A_t = พื้นที่รวมผนังและกระจก (m^2)

SC = สัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading coefficient)

$SHGC$ = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านผนังโปร่งแสง

ESR = ความรังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสงหรือผนังทึบ (W/m^2)

2.1.2 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (U_w)

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Heat Transfer Coefficient, U) คือ ส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อนรวม คำนวณจากสมการที่ (2.4)

$$U = \frac{1}{R_T} \tag{2.4}$$

โดย

R_T = ค่าความต้านทานความร้อนรวม (Total thermal resistance) (m^2·°C/W)

และค่าค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุใดๆสามารถหาได้จากสมการที่ 2.5

$$R = \frac{\Delta x}{k} \tag{2.5}$$

โดย

R = ค่าความต้านทานความร้อน (m^2·°C/W)

Δx = ความหนาของวัสดุ (m)

k = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (W/m·°C)

เมื่อได้ค่าความต้านทานของวัสดุใดๆมาแล้วสามารถคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนรวมได้จากสมการที่ (2.6) และรูปที่ 2.1

$$R_T = R_0 + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \ldots + \frac{\Delta x_n}{k_n} + R_i \qquad (2.6)$$

โดย

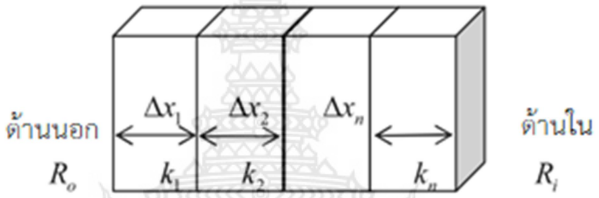
R_T = ค่าความต้านทานความร้อนของผนังอาคาร ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)

R_o = ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายนอกอาคาร ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)

R_i = ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายในอาคาร ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)

$\Delta x_1, \Delta x_2, ..., \Delta x_n$ = ค่าความหนาของวัสดุแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นผนังอาคาร (m)

$k_1, k_2, ..., k_n$ = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นผนังอาคาร ($W/m \cdot ^\circ C$)



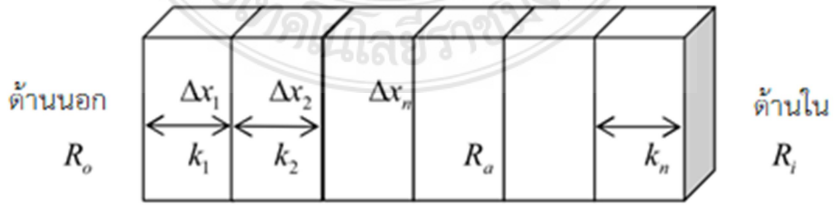
รูปที่ 2.1 ค่าความต้านทานความร้อนจากวัสดุต่างชนิดกัน

ในกรณีที่ผนังมีช่องว่างอากาศอยู่ภายในผนังจะทำให้เพิ่มค่าต้านทานของอากาศเข้ามาดังสมการที่ (2.7) และรูปที่ 2.2

$$R_T = R_0 + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \ldots + R_a + \ldots + \frac{\Delta x_n}{k_n} + R_i \qquad (2.7)$$

โดย

R_a = ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศภายในผนัง ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)



รูปที่ 2.2 ค่าความต้านทานความร้อนจากวัสดุต่างชนิดกันและมีช่องว่างอากาศภายใน

ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศบนพื้นผิวของผนังอาคารขึ้นอยู่กับการเคลื่อนไหวของอากาศที่บริเวณโดยรอบพื้นผิวของผนังอาคารและค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Thermal emittance) ของผนังอาคารตามค่าที่กำหนดในตารางที่ 2.1 โดยที่พื้นผิวผนังทั่วไป จะมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูงและกรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำจะใช้เฉพาะกรณีที่พื้นผิวของผนังอาคารเป็นผิวสะท้อนรังสี เช่น ผนังที่มีการติดแผ่นฟอยล์สะท้อนรังสี เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังอาคาร

ชนิดของผิววัสดุที่ใช้ทำผนัง	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ($m^2 \cdot °C/W$)	
	ที่ผิวผนังด้านใน (R_i)	ที่ผิวผนังด้านนอก (R_o)
กรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.12	0.044
กรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.299	-

ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และคุณสมบัติอื่นๆของวัสดุขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาใช้ซึ่งจะมีค่าที่แตกต่างกันไป

2.1.3 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent Temperature Difference : TD_{eq})

ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร รวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ ซึ่งขึ้นกับช่วงระยะเวลาในการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ มวลของวัสดุผนัง ทิศทางและมุมเอียงของผนัง โดยขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์และค่าผลคูณของ ความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของวัสดุผนัง ทิศทางและมุมเอียงของผนัง โดยค่าผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะแสดงในสมการที่ (2.8) และในกรณีที่ผนังมีช่องว่างอากาศอยู่ภายใน ให้ถือว่าช่องว่างอากาศดังกล่าวนั้นไม่ทำให้ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนังเปลี่ยนแปลงไป

$$DSH_i = (\rho_i)(c_{pi})(\Delta x_i) \tag{2.8}$$

โดย

DSH_i = ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของวัสดุ i ($kJ/(m^2.°C)$)

ρ_i = ความหนาแน่นของวัสดุ i (kg/m^3)

c_{pi} = ความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ ($kJ/(kg.°C)$)

Δx_i = ความหนาของวัสดุ i (m)

2.1.4 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง (U_f)

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Heat Transfer Coefficient, U) คือ ส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อนรวม คำนวณจากสมการที่ (2.4)

2.1.5 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร

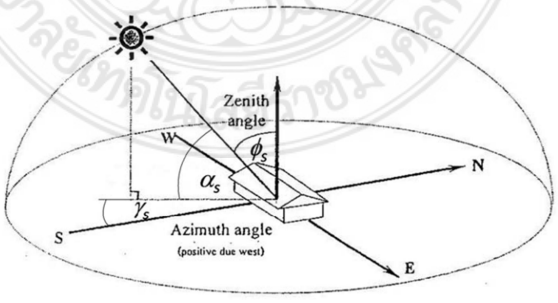
ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร คือ ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศภายในบริเวณปรับอากาศของอาคารกับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร ซึ่งใช้ในการคำนวณการนำความร้อนผ่านกระจกหรือผนังโปร่งแสง

2.1.6 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient : SHGC)

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ คือ อัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านวัสดุผนังและหลังคาส่วนที่โปร่งแสงหรือโปร่งใสของช่องแสง และก่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าภายในอาคาร ค่าดังกล่าวรวมผลของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงโดยตรงกับการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากรังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้ในตัวกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงเข้ามายังภายในอาคาร

2.1.7 สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร คือ อัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ลอดผ่านอุปกรณ์บังแดดไปตกกระทบยังส่วนโปร่งแสงหรือกระจกของหน้าต่าง โดย ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อจุดใด ๆ บนพื้นโลก สามารถระบุได้โดยอาศัยมุมเงยหรือมุมยกขึ้นของดวงอาทิตย์ (Altitude) ซึ่งเป็นมุมที่แนวรังสีตรงของดวงอาทิตย์กระทำกับแนวระดับของพื้นโลก และมุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์ (Azimuth) ซึ่งเป็นมุมที่ตำแหน่งดวงอาทิตย์ในแนวระนาบกระทำกับทิศใต้ของโลก



รูปที่ 2.3 ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของอาคารบนพื้นโลก

ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ [4]

โดยเวลาสุริยะ คือ เวลาที่สอดคล้องกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดยเวลาที่ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่มีค่ามุมเงยหรือมุมยกขึ้น (Altitude) สูงสุด คือ เวลาเที่ยงสุริยะ (Solar noon) ซึ่งเวลาเวลาสุริยะหาได้จากสมการที่ (2.9)

$$t_s = t_l - 4\left(L_{gs} - L_{gl}\right) + E_{qt} \tag{2.9}$$

โดย

t_s = เวลาสุริยะ

t_l = เวลามาตรฐานท้องถิ่น

L_{gs} = เส้นแวงหลักมาตรฐานสำหรับประเทศไทยเท่ากับ 105 องศาตะวันออก

L_{gl} = เส้นแวงของตำแหน่งที่พิจารณาสำหรับประเทศไทย ให้ใช้ค่าเท่ากับ 100.5 องศาตะวันออก

E_{qt} = สมการของเวลา (Equation of time) หรือผลต่างของเวลาสุริยะกับเวลาปกติ (นาที)

โดยค่าสมการของเวลาสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.10) และ (2.11)

$$E_{qt} = 9.81(\sin 2B) - 7.53(\cos B) - 1.5\left(\sin B\right) \tag{2.10}$$

$$B = \frac{\left(360^{\circ}\right)\left(j_d - 81\right)}{364} \tag{2.11}$$

โดย

L_t = เส้นรุ้ง (Latitude) ของตำแหน่งที่พิจารณา

δ = มุมเบี่ยงของดวงอาทิตย์หรือมุมเดคลิเนชั่น (Declination angle) (rad)

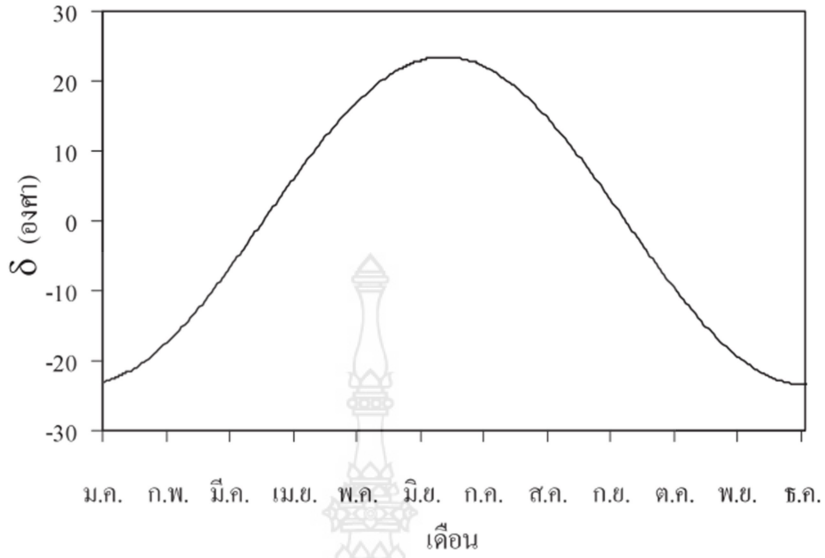
ω = มุมแทนตำแหน่งของดวงอาทิตย์ก่อนหรือหลังเวลาเที่ยงสุริยะ (rad) หาได้จากสมการที่ (2.12)

$$\omega = \pi\left(t_s - 12\right)/12 \tag{2.12}$$

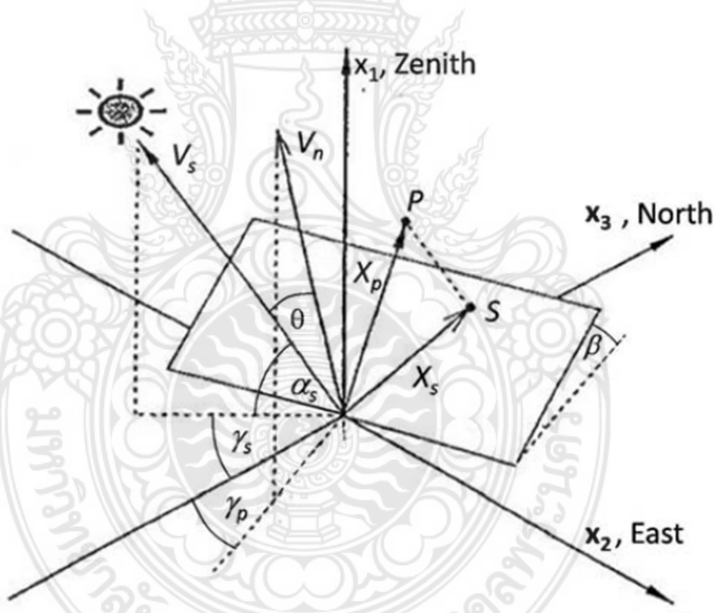
มุมเบี่ยงของดวงอาทิตย์ คือ มุมที่แนวลำแสงอาทิตย์ไปยังจุดกึ่งกลางของโลกกระทำกับระนาบเส้นศูนย์สูตร สามารถหาได้จากสมการที่ (2.13)

$$\delta = 23.45\sin\left(\frac{\left(360^{\circ}\right)\left(284 + j_d\right)}{365}\right) \tag{2.13}$$

โดยค่ามุมเบี่ยงของดวงอาทิตย์จะแปรค่าอยู่ระหว่าง -23.5˚ ถึง 23.5 ˚จากการสังเกตการณ์พบว่าจะแปรตามเวลาในรอบปีตามรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงของค่าเดคลิเนชั่นในรอบปี [11]



รูปที่ 2.5 ตำแหน่งและระนาบและจุดต่างๆที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ [4]

จากรูปที่ 2.5 พิจารณาพิกัด (x_1, x_2, x_3) ซึ่งถูกกำหนดด้วยเส้นซีนิธ (Zenith) ทิศตะวันออก และทิศเหนือ เวคเตอร์แสดงทิศทางของดวงอาทิตย์ (Solar Vector : V_s^x) และเวคเตอร์ของระนาบเอียง (V_n^x) ซึ่งตั้งฉากกับระนาบเอียง คำนวณจากสมการที่ (2.14) และ (2.15)

$$V_s^x = \begin{bmatrix} \sin\alpha_s \\ -\cos\alpha_s \cdot \sin\gamma_s \\ -\cos\alpha_s \cdot \cos\gamma_s \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

$$V_n^x = \begin{bmatrix} \sin\alpha_s \\ -\sin\beta \cdot \sin\gamma_p \\ -\sin\beta \cdot \cos\gamma_p \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

โดย

β = มุมเอียง (Inclination angle) ของระนาบที่พิจารณา

γ_p = มุมอะซิมุทของระนาบที่พิจารณา (Azimuth of surface)

โดยค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร (SC) แสดงดังสมการที่ (2.16)

$$SC = \frac{E_{ew}}{E_{et\theta}} \quad (2.16)$$

โดย

E_{ew} = รังสีอาทิตย์ที่ผ่านอุปกรณ์บังแดดมาตกกระทบบนหน้าต่างที่พิจารณา (W/m^2)

$E_{et\theta}$ = รังสีรวมของดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกกระทบบนหน้าต่างที่พิจารณา (W/m^2)

ค่าเฉลี่ยตลอดปีของค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด หาได้จากอัตราส่วนของผลรวมของปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ผ่านอุปกรณ์บังแดดมาตกกระทบบนหน้าต่างที่พิจารณาตลอดช่วงเวลาการใช้งานอาคารในแต่ละวันของวันอ้างอิง 4 วัน ต่อผลรวมของปริมาณรังสีอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกกระทบบนหน้าต่างที่พิจารณาเสมือนหนึ่งไม่มีอุปกรณ์บังแดดในช่วงเวลาเดียวกัน โดยที่วันอ้างอิงทั้ง 4 วัน คือวันที่ 21 มีนาคม 22 มิถุนายน 23 กันยายน และ 22 ธันวาคม [4]

2.1.8 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (Effective Solar Radiation : ESR)

ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน คือ รังสีอาทิตย์รวมที่ตกกระทบบนผนัง ที่มีมุมเอียงแตกต่างกันในแต่ละทิศทาง การวัดค่ามุมเอียงของผนังของอาคาร ให้วัดจากมุมที่ผนังอาคารกระทำกับพื้นผิวโลก (หรือพื้นดิน) โดยผนังในแนวตั้งจะมีค่ามุมเอียงเท่ากับ 90 องศา ขณะที่ผนังในแนวระนาบนอน (หรือหลังคาแบบเรียบ) จะมีค่ามุมเอียงเท่ากับ 0 องศา ซึ่งค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนสำหรับมุมเอียงและทิศทางผนังต่างๆ ของอาคารแต่ละประเภท

2.1.9 ความสบายเชิงความร้อน

Fanger PO. [12] ศึกษาความสบายเชิงความร้อน และถูกนำมาประยุกต์ใช้ ซึ่งได้จากการทำสมดุลความร้อนระหว่างร่างกายคนกับสิ่งแวดล้อม สมการนี้จะแสดงถึงปริมาณความร้อนสุทธิที่แลกเปลี่ยนระหว่างคนกับสิ่งแวดล้อม โดยความร้อนที่เกิดขึ้นภายในร่างกายคน จะถ่ายเทสู่ภายนอกร่างกายผ่านการระเหยทางเหงื่อ และการถ่ายเทความร้อนทางผิวหนังและเสื้อผ้า รวมถึงการถ่ายเทความร้อนออกสู่ภายนอกร่างกายโดยการหายใจ สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมที่ทำให้คนรู้สึกสบาย คือ สภาวะที่ทำให้ปริมาณความร้อนสุทธิในการแลกเปลี่ยนระหว่างคนกับสิ่งแวดล้อมเป็นศูนย์ นั่นหมายถึงความร้อนที่เกิดขึ้นในร่างกายเท่ากับความร้อนที่ระบายออกนอกร่างกาย แต่ถ้าปริมาณความร้อนสุทธิที่แลกเปลี่ยนไม่เป็นศูนย์หรือไม่สมดุล จะก่อให้เกิดความรู้สึกร้อนหรือหนาว เช่น ถ้าความร้อนที่สร้างขึ้นภายในร่างกาย น้อยกว่าความร้อนที่ถ่ายเทออกสู่ภายนอกร่างกาย นั่นคือคนสูญเสียความร้อนมากเกินไป คนจะรู้สึกเย็นหรือถึงขั้นหนาว

2.1.10 ดัชนีการโหวตเฉลี่ย

สมการสบายเชิงความร้อนเป็นสมการที่แสดงถึงสมดุลความร้อน ซึ่งสามารถบอกได้เพียงว่าจะต้องปรับเปลี่ยนตัวแปรอย่างไรเพื่อให้คนรู้สึกสบาย แต่ไม่สามารถทำนายได้ว่า ถ้าคนทำกิจกรรมใดๆ โดยสวมใส่เสื้อผ้าแต่ละชนิด และอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมต่างๆนั้น จะรู้สึกอย่างไร คือ ร้อน เย็น หรือกำลังดี ดังนั้น Fanger PO. [12] จึงเสนอสมการเพื่อคำนวณค่าดัชนีการโหวตเฉลี่ยที่เรียกว่า Predicted Mean Vote (PMV) ดังแสดงในสมการที่ 2.17 ถึง 2.20

$$PMV = \left(0.325e^{-0.042M} + 0.032\right)\begin{bmatrix} M - 0.35\left(43 - 0.061M - P_v\right) - 0.42\left(M - 50\right) \\ -0.0023M\left(44 - P_v\right) - 0.0014M\left(34 - T_a\right) \end{bmatrix}$$
$$\left[-3.4\times10^{-8} f_{cl}\left(\left(T_{cl}+273\right)^4 - \left(T_{mrt}+273\right)^4\right) - f_{cl}\,h_{cl}\left(T_{cl} - T_a\right)\right] \quad (2.17)$$

$$T_{cl} = 35.7 - 0.032M - 0.18I_{cl}\left[3.4\times10^{-8} f_{cl}\left(\left(T_{cl}+273\right)^4 - \left(T_{mrt}+273\right)^4\right) - f_{cl}\,h_{cl}\left(T_{cl} + T_a\right)\right] \quad (2.18)$$

$$h_c = \begin{cases} 2.05\left(T_{cl} - T_a\right)^{0.25} & for\ 2.38\left(T_{cl} - T_a\right)^{0.25} > 10.4\sqrt{v} \\ 10.4\sqrt{v} & for\ 2.38\left(T_{cl} - T_a\right)^{0.25} < 10.4\sqrt{v} \end{cases} \quad (2.19)$$

$$P_v = P_s r_h / 100 \quad (2.20)$$

โดย

M = อัตราเมตาบอริซึม (kcal/h)

I_{cl} = ค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า (clo)

T_a = อุณหภูมิของอากาศ (°C)

T_{mrt} = อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน (°C)

v = ความเร็วลม (m/s)

P_v = ความดันไอของอากาศ (mmHg)

T_{cl} = อุณหภูมิภายนอกของเสื้อผ้า (°C)

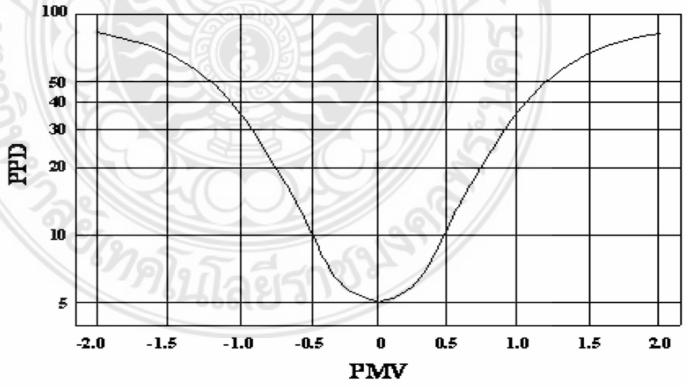
h_c = ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (kcal/m^2.hr.°C)

f_{cl} = ค่าอัตราส่วนพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยเสื้อผ้าต่อพื้นที่เปลือย

P_s = ความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิใดๆ (mmHg)

PMV เป็นดัชนีที่ใช้ทำนายความรู้สึกของคนส่วนใหญ่ว่ามีความรู้สึกร้อนหนาวอย่างไร ภายใต้ตัวแปรสิ่งแวดล้อมได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นอากาศ ความเร็วลมรอบตัวคน และอุณหภูมิการแผ่รังสี และภายใต้ตัวแปรเกี่ยวกับคน ได้แก่ ชนิดของกิจกรรม และความหนาของเสื้อผ้าที่สวมใส่ โดยกิจกรรมแต่ละประเภทจะให้ค่าความร้อนที่เกิดภายในร่างกายที่แตกต่างกัน และเสื้อผ้าแต่ละชนิดมีค่าฉนวนความร้อนที่แตกต่างกัน

ตามปกติค่า PMV จะบอกเพียงค่าเฉลี่ยการโหวตของคนส่วนใหญ่ที่อยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมเดียวกันเท่านั้น แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าจะมีคนกี่ร้อยละที่รู้สึกไม่สบาย ดังนั้น Fanger PO. [12] จึงได้หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PMV กับค่าร้อยละความรู้สึกไม่สบาย (Predicted Percentage of Dissatisfied, PPD) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งจะพบว่า แม้ว่าค่า PMV จะเป็น 0 แต่ก็มีคนที่รู้สึกไม่ชอบใจอยู่ประมาณร้อยละ 5 และพบว่าค่า PMV ระหว่าง -0.5 ถึง +0.5 มีคนที่รู้สึกไม่สบายอยู่ประมาณร้อยละ 10 หรือมีคนที่รู้สึกสบายอยู่ประมาณร้อยละ 90 ซึ่งการรักษาสภาวะแวดล้อมที่ทำให้ค่าเฉลี่ยการโหวตอยู่ในช่วงดังกล่าว เป็นช่วงที่เหมาะสมและได้รับการแนะนำตามมาตรฐาน *ISO* 7730 [13]



รูปที่ 2.6 ค่า PMV ที่ตัวแปรต่างๆกัน [12]

2.1.12 การวิเคราะห์องค์ประกอบร่วม (Conjoint analysis)

ต้นกำเนิดของวิธีการประเมินมูลค่าคุณลักษณะมาจากสาขาสังคมศาสตร์ในสาขาเศรษฐศาสตร์ โดยพื้นฐานดังกล่าวมาจากวิธีราคาแอบแฝง (Hedonic method) ที่มองว่าอุปสงค์ต่อ

สินค้ามาจากอุปสงค์ต่อคุณลักษณะสินค้านั้นๆ ซึ่งใช้สมการถดถอยแอบแฝงเพื่อศึกษาอุปสงค์ต่อการซื้อรถยนต์ เพื่อสร้างดัชนีราคาแอบแฝง ต่อมาได้พัฒนาเป็นทฤษฎีราคาแอบแฝง โดยอาศัยทฤษฎีการผลิตของภาคครัวเรือนซึ่งทฤษฎีนี้เป็นรากฐานสำคัญของวิธีการประเมินมูลค่าคุณลักษณะของสินค้า และในเวลาเดียวกันนี้เทคนิคในการวัดค่าของสาขาจิตวิทยาเชิงคณิตศาสตร์ได้ถือกำเนิดขึ้นเพื่อต้องการแยกมูลค่ารวมออกเป็นส่วนๆ วิธีการนี้เรียกว่า การวัดมูลค่าแบบพิจารณาพร้อมๆ กัน (Conjoint measurement) และได้นำมาใช้ในการวิจัยตลาดที่เล็งเห็นคุณค่าของข้อมูลคุณลักษณะสินค้า ซึ่งแต่ละคุณลักษณะมีน้ำหนักไม่เท่ากัน เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ เทคนิคการวิจัยตลาดนี้มีชื่อเรียกว่าการวิเคราะห์องค์ประกอบร่วม (Conjoint analysis)

ในการศึกษาการวิเคราะห์องค์ประกอบร่วมมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 รูปแบบการวิเคราะห์องค์ประกอบร่วมมี 7 รูปแบบด้วยกัน ดังนี้ [15]

2.1.12.1 Two attribute tradeoff analysis วิธีนี้จะแสดงคุณลักษณะครั้งละ 2 ชุด ให้แก่ผู้ตอบแบบสอบถามในเวลาเดียวกัน เพื่อเรียงลำดับความชอบ (Ranking) ที่มีในแต่ละชุดคุณลักษณะ จนทุกชุดคุณลักษณะได้รับการประเมินจนครบ ข้อดีของวิธีนี้คือทำให้ง่ายต่อการประเมินคุณค่าของชุดคุณลักษณะแต่ละคู่ แต่ทำให้ไม่ได้ภาพรวมของการประเมินชุดคุณลักษณะทั้งหมด

2.1.12.2 Two attribute tradeoff analysis วิธีนี้จะแสดงคุณลักษณะครั้งละ 2 ชุด ให้แก่ผู้ตอบแบบสอบถามในเวลาเดียวกัน เพื่อเรียงลำดับความชอบ (Ranking) ที่มีในแต่ละชุดคุณลักษณะ จนทุกชุดคุณลักษณะได้รับการประเมินจนครบ ข้อดีของวิธีนี้คือทำให้ง่ายต่อการประเมินคุณค่าของชุดคุณลักษณะแต่ละคู่ แต่ทำให้ไม่ได้ภาพรวมของการประเมินชุดคุณลักษณะทั้งหมด

ตารางที่ 2.2 ขั้นตอนการศึกษาการวิเคราะห์องค์ประกอบร่วม

ขั้นที่	วิธีการ
1.กำหนดลักษณะผลิตภัณฑ์	ความต้องการของลูกค้า VS. ความต้องการของบริษัท
2.กำหนดวิธีการจัดเก็บข้อมูล	Full concept, paired comparison
3.เสนอ Concept card	ทุก Concept หรือบางส่วนของ Concept
4.กำหนดวิธีเสนอ/แสดงลักษณะผลิตภัณฑ์	กราฟ/ข้อความ
5.ให้คำแนน	คะแนน ลำดับ ตัวเลือก
6.รวบรวมข้อมูล	การสัมภาษณ์
7.กำหนดตัวแบบ	Vector, Ideal-point, Part-worth

2.1.12.3 Two attribute tradeoff analysis วิธีนี้จะแสดงคุณลักษณะครั้งละ 2 ชุด ให้แก่ผู้ตอบแบบสอบถามในเวลาเดียวกัน เพื่อเรียงลำดับความชอบ (Ranking) ที่มีในแต่ละชุดคุณลักษณะ จนทุกชุดคุณลักษณะได้รับการประเมินจนครบ ข้อดีของวิธีนี้คือทำให้ง่ายต่อการประเมินคุณค่าของชุดคุณลักษณะแต่ละคู่ แต่ทำให้ไม่ได้ภาพรวมของการประเมินชุดคุณลักษณะทั้งหมด

2.1.12.4 Full-profile conjoint analysis วิธีการนี้เป็นที่ได้รับความนิยมในการวัดค่าอรรถประโยชน์ของแต่ละคุณลักษณะ โดยชุดคุณลักษณะทั้งหมดจะได้รับการประเมินพร้อมกัน ส่วนผสมของคุณลักษณะและค่าระดับจะถูกแสดงในรูปแบบการ์ดแต่ละใบ โดยผู้ตอบแบบสอบถามจะให้คะแนนความชอบหรือความเป็นไปได้ในการซื้อผลิตภัณฑ์สำหรับแต่ละชุดคุณลักษณะ เป็นวิธีการที่เหมาะกับกรณีที่มีชุดคุณลักษณะให้พิจารณาจำนวนหนึ่ง

2.1.12.5 Adaptive conjoint analysis เป็นการนำเสนอทางเลือกที่หลากหลายตามความชอบของผู้ตอบแบบสอบถามเป็นหลัก โดยจะมุ่งเน้นไปที่คุณลักษณะและค่าระดับที่ผู้ตอบแบบสอบถามให้คุณค่ามากที่สุด ไม่ต้องเสียเวลาในการตั้งคำถาม ทำให้ชุดคุณลักษณะที่ได้มีความน่าสนใจและได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพ

2.1.12.6 Choice-based conjoint หรือ Discrete-choice conjoint analysis วิธีนี้จะให้ผู้ตอบแบบสอบถามเลือกชุดคุณลักษณะที่ชอบมากที่สุด โดยทำการเลือกซ้ำๆ จากชุดคุณลักษณะ 3-5 แบบ ซึ่งวิธีการวิเคราะห์แบบนี้จะเป็นการจำลองสถานการณ์การเลือกซื้อสินค้า โดยแสดงถึงพฤติกรรมการเลือกซื้อสินค้าจริงๆ ของผู้ตอบแบบสอบถาม ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ตามวิธี Choice-based conjoint จะแสดงถึงความสำคัญของคุณลักษณะโดยคำนึงถึงราคาเป็นหลัก โดยจะสามารถคาดการณ์ค่าระดับและส่วนผสมที่ดีที่สุดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ดังกล่าว

2.1.12.7 Safe-explicated conjoint analysis เป็นวิธีการให้ความสนใจในการให้คุณค่าต่อคุณลักษณะที่หลากหลายของผลิตภัณฑ์ โดยจะสอบถามถึงเหตุผลที่ชัดเจนของความชอบใจแต่ละคุณลักษณะและผู้ตอบแบบสอบถามจะเลือกค่าระดับที่ชอบมากที่สุดและน้อยที่สุด พร้อมทั้งให้คะแนนในระดับที่รองลงมาสำหรับคุณลักษณะที่เหลือ วิธีนี้ไม่ต้องอาศัยการวิเคราะห์ทางสถิติเหมือนวิธีอื่นๆ แต่สามารถให้ผลการวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม วิธีนี้มีข้อจำกัดคือผู้ตอบแบบสอบถามมักจะให้คะแนนความชอบคุณลักษณะที่มีราคาต่ำกว่าแม้ว่าคุณลักษณะอื่นจะมีความเหมาะสมมากกว่าก็ตาม

2.1.12.8 Max-diff conjoint analysis แสดงการจัดประเภทของชุดคุณลักษณะที่ได้รับความชอบที่มากที่สุดและน้อยที่สุด วิธีนี้ผู้ตอบแบบสอบถามจะสามารถระบุความชอบมากที่สุดและน้อยที่สุดได้แต่อาจไม่สามารถระบุค่าความชอบสำหรับตัวเลือกที่เหลือได้

2.1.12.9 Hierarchical bayes conjoint analysis (HB) เป็นวิธีที่ใช้คาดการณ์ค่าระดับของคุณลักษณะจากตัวเลือก ซึ่งจะมีประโยชน์ในกรณีที่ข้อมูลมีขนาดใหญ่จนผู้ตอบแบบสอบถามไม่สามารถให้ค่าความชอบต่อทุกคุณลักษณะและค่าระดับได้

โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธี Choice-based conjoint analysis

2.1.13 การคำนวณค่าโดยวิธี Choice-based conjoint analysis

วิธีการวิเคราะห์ที่ง่ายกว่าการวิเคราะห์แบบพิจารณาพร้อมๆ กันที่อาศัยทฤษฎีทางเลือกแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete choice theory) ทฤษฎีนี้มีรากฐานจากแนวคิด ที่ว่าด้วยอรรถประโยชน์เชิงสุ่ม โดยตั้งข้อสังเกตว่าผู้บริโภคตัดสินใจเลือกในสิ่งที่ทำให้อรรถประโยชน์ของตนมีค่ามากที่สุด และ

อรรถประโยชน์อยู่ภายใต้ความรู้สึกนึกคิด สามารถอธิบายทฤษฎีทางเลือกในเชิงตรรกทางเศรษฐศาสตร์ซึ่งได้อธิบายถึงพฤติกรรมของผู้บริโภคอยู่ในแบบจำลองนี้ด้วย นอกจากนี้ยังใช้ผลลัพธ์มาเชื่อมโยงกับแบบจำลองอรรถประโยชน์เชิงสุ่มซึ่ง จนพัฒนามาเป็นแบบจำลองเศรษฐมิติที่เป็นการผสมผสานระหว่างการวิเคราะห์แบบราคาแอบแฝงกับทฤษฎีอรรถประโยชน์ แบบจำลองนี้มีชื่อเรียกว่า แบบจำลองโลจิตแบบมีเงื่อนไข (Conditional logit model) วิธีการนี้เป็นที่นิยมกันในหมู่นักเศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อม เพราะสามารถแยกมูลค่าของโครงการด้านสิ่งแวดล้อมออกเป็นส่วนๆ ตามคุณลักษณะต่างๆ ที่ประกอบกันเป็นโครงการสิ่งแวดล้อมนั้นๆ [14]

แบบจำลองอรรถประโยชน์เชิงสุ่ม

แบบจำลองเศรษฐมิติสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลจากเทคนิคการทดลองพฤติกรรมทางเลือกอาศัยทฤษฎีอรรถประโยชน์เชิงสุ่ม ซึ่งกล่าวว่า อรรถประโยชน์ทางอ้อมของผู้บริโภคคนหนึ่งๆ ประกอบด้วย 2 ส่วนคือส่วนที่สามารถอธิบายเชิงระบบ (Systematic component) และส่วนที่ไม่สามารถอธิบายได้ (Random component) แทนได้ด้วยสมการที่ (2.21)

$$u_j = v\left(X_j, p_j; \beta\right) + \varepsilon_j \qquad (2.21)$$

โดย

u_j = อรรถประโยชน์เชิงอ้อมของผู้บริโภคจริง (ซึ่งไม่อาจสังเกตได้) เมื่อตัดสินใจเลือกทางเลือก *j*

X_j = เวกเตอร์ของคุณลักษณะต่างๆ ในทางเลือก *j*

p_j = ราคาของทางเลือก *j*

β = เวกเตอร์ของพารามิเตอร์ซึ่งอธิบายความพึงพอใจของผู้บริโภค

ε_j = ความคลาดเคลื่อนสุ่มมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์

กล่าวคือในมุมมองของผู้บริโภคพฤติกรรมการเลือกของผู้บริโภคจะถูกกำหนดให้สามารถอธิบายเชิงระบบได้ (โดยปราศจากความคลาดเคลื่อน) แต่เกิดขึ้นโดยการสุ่มในมุมมองของนักวิจัย แต่เนื่องจากนักวิจัยไม่สามารถอธิบายหรือสังเกตพฤติกรรมของผู้บริโภคได้ทั้งหมด ดังนั้น ตัวคลาดเคลื่อนในแบบจำลองนี้ จึงเป็นตัวสะท้อนความไม่แน่นอนสำหรับนักวิจัยเกี่ยวกับพฤติกรรมการเลือกของผู้บริโภค

$$u_j = \sum_{k=1}^{j} \beta_k X_{jk} + \beta_p p_j + \varepsilon_j \qquad (2.22)$$

โดย

β_k = พารามิเตอร์ที่อธิบายความพอใจต่อลักษณะที่ *k* ใดๆ

X_{jk} = คุณลักษณะที่ *k* ในทางเลือกที่ *j*

β_p = พารามิเตอร์ของตัวแปรราคา

ถ้ามีตัวแปรปฏิสัมพันธ์ (Interactions) ปรากฏอยู่ในแบบจำลองด้วย จะเขียนได้เป็น

$$u_j = \sum_{k=1}^{j} \beta_k X_{jk} + \beta_p p_j + \sum_{m=1}^{j}\sum_{k=}^{j} \beta_{km} X_{xj} kX_{jm} + \varepsilon_j \qquad (2.23)$$

โดย

β_k = เวกเตอร์ของพารามิเตอร์สำหรับตัวแปร ปฏิสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะ *k* และ *m* ในทางเลือก *j*

X_{jk} = คุณลักษณะที่ *k* ในทางเลือก *j*

X_{jm} = คุณลักษณะที่ *m* ในทางเลือก *j*

สมการที่ (2.23) รวมพจน์ต่างๆ ที่เป็นไปได้ทั้งหมดเกี่ยวกับความสัมพันธ์ใชเชิงการทดแทนกันและประกอบกัน ระหว่างคุณลักษณะต่างๆ ในทางปฏิบัติจะใส่ตัวแปรปฏิสัมพันธ์เพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น เช่น ตัวแปรอายุปฏิสัมพันธ์กับตัวแปรรายได้ เป็นต้น

เมื่อหาค่าอนุพันธ์อันดับหนึ่งของสมการที่ (2.22) เทียบกับตัวแปรคุณลักษณะ X_k จะได้ค่า β_k ซึ่งก็คือค่าอรรถประโยชน์ส่วนเพิ่มของคุณลักษณะ *k* นั่นเอง สำหรับพารามิเตอร์ β_p มีความหมายพิเศษกล่าวคือเมื่อราคาของทางเลือกสูงขึ้น ก็จะไปลดรายได้ของผู้บริโภค β_p หมายถึงการเปลี่ยนแปลงในอรรถประโยชน์ ซึ่งสัมพันธ์กับส่วนลดลงของรายได้ ดังนั้น $-\beta_p$ จึงหมายถึงอรรถประโยชน์ส่วนเพิ่มของรายได้

อัตราทดแทนกันระหว่างคุณลักษณะ *k* และ *m* สามารถคำนวณได้โดยใช้อัตราส่วนพารามิเตอร์ของคุณลักษณะ *k* และ *m* ($MRS_{km} = \beta_k/\beta_m$) ราคาแอบแฝงของคุณลักษณะ คำนวณได้จากอัตราส่วน

$$\frac{\beta_k}{\beta_m} = \frac{\left(\partial u / \partial X_k\right)}{\left(\partial u / \partial p_j\right)}$$

เมื่อหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งของสมการที่ (2.23) เทียบกับตัวแปรคุณลักษณะ X_k จะได้อรรถประโยชน์ส่วนเพิ่มของคุณลักษณะ *k* ดังนี้

$$\frac{\partial u}{\partial X_k} = \beta_k + \beta_{km} X_m$$

ในการประเมินมูลค่าด้วยเทคนิคการทดลองพฤติกรรมการเลือก จะให้ผู้ตอบเลือกทางเลือกใดทางเลือกหนึ่งจากบรรดาทางเลือกทั้งหลายซึ่งอยู่ในชุดทางเลือกหนึ่งๆ คำตอบที่ได้จะเลียนแบบพฤติกรรมของผู้บริโภคในการเลือกซื้อสินค้าในระบบตลาด เช่น เลือกซื้อผงซักฟอกยี่ห้อหนึ่งจากบรรดาผงซักฟอกหลายยี่ห้อที่มีความแตกต่างกันด้วยคุณลักษณะของสินค้า เทคนิคนี้จะให้ความสนใจในการเลือกคุณลักษณะต่างๆ ที่ทดแทนกัน (Trade off) เช่น เลือกบริโภคสินค้าที่มีราคาถูกแต่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หรือเลือกบริโภคสินค้าที่มีราคาแพงแต่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

การวิเคราะห์ข้อมูลจะเริ่มต้นด้วยการกำหนดรูปแบบการแจกแจงของตัวแปรสุ่ม ε ในสมการที่ (2.21) ซึ่งจะนำไปสู่การอธิบายถึงความน่าจะเป็นที่ผู้บริโภคจะเลือกทางใดทางเลือกหนึ่ง ดังนี้

$$\Pr(\text{ilC}) = \Pr\left(u_i > u_j\right) = \Pr\left(v_i + \varepsilon_i > v_j + \varepsilon_j\right), j = 1,..., \text{C} \qquad (2.24)$$

ถ้ากำหนดให้ ε มีการแจกแจงปกติแบบสองตัวแปร (Bivariate normal distribution) จะได้แบบจำลองโพรบิตแบบทวิ (Binary probit model) ซึ่งสามารถขยายไปเป็นแบบจำลองโพรบิตแบบหลายตัวแปร (Multinormal probit model ถ้ากำหนดให้ ε มีการแจกจแจงแบบกัมเบล (Gumbel) จะได้แบบจำลองโลจิตแบบมีเงื่อนไข (Conditional logit model) และถ้าให้ ε มีการแจกแจงแบบค่าสุดขีดแบบทั่วไป (Generalized extreme value distribution) จะได้แบบจำลองโลจิตหลายตัวแปรแบบกลุ่ม (Nested multinormal logit model) รูปแบบการแจกแจงของ ε ที่นิยมใช้กันคือ การแจกแจงแบบกัมเบล ซึ่งก็คือแบบโลจิตแบบมีเงื่อนไข ตามข้อกำหนดของแบบจำลองนี้จะกำหนดให้

(1) แบบแผนความพอใจของผู้บริโภคแต่ละคนเหมือนกัน

(2) ทางเลือกต่างๆ ในชุดทางเลือก มีคุณสมบัติเป็นอิสระจากทางเลือกอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง (Independence from irrelevant alternative – IIA)

(3) ตัวแปรสุ่ม ε ทุกตัวมีค่าสเกลพารามิเตอร์ (Scale parameter) เดียวกัน โดยค่าสเกลพารามิเตอร์ (μ) จะแปรผกผันกับค่าความแปรปรวนของ ε ดังนี้ $\sigma^2 = \frac{\pi^2}{6\mu^2}$

จากสมการที่ (2.24) สามารถจัดรูปสมการใหม่ จะได้ว่า

$$\Pr(\text{ilC}) = \Pr\left(v_i - v_j > \varepsilon_j - \varepsilon_i\right), j = 1,..., \text{C} \qquad (2.25)$$

ดังนั้นตัวแปรต่างๆ ที่อยู่ในรูป v_i และ v_j เช่น รายได้จะถูกกำจัดออกไป เพราะใช้หลักผลต่างของอรรถประโยชน์ (Utility difference) ถ้า ε ในสมการที่ (2.25) มีการแจกแจงแบบกัมเบล ความน่าจะเป็นของทางเลือก *i* คือ

$$\Pr(\text{ilC}) = \frac{e^{\mu v_i}}{\sum_{j=1}^{C} e^{\mu v_i}} \quad (2.26)$$

ถ้าให้อรรถประโยชน์มีรูปแบบเชิงเส้นและกำหนดให้ μ = 1 สมการที่ (2.26) จะเขียนได้เป็น

$$\Pr(\text{ilC}) = \frac{\exp\left(\sum_{k=1}^{l} \beta_k X_{ik} + \beta_p p_i\right)}{\sum_{j=1}^{C} \exp\left(\beta_k X_{jk} + \beta_p p_j\right)} \quad (2.27)$$

ถ้าให้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ N และนิยามให้

$$y_{in} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าผู้บริโภคคนที่ n เลือกทางเลือกที่ } i \\ 0 & \text{เมื่อเป็นอย่างอื่น} \end{cases}$$

ดังนั้นฟังก์ชันความน่าจะเป็นของแบบจำลองโลจิตบบมีเงื่อนไขคือ

$$L = \prod_{n=1}^{N} \prod_{i=1}^{C} \Pr_n(i)^{y_{in}} \quad (2.28)$$

แทนค่าสมการที่ (2.27) ในสมการที่ (2.28) แล้วหาค่าLog จะได้ว่า

$$\ln L = \sum_{n=1}^{N} \sum_{i=1}^{C} y_{in} \left(\sum_{k=1}^{l} \beta_k X_{ikn} + \beta_p p_{in} - \ln \sum_{j=1}^{C} \left(\sum_{k=1}^{l} \beta_k X_{jkn} + \beta_p p_{jn} \right) \right) \quad (2.29)$$

เทคนิคการทดลองพฤติกรรมทางเลือก สามารถใช้ในการประเมินมูลค่าที่ใช้ประโยชน์และไม่ได้ใช้ประโยชน์ มีงานศึกษามูลค่าเชิงนันทนาการมากมายที่ใช้เทคนิคนี้ และเทคนิคนี้ก็ถูกนำไปใช้ในการประเมินนโยบายหรือโครงการต่างๆ โดยวัตถุประสงค์หลักของการประเมินมูลค่าด้วยเทคนิคนี้ คือ การประมาณค่าสวัสดิการที่เปลี่ยนแปลงไป จากการดำเนินโครงการหรือนโยบาย โดยเทคนิคการทดลองพฤติกรรมทางเลือกจะให้ข้อมูลเชิงปริมาณของการได้อย่างเสียอย่างระหว่างคุณลักษณะและราคา ดังนั้นจึงสามารถคำนวณเงินที่ผู้บริโภคยินดีจ่ายเพื่อให้มีการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะที่สนใจได้

นิยามในสมการที่ (2.21) อรรถประโยชน์สามารถอธิบายได้ด้วยส่วนที่อธิบายได้เชิงระบบ (v) และส่วนที่ไม่สามารถอธิบายได้ (ε) ค่าสูงสุดของอรรถประโยชน์ นิยามได้เป็น $\max(u_j) = \max(v_j + \varepsilon_j)$ ค่าความหวังค่าสูงสุดของอรรถประโยชน์ คำนวณได้โดยสูตรของ Morey 1999 ดังนี้

$$\mathrm{E}(\mathrm{u})=\int_{\varepsilon_1=-\infty}^{\infty}\cdots\int_{\varepsilon_j}^{\infty}\max\left(v_1+\varepsilon_1,...,v_j+\varepsilon_j\right)f\left(\varepsilon_1,...,\varepsilon_j\right)\left(d\varepsilon_1\ ...\varepsilon_j\right) \tag{2.30}$$

สมการที่ (2.30 เป็นการปริพันธ์อรรถประโยชน์ตลอดช่วงของตัวแปรสุ่ม ε ถ้าให้ ε มีการแจกแจงแบบกัมเบล จะให้ค่าคาดหวังของค่าสูงสุดของอรรถประโยชน์ ดังนี้

$$\mathrm{E}(\mathrm{u})=\ln\left(\sum_{j=1}^{J}\exp\left(v_j\right)\right)+D \tag{2.31}$$

สมการที่ (2.31) คือค่าล๊อกของผลรวมบวกค่าคงที่ D ที่เรียกว่า ค่าคงที่ของออยเลอร์ (Euler's constant) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.57722 สามารถใช้ผลลัพธ์ของสมการที่ (2.31) เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงของสวัสดิการของผู้บริโภคได้ ในกรณีอย่างง่ายจะสมมติว่าอรรถประโยชน์ส่วนเพิ่มของรายได้คงที่ (λ_Y) สามารถคำนวณค่า Compensating variation (CV) ได้ดังนี้

ถ้าให้ $\mathrm{E}(\mathrm{u})^0 = \mathrm{E}\left(\mathrm{u}\left(\mathrm{Y}^0,\mathrm{P}^0,\mathrm{X}^0\right)\right)$

$\mathrm{E}(\mathrm{u})^1 = \mathrm{E}\left(\mathrm{u}\left(\mathrm{Y}^0,\mathrm{P}^1,\mathrm{X}^1\right)\right)$

โดย

Y = รายได้

P = ราคา

X = คุณลักษณะ

$\mathrm{E}(\mathrm{u})^0$ = ค่าสูงสุดของค่าคาดหวังของอรรถประโยชน์ก่อนการเปลี่ยนแปลง

$\mathrm{E}(\mathrm{u})^1$ = ค่าสูงสุดของค่าคาดหวังของอรรถประโยชน์หลังการเปลี่ยนแปลง

โดย CV สามารถคำนวณโดยการแก้สมการดังนี้

$$\mathrm{E}\left(\mathrm{u}\left(\mathrm{Y}^0,\mathrm{P}^0,\mathrm{X}^0\right)\right) = \mathrm{E}\left(\mathrm{u}\left(\mathrm{Y}^0\text{-}\mathrm{CV},\mathrm{P}^1,\mathrm{X}^1\right)\right)$$

ใช้ผลลัพธ์ของสมการที่ (2.31) แล้วหาค่า CV ดังนี้

$$CV=\frac{1}{\lambda_Y}\left(\left(\ln\sum_{j=1}^{J}\exp\left(v_j^1\right)\right)-\ln\left(\sum_{j=1}^{J}\exp\left(v_j^0\right)\right)\right) \tag{2.32}$$

ซึ่งก็คือผลต่างของค่าคาดหวังของค่าสูงสุดอรรถประโยชน์หารด้วยอรรถประโยชน์ส่วนเพิ่มของรายได้ ในที่นี้ค่าพารามิเตอร์ของตัวแปรราคา คือค่าอรรถประโยชน์ส่วนเพิ่มของรายได้ นอกจากนี้เทคนิคการทดลองพฤติกรรมการเลือกยังสามารถนำมาใช้เปรียบเทียบกรณีฐาน (Base case) ของทางเลือกหนึ่ง กับการเปลี่ยนแปลงจากกรณีฐานของทางเลือกนั้น เช่น ต้องการหา CV ของการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะหนึ่งในทางเลือกหนึ่งๆ การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะอาจจะเป็นการทำให้มีคุณภาพดีขึ้นหรือแย่ลง สมการที่ (2.32) สามารถลดรูปลงได้ ดังสมการที่ (2.33)

$$CV = \frac{1}{\lambda_Y}\left(v^1 - v^0\right) \tag{2.33}$$

โดย

v^0 และ v^1 คืออรรถประโยชน์ของกรณีฐานและกรณีเปลี่ยนแปลงจากกรณีฐานตามลำดับและความเต็มใจจ่ายส่วนเพิ่ม (MWTP) ของแต่ละคุณลักษณะที่ *k* ที่เปลี่ยนแปลงคำนวณได้ดังนี้

$$MWTP_k = \frac{-\beta_k}{\lambda_Y} \tag{2.34}$$

ในแบบจำลองเศรษฐมิติของเทคนิคการทดลองพฤติกรรมการเลือก จะไม่มีตัวแปรรายได้ปรากฏอยู่ในฟังก์ชันอรรถประโยชน์ (เพราะตัวแปรรายได้ถูกกำจัดออกไปจากการหาผลต่างของอรรถประโยชน์) ซึ่งจะหมายความว่าผลของรายได้ (Income effect) ถูกละเลยไป ดังนั้น CV และ EV จะเป็นค่าเดียวกัน

เท่าที่ผ่านมามีการสร้างแบบจำลองโลจิตแบบมีเงื่อนไข ได้กำหนดเงื่อนไขไว้ 2 ข้อคือ

(1) กำหนดให้ผู้บริโภคทุกคนมีแบบแผนความพอใจเหมือนกัน เป็นการกำหนดให้พารามิเตอร์ β ในแบบจำลองเศรษฐมิติเป็นค่าเดียวกันสำหรับทุกคน

(2) กำหนดให้อัตราส่วนของความน่าจะเป็นของการเลือกระหว่างสองทางเลือกมีค่าคงที่ (เงื่อนไข Independence from irrelevant alternatives- IIA)

ดังนั้นทางเลือกอื่น ที่อยู่ในชุดทางเลือกจะไม่ทำให้อัตราส่วนนี้เปลี่ยนไป เงื่อนไขนี้จะจำกัดความเป็นไปได้ของการทดแทนกันของทางเลือกอื่นๆ

2.1.14 การวิเคราะห์แบบ Conjoint analysis

การวิเคราะห์แบบ Conjoint ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: การเลือกคุณลักษณะและระดับคุณลักษณะที่จะใช้ในการศึกษา ทั้งนี้ควรพิจารณาด้วยความรอบคอบ

ขั้นตอนที่ 2: การสร้างชุดคุณลักษณะที่เป็นไปได้ (Stimulus set construction) โดยจำนวนชุดคุณลักษณะที่จะใช้ในการศึกษา จะต้องทำอย่างระมัดระวังและเหมาะสม

ขั้นตอนที่ 3: การออกแบบการเก็บรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วยการเลือกวิธีนำเสนอชุดคุณลักษณะและการเลือกวิธีการแสดงชุดคุณลักษณะแก่ผู้ตอบแบบสอบถาม การแสดงชุดคุณลักษณะแก่ผู้ตอบแบบสอบถาม การแสดงชุดคุณลักษณะสามารถแสดงได้หลายวิธี เช่น การใช้คำพูดอธิบายลักษณะผลิตภัณฑ์ (Verbal description) การแสดงการ์ด โดยใช้ข้อความบรรยายคุณลักษณะ (Paragraph description) การแสดงการ์ดที่มีรูปภาพ (Pictorial representation) และการแสดงโดยใช้ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จริง (Actual product)

ขั้นตอนที่ 4: การเลือกใช้วิธีการวัดความพึงพอใจต่อชุดคุณลักษณะที่นำเสนอ (Measurement scale of the dependent variable) มีวิธีการวัดความพึงพอใจ 2 แบบ คือการเรียงลำดับความสำคัญ (Ranking) และการให้คะแนนความพึงพอใจ (Rating)

ขั้นตอนที่ 5: การเลือกแบบจำลองความพึงพอใจ (Specification of model of preference) ที่เหมาะสมกับการศึกษาแบบจำลองแต่ละแบบจะแสดงลักษณะความสัมพันธ์ของการให้ความสำคัญกับคุณลักษณะ ที่นิยมใช้กันมี 3 แบบจำลอง ดังนี้

$$\text{Vector model}: S_j = \sum_{p=1}^{p} W_p X_{jp} \tag{2.35}$$

$$\text{Ideal-point model}: d_j^2 = \sum_{p=1}^{p} W_p \left(X_{jp} - y_p \right)^2 \tag{2.36}$$

$$\text{Part-worth model}: S_j = \sum_{p=1}^{p} f_p y_{jp} \tag{2.37}$$

โดย

S_j = ความพึงพอใจรวมในชุดคุณลักษณะที่ j

d_j^2 = Weighting square distance และมีความสัมพันธ์ตรงข้ามกับ S_j

f_p = ฟังก์ชันของผลลัพธ์ของผลประโยชน์เฉพาะส่วน (Part worth) สำหรับแต่ละระดับการเปลี่ยนแปลงของชุดคุณลักษณะ j

X_{jp} = ระดับคุณลักษณะที่ p^{th} สำหรับคุณลักษณะที่ j

W_p = ค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญของผู้ตอบในแต่ละคุณลักษณะที่ p

y_p = จุดในอุดมคติของผู้ตอบแต่ละคนที่ให้กับคุณลักษณะ p

ขั้นตอนที่ 6: การเลือกใช้วิธีประมาณค่าความพึงพอใจของคุณลักษณะ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของข้อมูลที่ผู้ศึกษาเลือกใช้ในการประมาณค่าอรรถประโยชน์ที่ให้กับคุณลักษณะโดยชนิดของข้อมูลที่

นำมาใช้ประมาณค่าจะมีอยู่ 2 ลักษณะ คือชนิดของข้อมูลแบบการให้คำแนนความพึงพอใจ และแบบการเรียงลำดับความสำคัญ

2.2 การทบทวนวรรณกรรม

จากการศึกษาของ ณวัลริณี สุวินิจวงษ์ [16] เกี่ยวกับความคิดเห็นของพนักงานเกี่ยวกับสำนักงานเช่าพบว่า ควรมีการจัดการพลังงานในสำนักงานเช่า เช่นระบบไฟฟ้า ระบบปรับอากาศ และระบบแสงสว่าง รวมทั้งความสะดวกสบาย ภายในสำนักงานเช่น เช่นลิฟต์ สวนหย่อม และสถานที่ออกกำลังกาย

ศุทธา ศรีเผด็จ [17] ทำกล่าวถึงพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานฉบับพ.ศ.2550 ซึ่งเป็นฉบับปรับปรุงจากพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร พ.ศ.2535 ซึ่งประกอบด้วยเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของระบบหลัก คือระบบกรอบอาคารระบบแสงสว่างระบบการปรับอากาศและระบบการทำความร้อน โดยทุกระบบต้องผ่านเกณฑ์จึงจะปฏิบัติตามกฎหมาย แต่ถ้าระบบใดๆไม่ผ่านก็สามารถใช้วิธีการวิเคราะห์เกณฑ์ประเมินการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารโดยวิเคราะห์จากทุกระบบข้างต้นรวมกันกับการใช้พลังงานหมุนเวียนในอาคารในการลดการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารและเมื่อเกณฑ์การใช้พลังงานโดยรวมผ่านเกณฑ์อาคารนั้นก็จะปฏิบัติตามกฎหมายและถ้าไม่ผ่านต้องทำการปรับปรุงและวิเคราะห์ค่าใหม่ โดยวิธีการคำนวณให้ทำตามประกาศกระทรวงพลังงานเรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร พ.ศ.2552 [4]

โสพิศ ชัยชนะ [18] ศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารพลังงานของสาธารณะสุขจังหวัดพบว่าสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงร้อยละ 8.16 จากการเปลี่ยนแปลงกรอบวัสดุจากอิฐมอญฉาบปูนเรียบ หนา 10 cm. เป็นติดตั้งฉนวน EPS หนา 35 mm และหากติดตั้งแผ่นยิปซั่มที่ผนังทึบหนา 9 mm สามารถลดค่า OTTV ลงร้อยละ 69.95 นอกจากนี้หากมีการเพิ่มฉนวนกันความร้อน และแผ่นยิปซัมบอร์ด ฟิล์มกรองแสง สามารถลดค่า OTTV อีกร้อยละ 0.57

พันธุดา พุฒิไพโรจน์ [19] เปรียบเทียบการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของห้องที่ใช้ผนังคอนกรีตมวลเบาชั้นเดียวและสองชั้น ผลการศึกษาพบว่า ในช่วงเวลาระหว่าง 9.00-18.00 น. ผนังห้องที่ให้อิฐมวลเบาสองชั้นสามารถลดค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศลงร้อยละ 13.26 และในช่วงเวลาระหว่าง 21.00-06.00 น.ผนังห้องที่ให้อิฐมวลเบาสองชั้นสามารถลดค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศลงร้อยละ 9.6

Chantima R. และคณะ [20] การเพิ่มฉนวนกันความร้อนและแผ่นยิปซัมบอร์ดที่ผนัง กระจกควรติดฟิล์มกรองแสงในอาคารพาณิชย์ ช่วยลดค่า OTTV ร้อยละ 57

มานพ แจ่มกระจ่าง [21] ศึกษาทางเลือกการตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมเพื่อการประหยัดพลังงาน โดยทำการสอบถามจากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นบุคคลากรภายในมหาวิทยาลัยบูรพาพบว่าร้อยละ 76 ตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศห้องนอนอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส ร้อยละ 14 ตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศห้องนอนอยู่ที่ 26 องศาเซลเซียส ร้อยละ 10 ตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศห้องนอนอยู่ที่ 27 องศาเซลเซียส และพบว่าการปรับตั้งอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส ใช้พลังงานมาก

ที่สุดและการปรับตั้งอุณหภูมิที่ 27 องศาเซลเซียส ใช้พลังงานน้อยที่สุด ซึ่งการปรับตั้งอุณหภูมิเป็นความชอบและพึงพอใจของบุคคล

ศุภลักษณ์ ใจเรือง และคณะ [22] ศึกษาการจัดการเทคโนโลยีการใช้พลังงานภายในอาคารมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พบว่าพลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้ภายในอาคารประมาณร้อยละ 70 มาจากระบบปรับอากาศ และการออกแบบปรับปรุงติดตั้งอุปกรณ์กันแสงแดดจะช่วยป้องกันแสงแดดสาดส่องเข้าสู่อาคารส่งผลให้อุณหภูมิภายในอาคาร

กัญจนี ญาณะชัย และคณะ [23] ศึกษาการลดภาระความร้อนจากอุปกรณ์กันแดดภายนอกอาคารในพื้นที่หน้าต่างกระจกเพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในเครื่องปรับอากาศ กรณีศึกษาห้องสมุดชั้นสองอาคารสันทนาการ สถาบันมะเร็งแห่งชาติ พบว่าการติดอุปกรณ์กันแดดภายนอกอาคารในพื้นที่หน้าต่างกระจกส่งผลให้ภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศลดลงร้อยละ 31.73

อาจรี ศุภสุธีกุล [24] ศึกษาผลกระทบในการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศเมื่อเครื่องปรับอากาศมีการทำงานและหยุดทำงานในระยะสั้น และหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการหยุดการทำงานของเครื่องปรับอากาศ เพื่อการประหยัดพลังงาน พบว่าการหยุดทำงานเครื่องปรับอากาศในระยะสั้นส่งผลให้เมื่อเปิดเครื่องทำงาน อีกครั้งจะมีการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยที่สูงขึ้น เนื่องจากในช่วงหยุดการทำงานนั้นเกิดความร้อนสะสมภายในบริเวณห้อง ส่งผลให้อุณหภูมิห้องเพิ่มมากขึ้น แต่การเพิ่มนั้นมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับผลประหยัดจากการปิดเครื่องปรับอากาศ จำนวนนาทีที่ปิดเครื่องแปรผันโดยตรงกับผลประหยัดที่ได้ และแนะนำให้ปิดเครื่องปรับอากาศทุกครั้งที่ไม่มีผู้ใช้งาน

โสมสกาว เพชรานนท์ และ วลัยภรณ์ อัตตะนันทน์ [25] ศึกษาหาความเต็มใจจ่ายเพื่อคุณลักษณะในการบริหารจัดการช่องทางจักรยาน พบว่าการตัดสินใจเลือกการบริหารจัดการช่องทางจักรยานในกรุงเทพมหานครพบว่าราคาแฝงของคุณลักษณะด้านสถานที่จอดจักรยานมีมูลค่าเท่ากับ 84.30 บาทต่อปี ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่มีราคาแฝงมากที่สุด รองลงมาคือ คุณลักษณะด้านโครงข่ายเส้นทางจักรยาน มีราคาแฝงเท่ากับ 53.90 บาทต่อปี จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าประชาชนให้ความสำคัญกับสถานที่จอดจักรยานซึ่งเป็นคุณลักษณะหนึ่งของการบริหารจัดการช่องทางจักรยานในกรุงเทพมหานครค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับคุณลักษณะด้านอื่นๆ โดยผ่านทางราคาแฝง ทั้งนี้เนื่องจากในปัจจุบันสถานที่จอดจักรยานสาธารณะในกรุงเทพมหานครยังมีไม่เพียงพอค่อนข้างแพง การจอดจักรยานในที่สาธารณะจึงมีความเสี่ยงสูงที่จะสูญหาย ดังนั้น จากสาเหตุดังกล่าวกลุ่มตัวอย่างจึงเห็นว่าการบริหารจัดการช่องทางจักรยานในกรุงเทพมหานครควรให้ความสำคัญอย่างมากกับการจัดหาที่จอดจักรยาน นอกจากนี้ประชาชนยังให้ความสำคัญกับการมีโครงข่ายเส้นทางจักรยานที่สามารถเชื่อมต่อเนื่องกัน ซึ่งรวมถึงระบบการใช้จักรยานที่สามารถเชื่อมโยงกับระบบขนส่งมวลชนอื่นๆ เช่น รถไฟฟ้า หรือรถไฟใต้ดิน เป็นต้น เพื่อให้การใช้จักรยานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

ชนิกานต์ ศรีทันดร [26] ศึกษาคุณลักษณะ Co-working Space ที่ผู้บริโภคชื่นชอบ เมื่อต้องตัดสินใจเลือกใช้บริการ พบว่าสิ่งที่ผู้ประกอบการควรคำนึงถึงในการประกอบธุรกิจ Co-working Space คือการกำหนดกลุ่มลูกค้าเป้าหมายให้ชัดเจน เพื่อให้ทราบถึงความต้องการและนำมากำหนดกลยุทธ์ แนวทางในการพัฒนา Co-working Space ให้เป็นไปในทิศทางที่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภคโดยไม่ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายโดยเปล่าประโยชน์ ในทางกลับกัน หากผู้ประกอบการที่ดำเนิน

กิจการ Co-working Space อยู่ปัจจุบัน ก็สามารถนำผลการศึกษานี้ไปรับใช้กับธุรกิจของตน โดยพัฒนาเพิ่มเติมในคุณลักษณะที่ตรงกับความชื่นชอบของกลุ่มลูกค้าในปัจจุบันให้ดียิ่งขึ้น เช่น กลุ่มลูกค้าหลักในปัจจุบันเป็นกลุ่มพนักงานบริษัท ผู้ประกอบการอาจพิจารณาด้านเวลาการเปิดให้บริการที่เหมาะสม เช่น อาจปรับเวลาเปิดให้บริการในช่วงวันธรรมดามาเป็นเปิดให้บริการในช่วงบ่ายจนถึงดึกๆ เพื่อให้ลูกค้าสามารถใช้บริการช่วงเวลาหลังเลิกงานได้ยาวนานขึ้น เป็นต้น

อาทิตยา วงศ์วานิช [27] ศึกษาความเต็มใจจ่ายในการใช้บริการสถานออกกำลังกายของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่าผลการศึกษาพบว่า คุณลักษณะของสถานออกกำลังกายที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเข้าใช้บริการและมูลค่าความเต็มใจจ่าย คือ คุณลักษณะด้านความสะดวกในการเดินทางระดับปานกลาง ซึ่งใช้ระยะเวลาในการเดินทาง 30-60 นาที การให้บริการและความรู้ของพนักงานในระดับที่ดีมาก ความสะดวกในการเดินทางระดับมาก โดยใช้เวลาในการเดินทางไม่เกิน 30 นาที รูปแบบการให้บริการที่มีทั้งอุปกรณ์ออกกำลังกายและกิจกรรมการออกกำลังกายแบบกลุ่ม การให้บริการเสริมและสิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆ และอัตราค่าบริการรายเดือน โดยมีมูลค่าความเต็มใจจ่ายเพิ่มขึ้นเท่ากับ 431.07, 419.00, 398.13, 370.73 และ 345.47 บาทต่อเดือน ตามลำดับ เพื่อเข้าใช้บริการสถานออกกำลังกายที่มีให้บริการในแต่ละคุณลักษณะดังกล่าว

อัครพงศ์ อั้นทอง [28] ศึกษานโยบายสาธารณะด้านการจัดการพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำป่าไหลหลากและดินโคลนถล่ม (กรณีศึกษา: มูลค่าของความเสี่ยงของชีวิตประชาชนในพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำป่าไหลหลากและดิน/โคลนถล่ม) ผลการศึกษาพบว่าประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำป่าไหลหลากและดิน/โคลนถล่มเต็มใจที่จะจ่ายประมาณ 118-123 บาท/ครัวเรือน/ปี เพื่อลดโอกาสที่จะสูญเสียชีวิตจากน้ำป่าไหลหลากและดิน/โคลนถล่มจาก 1/10,000 เป็น 1/20,000 ซึ่งคิดเป็นมูลค่าของชีวิตเชิงสถิติเฉลี่ยประมาณ 0.53-0.55 ล้านบาท/คน/ปี หรือคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันของบุคคลได้ประมาณ 17.92-18.51 ล้านบาท/คน (ณ อัตราคิดลดร้อยละ 4 และกำหนดให้แต่ละคนมีระยะเวลาที่ยังคงมีชีวิตอยู่เท่ากัน คือ 35 ปี)

นันทนิตย์ ทองศร [29] ศึกษาความยินดีที่จะจ่ายในการเลือกเป็นสมาชิกโทรทัศน์ดาวเทียมและเคเบิ้ลทีวีในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล จากการศึกษาพบว่า ความยินดีจะจ่ายของกลุ่มตัวอย่างมีความยินดีที่จะจ่ายให้กับรายการฟุตบอลยุโรปมากที่สุด รองลงมาคือรายการฟุตบอลไทย การรวมการบริการอินเตอร์เน็ตคุณภาพสูง คุณภาพสัญญาณความคมชัดสูง ซีรี่ย์ต่างประเทศ และรายการบันเทิง ตามลำดับ

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการดำเนินงานวิจัยที่ประกอบไปด้วยวิธีการดำเนินงานวิจัย การคำนวณค่าถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร (Overall Thermal Transfer Value : OTTV) ในสำนักงานเช่า เพื่อหามาตรการปรับปรุงกรอบอาคารให้อาคารได้รับความร้อนที่เข้ามาในอาคารน้อยลง การกำหนดมาตรการต่างๆในการอนุรักษ์พลังงาน การจัดการของเสียและเพื่อสขภาพที่ดีขึ้น โดยการใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลความต้องการจากพนักงานในสำงานเช่า และใช้วิธี Conjoint Analysis ทำการวิเคราะห์ผลข้อมูลเพื่อนำไปสู่การหาค่าความเต็มใจจ่ายของพนักงานเพื่อปรับปรุงสำนักงานเช่า โดยมีรายละเอียดในแต่ละส่วนดังนี้

3.1 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1.1 ศึกษาปัญหา ค้นคว้าทฤษฎี ข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร การจัดการของเสีย สุขภาพ และการหาค่าความเต็มใจจ่าย

3.1.2 คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารของสำนักงานเช่าปัจจุบัน

3.1.3 คำนวณภาระความร้อนที่เกิดจากภายในของสำนักงานเช่าปัจจุบัน

3.1.4 วิเคราะห์ค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อกำหนดมาตรการในการลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารและทำการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารใหม่ตามมาตรการที่กำหนดเพื่อลดค่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารของสำนักงานเช่า

3.1.5 กำหนดมาตรการในการอนุรักษ์พลังงาน การจัดการน้ำและของเสียและเพื่อความสบาย และออกแบบแบบสอบถามให้พนักงานเลือกมาตรการที่ต้องการของแต่ละคน

3.1.6 เก็บข้อมูลจากแบบสอบถามและทำการวิเคราะห์ผลข้อมูลต่างๆจากพนักงานทั้งหมดจำนวน 30 คน โดยมี 4 คนเป็นระดับผู้บริหารและหัวหน้างาน

3.1.7 วิเคราะห์ค่าตัวแปรต่างๆ และทำการคำนวณค่าความเต็มใจจะจะจ่ายของพนักงาน เพื่อนำค่าความเต็มใจจ่ายของพนักงาน

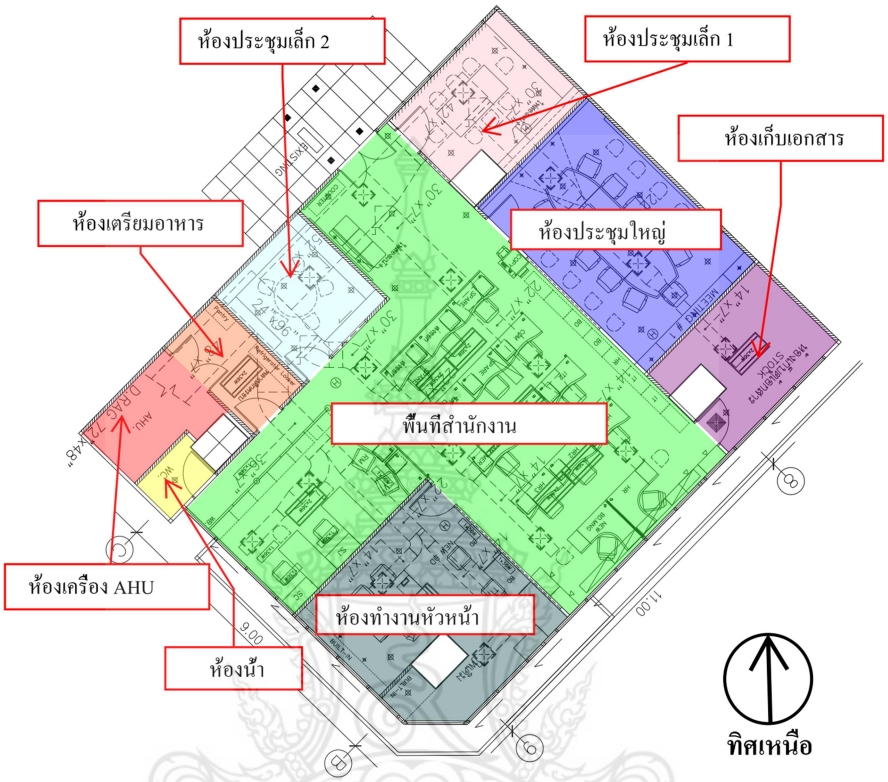
3.1.8 สรุปมาตรการปรับปรุงสำนักงานเช่าที่เหมาะสมกับค่าความเต็มใจจ่าย

3.1.9 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

3.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารสำนักงานเช่าปัจจุบัน

อาคารสำนักงานเช่าที่ทำการศึกษาพิกัดอยู่ในละติจูด 13º43’26” เหนือ ลองติจูด 100º32’28” ตะวันออก เขตสาทร จ. กรุงเทพมหานครมีขนาดพื้นที่ 16x14 m^2 สูง 2.7 m ชั้นที่ทำการศึกษาคือชั้นที่ 12 ของอาคารสำนักงานจำนวน 37 ชั้นพื้นที่ใช้สอย 35,000 m^2 ประกอบด้วยห้องประชุม ห้อง

เก็บเอกสาร ห้องเตรียมอาหาร พื้นที่สำนักงาน ห้องทำงานหัวหน้า ห้องเครื่อง AHU และห้องน้ำ ซึ่งแสดงทิศของอาคาร ตามรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 พื้นที่สำนักงานเช่าที่ทำการศึกษา

โดยการศึกษาครั้งนี้พิจารณาข้อมูลวัสดุกรอบอาคารทั้งผนังทึบและกระจกทั้งหมด 3 ด้าน คือ ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ (South East : SE) ทิศใต้ (South: S) และทิศตะวันตกเฉียงใต้ (South West : SW) เนื่องจากด้านอื่นไม่ติดกับอากาศภายนอกโดยห้องหรือพื้นที่พิจารณาประกอบด้วย ห้องทำงานหัวหน้า พื้นที่ทำงานและห้องเก็บเอกสาร โดยห้องน้ำไม่นำมาพิจารณาเนื่องจากเป็นพื้นที่ไม่ปรับอากาศถึงแม้จะติดกรอบอาคารก็ตาม โดยพื้นที่ส่วนอื่นๆไม่พิจารณาเนื่องจากอยู่ตรงกลางและไม่ถูกความร้อนถ่ายเทจากแสงอาทิตย์มากระทบข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 3.1

นำข้อมูลวัสดุกรอบอาคารจากตารางที่ 3.1, 3.2 และ 3.3 มาทำการหาค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร (Overall Thermal Transfer Value : OTTV) ตามสมการที่ (3.1)

$$OTTV_i = \frac{\left(A_w \times U_w \times T_{eq}\right) + \left(A_f \times U_f \times \Delta T\right) + \left(A_f \times SC \times ESR \times SHGC\right)}{A_i} \qquad (3.1)$$

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลพื้นที่วัสดุกรอบอาคาร (หน่วย: m^2)

รายการวัสดุ/ทิศ	SE	S	SW
ข้อมูลวัสดุของผนังทึบ			
ฟิล์มอากาศภายนอก	15	1.1	9
ปูนฉาบด้านนอก	15	1.1	9
คอนกรีตบล็อค 80 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชั้น	15	1.1	9
ปูนฉาบด้านใน	15	1.1	9
ฟิล์มอากาศภายใน	15	1.1	9
ข้อมูลวัสดุของผนังผนังโปร่งแสง			
ฟิล์มอากาศภายนอก	22.5	1.65	13.5
กระจกลามิเนต หนา 13.52 mm	22.5	1.65	13.5
ฟิล์มอากาศภายใน	22.5	1.65	13.5

และใช้ข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุทึบตามตารางที่ 3.2 วัสดุโปร่งแสงตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติวัสดุทึบปัจจุบัน

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ความหนาแน่น (kg/m^3)	k ($W/m.^oC$)	C_p ($kJ/kg.^oC$)	R ($m^2.^oC/W$)	DSH ($kJ/m^2.^oC$)
1	ฟิล์มอากาศภายนอก	-	-	-	-	0.04400	-
1	ฟิล์มอากาศภายนอก	-	-	-	-	0.04400	-
2	ปูนฉาบ	10.0	1,860	0.720	0.840	0.01389	15.624
3	คอนกรีตบล็อคกลวง 80 mm สองชั้น	160.0	2,110	0.546	0.920	0.29304	310.592
4	ปูนฉาบ	10.0	1,860	0.720	0.840	0.01389	15.624
5	ฟิล์มอากาศภายใน	-	-	-	-	0.12000	-

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลคุณสมบัติวัสดุโปร่งแสงปัจจุบัน

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ความหนาแน่น (kg/m^3)	k ($W/m.^oC$)	R ($m^2.^oC/W$)	SHGC
1	ฟิล์มอากาศภายนอก	-	-	-	0.044	
2	กระจกลามิเนตติดฟิล์ม	13.52	2,500	0.073008	0.185	0.48
3	ฟิล์มอากาศภายใน	-	-	-	0.12	

โดย

U_w = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมรวมผ่านผนัง (W/m^2•°C)

U_f = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมรวมผ่านผนังกระจก (W/m^2•°C)

TD_{eq} = ผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างอุณหภูมิภายในพื้นที่และอุณหภูมิภายนอก (°C)

ΔT = ผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างอุณหภูมิภายในพื้นที่และอุณหภูมิภายนอก (°C)

A_W = พื้นที่ผนังทึบ (m^2)

A_f = พื้นที่หรือผนังกระจก (m^2)

A_i = พื้นที่รวมผนังและกระจก (m^2)

SC = สัมประสิทธ์การบังแดด (Shading Coefficient)

$SHGC$ = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านผนังโปร่งแสง

ESR = ความรังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสงหรือผนังทึบ (W/m^2)

3.3 คำนวณภาระความร้อนที่เกิดจากภายในของสำนักงานเช่าปัจจุบัน

ทำการคำนวณภาระความร้อนจากอุปกรณ์ภายในของสำนักงานเช่าปัจจุบัน โดยมีพนักงาจำนวน 30 คน ลักษณะงานเป็นงานสำนักงาน มีกระติกน้ำร้อนและคอมพิวเตอร์รวมถึงหลอดไฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent) 36 W จำนวน 47 หลอด และไฟ Down light 8 W จำนวน 35 หลอด

3.4 กำหนดมาตรการลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร

ทำการกำหนดมาตรการเพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อนโดยกำหนดมาตรการดังนี้

3.4.1 เพิ่มความหนากระจกจากเดิม 13.52 mm ให้เป็น 17.52 mm โดยใช้วัสดุกระจกชนิดเดียวกับปัจจุบัน

3.4.2 ติดฟิล์มที่กระจกเพื่อทำให้ค่า SHGC อยู่ที่ 0.20 โดยที่ค่าวัสดุกระจกใหม่แสดงในตารางที่ 3.4

3.4.3 ติดมู่ลี่ที่กระจกเพื่อให้ค่าอุปกรณ์บดบังแสงแดด (Shading Coefficient: SC) อยู่ที่ 0.4

3.4.4 เพิ่มความหนากระจกจากเดิม 13.52 mm ให้เป็น 17.52 mm โดยใช้วัสดุกระจกชนิดเดียวกับปัจจุบันและติดฟิล์มที่กระจกเพื่อทำให้ค่า SHGC อยู่ที่ 0.20 โดยที่ค่าวัสดุกระจกใหม่โดยมีคุณสมบัติตามตารางที่ 3.4

3.4.5 เพิ่มความหนากระจกจากเดิม 13.52 mm ให้เป็น 17.52 mm โดยใช้วัสดุกระจกชนิดเดียวกับปัจจุบันและติดมู่ลี่ที่กระจกเพื่อให้ค่าอุปกรณ์บดบังแสงแดดอยู่ที่ 0.4

3.4.6 ติดฟิล์มที่กระจกเพื่อทำให้ค่า SHGC อยู่ที่ 0.20 โดยที่ค่าวัสดุกระจกใหม่โดยมีคุณสมบัติตามตารางที่ 3.4 และและติดมู่ลี่ที่กระจกเพื่อให้ค่าอุปกรณ์บดบังแสงแดดอยู่ที่ 0.4 และทำการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารใหม่ของมาตรการที่กำหนดด้วยสมการที่ 3.1

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลคุณสมบัติวัสดุโปร่งแสงที่ติดฟิล์มกระจก

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ความหนาแน่น (kg/m^3)	k ($W/m•^{\circ}C$)	R ($m^2•^{\circ}C/W$)	SHGC
1	ฟิล์มอากาศภายนอก	-	-	-	0.044	
2	กระจกลามิเนตติดฟิล์ม	13.52	2,500	0.073008	0.185	0.20
3	ฟิล์มอากาศภายใน	-	-	-	0.12	

3.5 กำหนดมาตรการเพื่อออกแบบแบบสอบถาม

กำหนดมาตรการในการปรับปรุงโดยแบ่งออกเป็น 3 หมวดหมู่ ได้แก่

1 มาตรการอนุรักษ์พลังงาน โดยมีมาตรการ ดังนี้

- เปลี่ยนกระจกโดยให้หนาขึ้นจาก 13.52 mm เป็น 17.52 mm โดยใช้วัสดุกระจกชนิดเดิม
- ติดฟิล์มกระจกเพื่อให้ค่า SHGC มีค่า 0.20
- ติดมู่ลี่เพื่อให้ค่า SC อยู่ที่ 0.4

โดยกำหนดตามที่แสดงในตารางที่ 3.5

2 มาตรการจัดการน้ำและของเสีย

- เปลี่ยนสุขภัณฑ์เป็นชนิดประหยัดน้ำ
- ควบคุมการเปิดปิดอ่างล้างมือและโถปัสสาวะด้วยอุปกรณ์ตรวจจับ
- การนำกระดาษที่ใช้แล้วกลับมาใช้ด้านหลัง

โดยกำหนดตามที่แสดงในตารางที่ 3.6

3 มาตรการเพื่อความสบาย

- เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเครื่องใหม่ที่สามารถทำอุณหภูมิที่ 25°C ได้
- ติดพัดตัวเล็กประจำโต๊ะทำงานของพนักงานแต่ละคน
- ปรับเปลี่ยนชุดทำงานของบริษัทให้เป็นผ้าที่ระบายอากาศได้ดี

โดยกำหนดตามที่แสดงในตารางที่ 3.7 สร้างแบบสอบถามเพื่อสำรวจความต้องการของพนักงานทุกคนในสำนักงานเช่าและทำการกำหนดทางเลือก โดยแต่ละทางเลือกจะประกอบไปด้วยคุณลักษณะ (Attribute) หลายคุณลักษณะและมีระดับของคุณลักษณะนั้นๆ แตกต่างกันออกไปโดยการใช้โรแกรมสำเร็จรูป SPSS เพื่อทำการกำหนดคุณลักษณะต่างๆ เพื่อให้พนักงานทำการประเมินโดยวิธี Choice Set ด้วยการทำแบบสอบถามต่อหน้า

ตารางที่ 3.5 มาตรการอนุรักษ์พลังงาน

มาตรการ	รายละเอียด	ร้อยละลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร	ค่าลงทุน (บาท)
E1	เปลี่ยนกระจกโดยให้หนาขึ้นจาก 13.52 mm เป็น 17.52 mm โดยใช้วัสดุกระจกชนิดเดิม	1.28	150,000
E2	ติดฟิล์มกระจกเพื่อให้ค่า SHGC มีค่า 0.20	47.19	50,000
E3	ติดมู่ลี่เพื่อให้ค่า Shading Coefficient อยู่ที่ 0.4	48.54	7,500
ผลรวม		68.68	207,500
E1+E2+E3	เปลี่ยนกระจกโดยให้หนาขึ้นจาก 13.52 mm เป็น 17.52 mm โดยใช้วัสดุกระจกชนิดเดิม ติดฟิล์มกระจกเพื่อให้ค่า SHGC มีค่า 0.20และติดมู่ลี่เพื่อให้ค่า Shading Coefficient อยู่ที่ 0.4	68.68	207,500

ตารางที่ 3.6 มาตรการจัดการน้ำและของเสีย

มาตรการ	รายละเอียด	ค่าใช้จ่ายที่ลดลงในการจัดการน้ำและของเสีย (บาท/เดือน)	ค่าลงทุน (บาท)
W1	เปลี่ยนสุขภัณฑ์เป็นชนิดประหยัดน้ำ	750	25,000
W2	ควบคุมการเปิดปิดอ่างล้างมือและโถปัสสาวะด้วยอุปกรณ์ตรวจจับ(Sensor)	250	18,000
W3	การนำกระดาษที่ใช้แล้วกลับมาใช้ด้านหลัง	200	0
ผลรวม		1,200	43,000
W1+W2+W3	เปลี่ยนสุขภัณฑ์เป็นชนิดประหยัดน้ำและควบคุมการเปิดปิดอ่างล้างมือและโถปัสสาวะด้วยอุปกรณ์ตรวจจับ(Sensor) และนำกระดาษที่ใช้แล้วกลับมาใช้ด้านหลัง	1,200	43,000

3.6 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลจากแบบสอบถาม

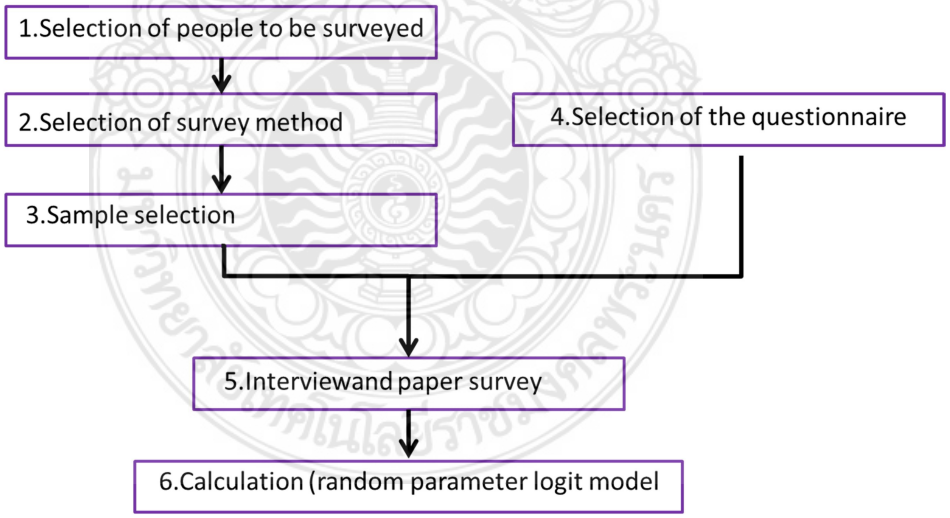
ขั้นตอนการวิจัยใช้แนวทางการศึกษาจาก Itsubo N. et al. [30] โดยการเลือกประชากรที่จะทำการสำรวจ จากนั้นเลือกวิธีการสำรวจและทำการเลือกกลุ่มตัวอย่างพร้อมกับเลือกคำถาม จากนั้นนำคำถามไปเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง เมื่อได้ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างแล้ว นำข้อมูลไปทำการวิเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2

ตารางที่ 3.7 มาตรการเพื่อเพิ่มความสบาย

มาตรการ	รายละเอียด	ร้อยละความไม่พอใจในความสบาย (PPD%)	ค่าลงทุน (บาท)
H1	เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเครื่องใหม่ที่สามารถทำอุณหภูมิที่ 25°C ได้	8	120,000
H2	ติดพัดตัวเล็กประจำโต๊ะทำงานของพนักงานแต่ละคน	7	15,000
H3	ปรับเปลี่ยนชุดทำงานของบริษัทให้เป็นผ้าที่ระบายอากาศได้ดี	11	30,000
ผลรวม		5	165,000
H1+H2+H3	เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเครื่องใหม่ที่สามารถทำอุณหภูมิที่ 25°C ได้ ติดพัดตัวเล็กประจำโต๊ะทำงานของพนักงานแต่ละคนและปรับเปลี่ยนชุดทำงานของบริษัทให้เป็นผ้าที่ระบายอากาศได้ดี	5	165,000

3.6.1 เลือกตัวอย่างที่จะทำการศึกษา โดยตัวอย่างที่ทำการศึกษาจะพิจารณาจาก

- ผู้บริหารและหัวหน้างานจำนวนทั้งหมด ซึ่งมี 4 คน
- พนักงานรวมทั้งหมดจำนวน 30 คน
- จำนวนผู้ตอบแบบสอบถามที่คาดว่าจะรวบรวมจำนวน 30 ชุด



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนวิธีการศึกษา

3.6.2 เลือกวิธีการรวบรวมแบบสอบถาม

สำหรับวิธีการจัดทำแบบสอบถามปัจจุบันที่มีหลายวิธี วิธี ได้แก่ สัมภาษณ์ การสัมภาษณ์ทางโทรศัพท์ การส่งแบบสอบทางทางอิเล็กทรอนิกส์ (E-mail) การทำแบบสำรวจผ่านทางกระดาษและ

ทางอินเตอร์เน็ต จากการสำรวจ Pre-survey พบว่าการสัมภาษณ์ทางโทรศัพท์ และการส่งแบบสอบทางทางอิเล็กทรอนิกส์ (E-mail) มีความคลาดเคลื่อนข้อมูลค่อนข้างสูง และผู้ตอบแบบสอบถามบางกลุ่มยังไม่เข้าใจแบบสอบถาม เนื่องจากเป็นแบบสอบถามเฉพาะด้าน ดังนั้นงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นแบบสอบถามทางกระดาษโดยมีตัวเลือก และใช้การทำแบบสอบถามต่อหน้าเพียงอย่างเดียว

3.6.3 การเลือกกลุ่มตัวอย่าง

การเลือกกลุ่มตัวอย่างจะเลือกจากข้อมูลที่ได้กำหนดไว้ในข้อที่ 3.5.1 โดยการเลือกเก็บข้อมูลจากพนักงานทุกคน โดยแบ่งเป็นผู้บริหารและหัวหน้างานจำนวน 4 คน และพนักงานรวมทั้งหมดจำนวน 30 คน

3.6.4 การออกแบบแบบสอบถาม

ตัวอย่างของแบบสอบถามแบ่งตัวเลือกเป็น 3 ข้อ คือกรณี A (สถานการณ์ปัจจุบัน)กรณี B (สถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลง) และกรณี C (สถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลง) เป็นส่วนคุณลักษณะ (Attribute) เป็น 4 คุณลักษณะคือ มาตรการอนุรักษ์พลังงาน มาตรการการจัดการน้ำและและของเสีย มาตรการเพิ่มความสบาย และค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้ความเต็มใจจ่าย (โดยความเต็มใจจ่ายและระดับ (Level) ของการปรับปรุงเบื้องต้นจากการทำ pre-test)

ทำการกำหนดคุณลักษณะ(Attribute) ของตัวเลือกตามมาตรการต่างๆด้วยโปรแกรม SPSS เพื่อได้ชุดข้อมูลมาประกอบการออกแบบสอบถามสำหรับพนักงาน โดยผลจากโปรแกรม SPSS ทำให้ได้เป็นชุดข้อมูลดังตารางที่ 3.8 โดย Energy คือ มาตรการด้านการอนุรักษ์พลังงาน Waste คือ มาตรการด้านการจัดการน้ำและของเสีย และ Comfort คือ มาตรการด้านการเพิ่มความสบาย

จากตารางที่ 4.4 พบว่าได้ชุดข้อมูลทั้งหมดจำนวน 25 ชุดข้อมูล โดยเลือกชุดข้อมูลที่ใช้ได้มีอยู่จำนวน 20 ชุดข้อมูล โดยมีรายละเอียดของชุดข้อมูลดังนี้

0 คือ ไม่มีการปรับปรุงใดๆ
1 คือ ปรับปรุงให้ดีขึ้นจากเดิมร้อยละ 25
2 คือ ปรับปรุงให้ดีขึ้นจากเดิมร้อยละ 50
3 คือ ปรับปรุงให้ดีขึ้นจากเดิมร้อยละ 75
4 คือ ปรับปรุงให้ดีขึ้นจากเดิมร้อยละ 100

โดยนำมาตรการทางด้านอนุรักษ์พลังงาน การจัดการสิ่งแวดล้อม และการเพิ่มสภาวะความสบายมาที่กำหนดไว้ มากำหนดให้ได้ตามชุดข้อมูลของแบบสอบถาม ซึ่งเมื่อนำมาตรการมาใส่ข้อมูลตามชุดข้อมูลจากโปรแกรม SPSS จะได้ออกแบบสอบถามจำนวน 4 ชุด ในแต่ละชุดมีจำนวนชุดละ 5 คำถาม และนำไปเก็บข้อมูลจากพนักงานทั้งหมดในสำนักงานจำนวน 30 คน ซึ่งมี 4 คนเป็นระดับผู้บริหารและหัวหน้างาน โดยตัวอย่างแบบสอบถามดังแสดงในตารางที่ 3.9

3.6.5 การสำรวจแบบสอบถาม

ในการสำรวจแบบสอบถามใช้วิธีสัมภาษณ์แบบเผชิญหน้า โดยแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 4 ชุด ชุดละ 5 ข้อ โดยมีการให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงาน การจัดการน้ำและทรัพยากรและสภาวะความสบาย

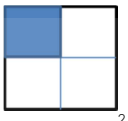
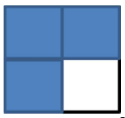
ตารางที่ 3.8 ชุดตัวเลือกของแบบสอบถาม

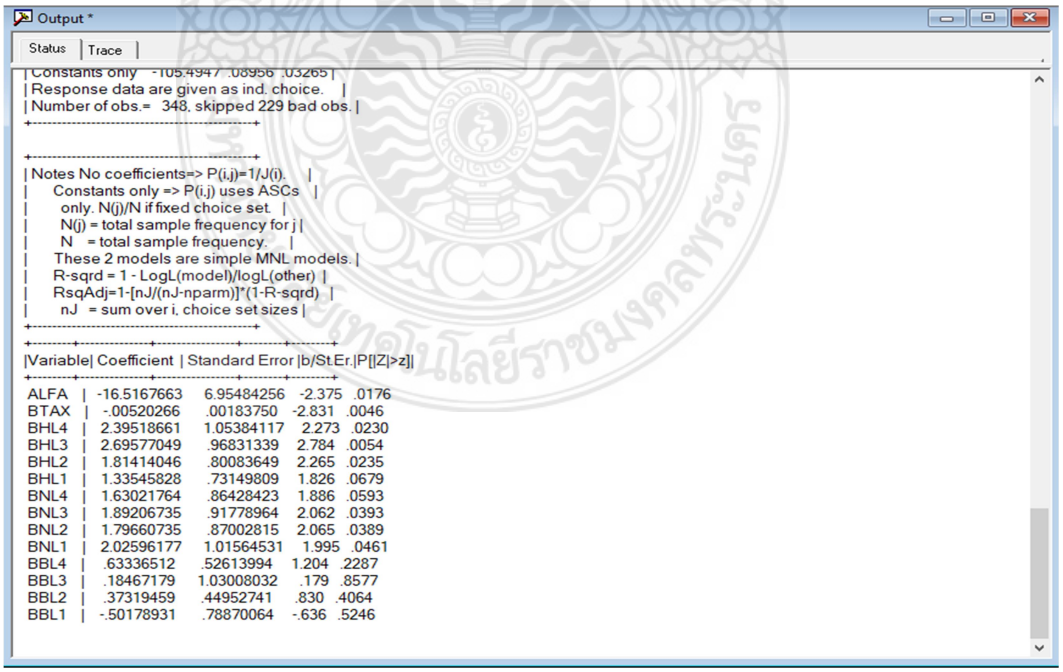
Energy	Waste	Comfort	CARD_
3.00	4.00	0.00	1
3.00	2.00	1.00	2
0.00	2.00	4.00	4
1.00	4.00	2.00	5
1.00	3.00	0.00	7
1.00	1.00	1.00	8
2.00	2.00	2.00	9
2.00	3.00	4.00	10
4.00	2.00	0.00	11
2.00	0.00	3.00	12
1.00	0.00	4.00	13
0.00	1.00	2.00	14
3.00	3.00	3.00	15
4.00	4.00	4.00	17
2.00	1.00	0.00	20
4.00	0.00	1.00	21
0.00	4.00	3.00	22
4.00	1.00	3.00	23
3.00	0.00	2.00	24
0.00	3.00	1.00	25

3.7 การคำนวณหาค่าความเต็มใจจ่าย

การคำนวณจะนำผลการตอบแบบสอบถามของผู้ตอบแต่ละคนมาพิจารณาค่าการให้น้ำหนักความสำคัญโดยใช้ Random Parameter Logit Model (RPL) ซึ่งพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูล ให้ผู้ตอบแบบสอบถามเลือก ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ค่าความเคลื่อนของข้อมูลค่อนข้างสูง ทั้งนี้ได้มีการแปรผลการศึกษาแบ่งเป็นเฉพาะของผู้บริหารและหัวหน้างาน กับของพนักงานทุกคน โดยใช้โปรแกรม N-Logit ในการวิเคราะห์ผลข้อมูล โดยตัวอย่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรมแสดงในรูปที่ 3.3

ตารางที่ 3.9 ตัวอย่างแบบสอบถาม

ตัวเลือก / การลดลง	ตัวเลือก A (สถานการณ์ปัจจุบัน)	ตัวเลือก B	ตัวเลือก C
OTTV (W/m^2)	92.94 W/m^2	 91.75 W/m^2	 46.64 W/m^2
การสูญเสียทรัพยากรในองค์กร (บาท/เดือน)	ลดลงเหลือ 1,200 บาท/เดือน	ลดลงเหลือ 1,000 บาท/เดือน	ไม่มีค่าใช้จ่ายที่สูญเปล่า
ร้อยละผู้รู้สึกไม่สบาย PPD (%)	12%	8%	7%
ค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้นต่อพนักงานหนึ่งคน (บาท/ปี)	0 บาท	200 บาท	300 บาท



Output *

Status | Trace |

| Constants only -105.4947 .08956 .03265 |
| Response data are given as ind. choice. |
| Number of obs.= 348, skipped 229 bad obs. |

| Notes No coefficients=> P(i,j)=1/J(i). |
| Constants only => P(i,j) uses ASCs |
| only. N(j)/N if fixed choice set. |
| N(j) = total sample frequency for j |
| N = total sample frequency. |
| These 2 models are simple MNL models. |
| R-sqrd = 1 - LogL(model)/logL(other) |
| RsqAdj=1-[nJ/(nJ-nparm)]*(1-R-sqrd) |
| nJ = sum over i, choice set sizes |

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[|Z|>z]
ALFA	-16.5167663	6.95484256	-2.375	.0176
BTAX	-.00520266	.00183750	-2.831	.0046
BHL4	2.39518661	1.05384117	2.273	.0230
BHL3	2.69577049	.96831339	2.784	.0054
BHL2	1.81414046	.80083649	2.265	.0235
BHL1	1.33545828	.73149809	1.826	.0679
BNL4	1.63021764	.86428423	1.886	.0593
BNL3	1.89206735	.91778964	2.062	.0393
BNL2	1.79660735	.87002815	2.065	.0389
BNL1	2.02596177	1.01564531	1.995	.0461
BBL4	.63336512	.52613994	1.204	.2287
BBL3	.18467179	1.03008032	.179	.8577
BBL2	.37319459	.44952741	.830	.4064
BBL1	-.50178931	.78870064	-.636	.5246

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม N-Logit

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

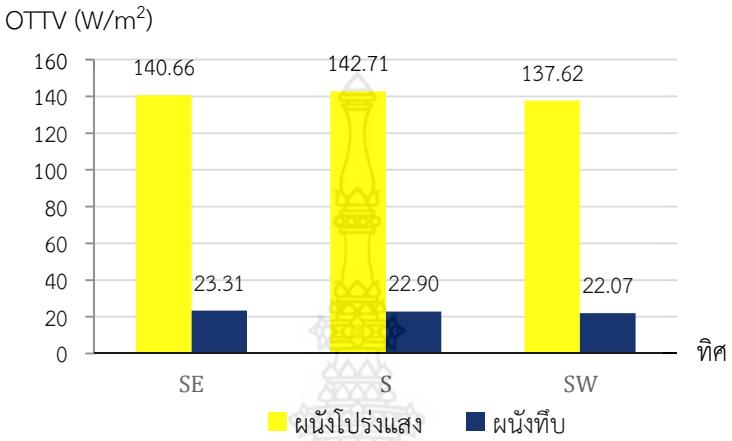
4.1 ผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของสำนักงานเช่าปัจจุบัน

ผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารของสำนักงานเช่าปัจจุบัน ทำการคำนวณผนังทั้งหมด 3 ด้านที่เป็นพื้นที่ปรับอากาศและสัมผัสกับแสงอาทิตย์ภายนอก คือทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ (South East : SE) ประกอบด้วยห้องทำงานหัวหน้า พื้นที่ทำงานและห้องเก็บของ ส่วนทิศใต้ (South: S) ซึ่งเป็นห้องทำงานหัวหน้าเพียงห้องเดียว และทิศตะวันตกเฉียงใต้ (South West : SW) ประกอบด้วยห้องทำงานหัวหน้าและพื้นที่ทำงาน เนื่องจากด้านอื่นประกอบด้วยห้อง AHU ห้องประชุมเล็ก1 และห้องประชุมเล็ก2 ไม่ติดกับอากาศภายนอกโดยห้องจึงไม่นำมาพิจารณา และในส่วนของห้องน้ำไม่นำมาพิจารณาเนื่องจากเป็นพื้นที่ไม่ปรับอากาศถึงแม้จะติดกรอบอาคารก็ตาม จากการคำนวณ ได้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารก่อนทำการปรับปรุงที่ 92.94 W/m^2

ผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารปัจจุบันโดยพบว่ามีค่าสูงถึง 92.94 W/m^2 ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าค่าที่ประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 กำหนดไว้ที่ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารของสำนักงานต้องมีค่าไม่เกิน 50 W/m^2 โดยทิศตะวันออกเฉียงใต้มีความร้อนเข้ามาผ่านทางกระจก 3,164.79 W แบ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนที่ 322.88 W และการแผ่รังสีความร้อนที่ 2,841.91 W ซึ่งเมื่อนำความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาผ่านกระจกหารด้วยพื้นที่ของกระจกจะได้ค่า OTTV 140.66 W/m^2 และการถ่ายเทความร้อนเข้ามาผ่านผนังทึบอยู่ที่ 349.68 W โดยคิดเป็นค่า OTTV ได้ 23.31 W/m^2 ในทิศใต้มีความร้อนเข้ามาผ่านทางกระจก 235.47 W แบ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนที่ 23.68 W และการแผ่รังสีความร้อนที่ 211.79 W ซึ่งเมื่อนำความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาผ่านกระจกหารด้วยพื้นที่ของกระจกจะได้ค่า OTTV 142.71 W/m^2 และการถ่ายเทความร้อนเข้ามาผ่านผนังทึบอยู่ที่ 25.19 W โดยคิดเป็นค่า OTTV ได้ 22.90 W/m^2 และในส่วนทิศตะวันตกเฉียงใต้มีความร้อนเข้ามาผ่านทางกระจก 1,857.92 W แบ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนที่ 193.73 W และการแผ่รังสีความร้อนที่ 1664.19 W ซึ่งเมื่อนำความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาผ่านกระจกหารด้วยพื้นที่ของกระจกจะได้ค่า OTTV 137.62 W/m^2 และการถ่ายเทความร้อนเข้ามาผ่านผนังทึบอยู่ที่ 198.67 W โดยคิดเป็นค่า OTTV ได้ 22.07 W/m^2 (ภาคผนวก ข ตาราง ก)

เมื่อเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่เข้ามาในแต่ละทิศจะพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันมาก โดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของทิศตะวันออกเฉียงใต้อยู่ที่ 93.71 W/m^2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของทิศใต้อยู่ที่ 94.78 W/m^2 และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของทิศตะวันตกเฉียงใต้อยู่ที่ 91.40 W/m^2 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากค่าอัตราส่วนกระจกต่อผนังทั้งหมด (Window to Wall Ratio : WWR) เท่ากันที่ 0.6

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่เข้ามาผ่านผนังกับกระจกจะพบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกระจกมีค่าสูงกว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังถึง 6 เท่า ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งหมายความว่าความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาสู่อาคารส่วนใหญ่ผ่านมาจากทางกระจก



รูปที่ 4.1 ผลการเปรียบเทียบค่า OTTV ก่อนปรับปรุงของผนังโปร่งแสงและผนังทึบ

ซึ่งในงานวิจัยจะทำการศึกษาหามาตรการการในการลดความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกรอบอาคารโดยจะเน้นในการปรับปรุงกระจกเป็นหลักเนื่องจากความร้อนส่วนใหญ่ถ่ายเทมาทางกระจก

4.2 คำนวณภาระความร้อนที่เกิดจากภายในของสำนักงานเช่าปัจจุบัน

คำนวณภาระความร้อนที่เกิดจากภายในของสำนักงานเช่าปัจจุบัน พบว่าความร้อนจากภายในจากคนเท่ากับ 3,322 W แบ่งเป็นความร้อนสัมผัส 1,520 W และความร้อนแฝง 1,802 W จากหลอดไฟ 1,046 W จากคอมพิวเตอร์และเครื่องใช้ไฟฟ้ารวมถึงกระติกน้ำร้อน 6,507 W แบ่งเป็นความร้อนสัมผัส 4,507 W และความร้อนแฝง 2,000 W รวมความร้อนที่เกิดจากภายในทั้งหมด 10,874 W แบ่งเป็นความร้อนสัมผัส 9,533 W และความร้อนแฝง 3,802 W ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ภาระความร้อนที่เกิดภายใน

SPACE LOADS	Details	Sensible	Latent
		(W)	(W)
Overhead Lighting	1368 W	1046	-
Electric Equipment	3360 W	3007	-
People	30	1520	1802
Miscellaneous	-	1500	2000
>> Total Zone Loads	**-**	**7072**	**3802**

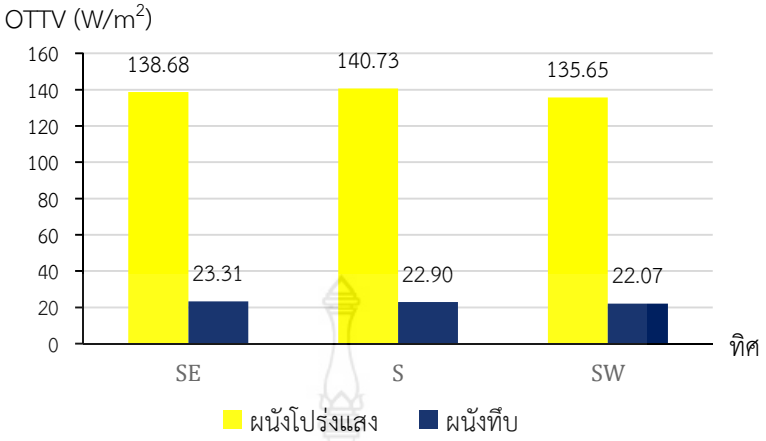
4.3 กำหนดมาตรการในการปรับปรุงกรอบอาคารและคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมโดยการเพิ่มความหนากระจกด้วยวัสดุกระจกเดิม

เนื่องจากความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาส่วนใหญ่จะเข้ามาผ่านทางกระจก จึงกำหนดแนวทางในการปรับปรุงกรอบอาคารโดยเน้นไปที่การปรับปรุงกระจกเพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวม โดยเพิ่มความหนากระจกจากเดิม 13.52 mm ให้เป็น 17.52 mm โดยใช้วัสดุกระจกชนิดเดียวกับปัจจุบัน เนื่องจากความหนาของกระจกมีผลต่อการเพิ่มค่าความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance: R) และคำนวณผลค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารใหม่หลังจากการเพิ่มความหนาของกระจก โดยมีค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงอยู่ที่ 150,000 บาท

จากการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารจากการปรับปรุงเปลี่ยนกระจกโดยเพิ่มความหนากระจกจากเดิม 13.52 mm ให้เป็น 17.52 mm โดยใช้วัสดุกระจกชนิดเดียวกับปัจจุบันโดยพบว่ามีค่าสูงถึง 91.75 W/m^2 โดยลดลงจากก่อนปรับปรุงคิดเป็นร้อยละ1.28 ซึ่งยังเป็นค่าที่สูงกว่าค่าที่ประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 กำหนดไว้ที่ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารของสำนักงานต้องมีค่าไม่เกิน 50 W/m^2 โดยทิศตะวันออกเฉียงใต้มีความร้อนเข้ามาผ่านทางกระจก 3,120.35 W แบ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนที่ 278.44 W และการแผ่รังสีความร้อนที่ 2,841.91 W ซึ่งเมื่อนำความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาผ่านกระจกหารด้วยพื้นที่ของกระจกจะได้ค่า OTTV 138.68 W/m^2 และการถ่ายเทความร้อนเข้ามาผ่านผนังทึบอยู่ที่ 349.68 W โดยคิดเป็นค่า OTTV ได้ 23.31 W/m^2 ในส่วนทิศใต้มีความร้อนเข้ามาผ่านทางกระจก 232.21 W แบ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนที่ 20.42 W และการแผ่รังสีความร้อนที่ 211.79 W ซึ่งเมื่อนำความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาผ่านกระจกหารด้วยพื้นที่ของกระจกจะได้ค่า OTTV 140.73 W/m^2 และการถ่ายเทความร้อนเข้ามาผ่านผนังทึบอยู่ที่ 25.19 W โดยคิดเป็นค่า OTTV ได้ 22.90 W/m^2 และในส่วนทิศตะวันตกเฉียงใต้มีความร้อนเข้ามาผ่านทางกระจก 1,831.26 W แบ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนที่ 167.06 W และการแผ่รังสีความร้อนที่ 1,664.19 W ซึ่งเมื่อนำความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาผ่านกระจกหารด้วยพื้นที่ของกระจกจะได้ค่า OTTV 135.65 W/m^2 และการถ่ายเทความร้อนเข้ามาผ่านผนังทึบอยู่ที่ 198.67 W โดยคิดเป็นค่า OTTV ได้ 22.07 W/m^2 (ภาคผนวก ข ตาราง ข)

เมื่อเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่เข้ามาในแต่ละทิศจะพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันมาก โดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของทิศตะวันออกเฉียงใต้อยู่ที่ 92.53 W/m^2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของทิศใต้อยู่ที่ 93.59 W/m^2 และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของทิศตะวันตกเฉียงใต้อยู่ที่ 90.21 W/m^2 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากค่าอัตราส่วนกระจกต่อผนังทั้งหมด (Window to Wall Ratio : WWR) เท่ากันที่ 0.6

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่เข้ามาผ่านผนังกับกระจกจะพบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกระจกยังคงมีค่าสูงกว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังถึง 6 เท่า ดังรูปที่ 4.2 โดยการเพิ่มความหนากระจกจะสามารถลดความร้อนได้ส่วนของการนำความร้อนเท่านั้น เนื่องจากความหนามีผลกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ



รูปที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบค่า OTTV ของผนังโปร่งแสงและผนังทึบจากการเพิ่มความหนาของกระจก

4.4 ติดฟิล์มกระจกเพื่อให้ค่า SHGC มีค่า 0.20

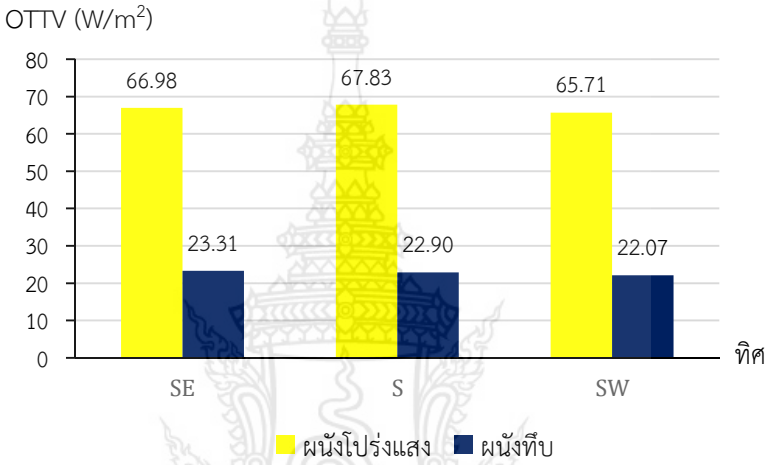
เนื่องจากค่า SHGC ของกระจกมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการแผ่รังสีของกระจก และคำนวณผลค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารใหม่หลังจากการติดฟิล์มกระจก โดยมีค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงอยู่ที่ 50,000 บาท

จากผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารจากติดฟิล์มกระจกเพื่อให้ค่า SHGC มีค่า 0.2 โดยพบว่ามีค่า 49.08 W/m^2 โดยมีค่าลดลงจากก่อนการปรับปรุงร้อยละ 47.19 ซึ่งเป็นค่าที่ผ่านตามประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 กำหนดไว้ที่ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารของสำนักงานต้องมีค่าไม่เกิน 50 W/m^2 โดยทิศตะวันออกเฉียงใต้มีความร้อนเข้ามาผ่านทางกระจก 1,507.01 W แบ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนที่ 322.88 W และการแผ่รังสีความร้อนที่ 1,184.13 W ซึ่งเมื่อนำความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาผ่านกระจกหารด้วยพื้นที่ของกระจกจะได้ค่า OTTV 66.98 W/m^2 และการถ่ายเทความร้อนเข้ามาผ่านผนังทึบอยู่ที่ 349.68 W โดยคิดเป็นค่า OTTV ได้ 23.31 W/m^2 ในส่วนทิศใต้มีความร้อนเข้ามาผ่านทางกระจก 111.92 W แบ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนที่ 23.68 W และการแผ่รังสีความร้อนที่ 88.25 W ซึ่งเมื่อนำความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาผ่านกระจกหารด้วยพื้นที่ของกระจกจะได้ค่า OTTV 67.83 W/m^2 และการถ่ายเทความร้อนเข้ามาผ่านผนังทึบอยู่ที่ 25.19 W โดยคิดเป็นค่า OTTV ได้ 22.90 W/m^2 และในส่วนทิศตะวันตกเฉียงใต้มีความร้อนเข้ามาผ่านทางกระจก 887.14 W แบ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนที่ 193.73 W และการแผ่รังสีความร้อนที่ 693.41 W ซึ่งเมื่อนำความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาผ่านกระจกหารด้วยพื้นที่ของกระจกจะได้ค่า OTTV 65.71 W/m^2 และการถ่ายเทความร้อนเข้ามาผ่านผนังทึบอยู่ที่ 198.67 W โดยคิดเป็นค่า OTTV ได้ 22.07 W/m^2 (ภาคผนวก ข ตาราง ค)

เมื่อเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่เข้ามาในแต่ละทิศจะพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันมาก โดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของทิศตะวันออกเฉียงใต้อยู่ที่ 49.51 W/m^2 ค่าการถ่ายเทความร้อน

รวมของทิศใต้อยู่ที่ 49.85 W/m^2 และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของทิศตะวันตกเฉียงใต้อยู่ที่ 48.25 W/m^2 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากค่าอัตราส่วนกระจกต่อผนังทั้งหมด (Window to Wall Ratio : WWR) เท่ากันที่ 0.6

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่เข้ามาผ่านผนังกับกระจกจะพบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกระจกยังคงมีค่าสูงกว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังประมาณ 3 เท่า ดังรูปที่ 4.3 โดยการติดฟิล์มกระจกจะสามารถลดความร้อนได้ส่วนของการแผ่รังสีความร้อนเท่านั้น เนื่องจากค่า SHGC ผลกับการแผ่รังสีความร้อนเท่านั้น



รูปที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบค่า OTTV ของผนังโปร่งแสงและผนังทึบจากการติดฟิล์มกระจก

4.5 ติดมู่ลี่บังแสงที่กระจกเพื่อให้ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient: SC) มีค่า 0.40

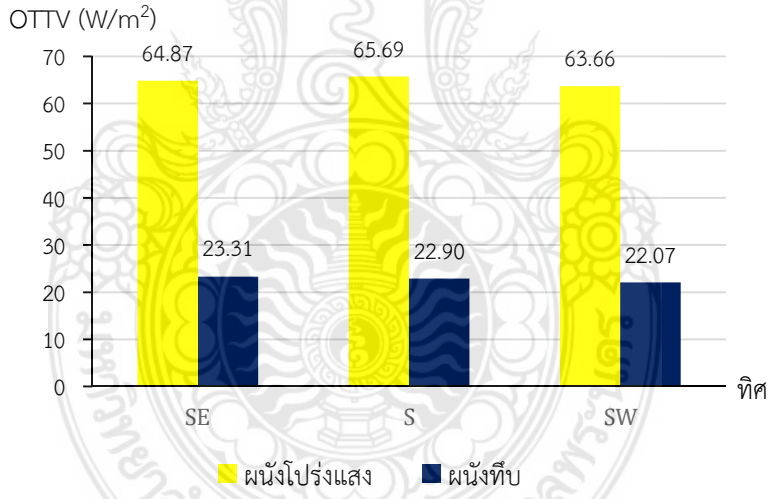
เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการแผ่รังสีของกระจก และคำนวณผลค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารใหม่หลังจากการติดมู่ลี่บังแดดที่กระจก โดยมีค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงอยู่ที่ 57,500 บาท

จากการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมจากการติดมู่ลี่บังแดดที่กระจกพบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารจากติดมู่ลี่บังแดดที่กระจก มีค่า 47.82 W/m^2 โดยมีค่าลดลงจากก่อนการปรับปรุงร้อยละ 48.54 ซึ่งเป็นค่าที่ผ่านตามประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 กำหนดไว้ที่ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารของสำนักงานต้องมีค่าไม่เกิน 50 W/m^2 โดยทิศตะวันออกเฉียงใต้มีความร้อนเข้ามาผ่านทางกระจก 1,459.64 W แบ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนที่ 322.88 W และการแผ่รังสีความร้อนที่ 1,136.76 W ซึ่งเมื่อนำความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาผ่านกระจกหารด้วยพื้นที่ของกระจกจะได้ค่า OTTV 64.87 W/m^2 และการถ่ายเทความร้อนเข้ามาผ่านผนังทึบอยู่ที่ 349.68 W โดยคิดเป็นค่า OTTV ได้ 23.31 W/m^2 ในส่วนทิศใต้มีความร้อนเข้ามาผ่านทางกระจก 108.39 W แบ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนที่ 23.68 W และการแผ่รังสีความร้อนที่ 84.72 W ซึ่งเมื่อนำความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาผ่านกระจกหารด้วยพื้นที่

ของกระจกจะได้ค่า OTTV 65.69 W/m^2 และการถ่ายเทความร้อนเข้ามาผ่านผนังทึบอยู่ที่ 25.19 W โดยคิดเป็นค่า OTTV ได้ 22.90 W/m^2 และในส่วนทิศตะวันตกเฉียงใต้มีความร้อนเข้ามาผ่านทางกระจก 859.40 W แบ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนที่ 193.73 W และการแผ่รังสีความร้อนที่ 665.78 W ซึ่งเมื่อนำความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาผ่านกระจกหารด้วยพื้นที่ของกระจกจะได้ค่า OTTV 63.66 W/m^2 และการถ่ายเทความร้อนเข้ามาผ่านผนังทึบอยู่ที่ 198.67 W โดยคิดเป็นค่า OTTV ได้ 22.07 W/m^2 (ภาคผนวก ข ตาราง ง)

เมื่อเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่เข้ามาในแต่ละทิศจะพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันมาก โดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของทิศตะวันออกเฉียงใต้อยู่ที่ 48.24 W/m^2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของทิศใต้อยู่ที่ 48.57 W/m^2 และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของทิศตะวันตกเฉียงใต้อยู่ที่ 47.02 W/m^2 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากค่าอัตราส่วนกระจกต่อผนังทั้งหมด (Window to Wall Ratio : WWR) เท่ากันที่ 0.6

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่เข้ามาผ่านผนังกับกระจกจะพบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกระจกยังคงมีค่าสูงกว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังประมาณ 2.86 เท่า ดังรูปที่ 4.4 โดยการติดมู่ลี่บังแดดกระจกจะสามารถลดความร้อนได้ส่วนของการแผ่รังสีความร้อนเท่านั้น เนื่องจากค่า SC มีผลกับการแผ่รังสีความร้อนเท่านั้น



รูปที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบค่า OTTV ของผนังโปร่งแสงและผนังทึบจากการติดมู่ลี่บังแดด

4.6 เพิ่มความหนากระจกจากเดิม 13.52 mm ให้เป็น 17.52 mm โดยใช้วัสดุกระจกชนิดเดียวกับปัจจุบันและติดฟิล์มที่กระจกเพื่อให้ค่า SHGC มีค่า 0.20

คำนวณผลค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารใหม่หลังจากการเพิ่มความหนาและติดฟิล์มกระจก โดยมีค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงอยู่ที่ 200,000 บาท

ผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารจากเพิ่มความหนากระจกและติดฟิล์มกระจก โดยพบว่ามีค่า 47.89 W/m^2 โดยมีค่าลดลงจากก่อนการปรับปรุงร้อยละ 48.47 ซึ่งเป็น

ค่าที่ผ่านตามประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 กำหนดไว้ที่ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารของสำนักงานต้องมีค่าไม่เกิน 50 W/m^2 โดยทิศตะวันออกเฉียงใต้มีความร้อนเข้ามาผ่านทางกระจก 1,462.57 W แบ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนที่ 278.44 W และการแผ่รังสีความร้อนที่ 1,184.13 W ซึ่งเมื่อนำความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาผ่านกระจกหารด้วยพื้นที่ของกระจกจะได้ค่า OTTV 65.00 W/m^2 และการถ่ายเทความร้อนเข้ามาผ่านผนังทึบอยู่ที่ 349.68 W โดยคิดเป็นค่า OTTV ได้ 23.31 W/m^2 ในส่วนทิศใต้มีความร้อนเข้ามาผ่านทางกระจก 108.66 W แบ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนที่ 20.42 W และการแผ่รังสีความร้อนที่ 88.25 W ซึ่งเมื่อนำความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาผ่านกระจกหารด้วยพื้นที่ของกระจกจะได้ค่า OTTV 65.86 W/m^2 และการถ่ายเทความร้อนเข้ามาผ่านผนังทึบอยู่ที่ 25.19 W โดยคิดเป็นค่า OTTV ได้ 22.90 W/m^2 และในส่วนทิศตะวันตกเฉียงใต้มีความร้อนเข้ามาผ่านทางกระจก 860.48 W แบ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนที่ 167.06 W และการแผ่รังสีความร้อนที่ 693.41 W ซึ่งเมื่อนำความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาผ่านกระจกหารด้วยพื้นที่ของกระจกจะได้ค่า OTTV 63.74 W/m^2 และการถ่ายเทความร้อนเข้ามาผ่านผนังทึบอยู่ที่ 198.67 W โดยคิดเป็นค่า OTTV ได้ 22.07 W/m^2 (ภาคผนวก ข ตาราง จ)

เมื่อเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่เข้ามาในแต่ละทิศจะพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันมาก โดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของทิศตะวันออกเฉียงใต้อยู่ที่ 48.24 W/m^2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของทิศใต้อยู่ที่ 48.57 W/m^2 และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของทิศตะวันตกเฉียงใต้อยู่ที่ 47.02 W/m^2 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากค่าอัตราส่วนกระจกต่อผนังทั้งหมด (Window to Wall Ratio : WWR) เท่ากันที่ 0.6

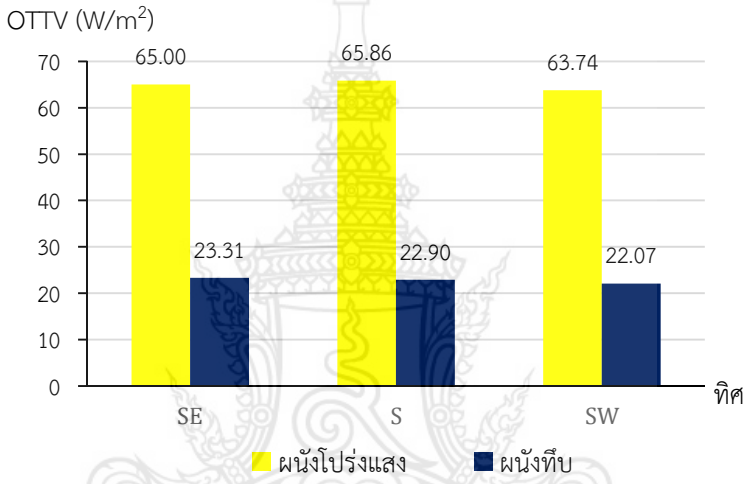
เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่เข้ามาผ่านผนังกับกระจกจะพบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกระจกยังคงมีค่าสูงกว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังประมาณ 2.87 เท่า ดังรูปที่ 4.5 โดยการเปลี่ยนกระจกที่เพิ่มความหนาและการติดฟิล์มที่กระจกจะสามารถลดความร้อนได้ส่วนของการนำความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน

4.7 เพิ่มความหนากระจกจากเดิม 13.52 mm ให้เป็น 17.52 mm โดยใช้วัสดุกระจกชนิดเดียวกับปัจจุบันและติดมูลี่บังแดดที่กระจกเพื่อให้ค่า SC มีค่า 0.4

คำนวณผลค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารใหม่หลังจากการเพิ่มความหนาและติดมู่ลี่บังแดดกระจก โดยมีค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงอยู่ที่ 157,500 บาท

ผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารจากเพิ่มความหนากระจกและติดมูลี่บังแดดกระจก โดยพบว่ามีค่า 46.64 W/m^2 โดยมีค่าลดลงจากก่อนการปรับปรุงร้อยละ 49.81 ซึ่งเป็นค่าที่ผ่านตามประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 กำหนดไว้ที่ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารของสำนักงานต้องมีค่าไม่เกิน 50 W/m^2 โดยทิศตะวันออกเฉียงใต้มีความร้อนเข้ามาผ่านทางกระจก 1,415.20 W แบ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนที่ 278.44 W และการแผ่รังสีความร้อนที่ 1,136.76 W ซึ่งเมื่อนำความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาผ่านกระจกหารด้วยพื้นที่ของกระจกจะได้ค่า OTTV 62.90 W/m^2 และการถ่ายเทความร้อนเข้ามาผ่านผนังทึบอยู่ที่ 349.68 W โดยคิดเป็นค่า OTTV ได้ 23.31 W/m^2 ในส่วนทิศใต้มีความร้อนเข้ามาผ่านทางกระจก 105.13 W แบ่งเป็น

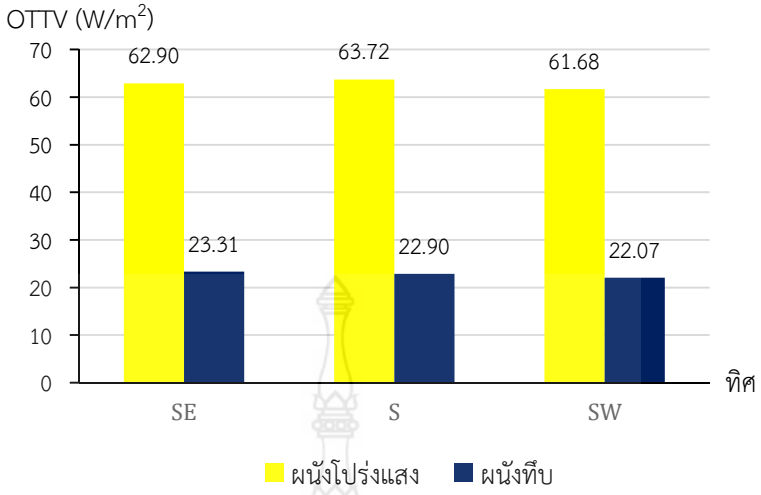
การถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนที่ 20.42 W และการแผ่รังสีความร้อนที่ 84.72 W ซึ่งเมื่อนำความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาผ่านกระจกหารด้วยพื้นที่ของกระจกจะได้ค่า OTTV 63.72 W/m^2 และการถ่ายเทความร้อนเข้ามาผ่านผนังทึบอยู่ที่ 25.19 W โดยคิดเป็นค่า OTTV ได้ 22.90 W/m^2 และในส่วนทิศตะวันตกเฉียงใต้มีความร้อนเข้ามาผ่านทางกระจก 832.74 W แบ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนที่ 167.06 W และการแผ่รังสีความร้อนที่ 665.68 W ซึ่งเมื่อนำความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาผ่านกระจกหารด้วยพื้นที่ของกระจกจะได้ค่า OTTV 61.68 W/m^2 และการถ่ายเทความร้อนเข้ามาผ่านผนังทึบอยู่ที่ 198.67 W โดยคิดเป็นค่า OTTV ได้ 22.07 W/m^2 (ภาคผนวก ข ตาราง ฉ)



รูปที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบค่า OTTV ของผนังโปร่งแสงและผนังทึบจากการเพิ่มความหนาและติดฟิล์มกระจก

เมื่อเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่เข้ามาในแต่ละทิศจะพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันมาก โดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของทิศตะวันออกเฉียงใต้อยู่ที่ 47.06 W/m^2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของทิศใต้อยู่ที่ 47.39 W/m^2 และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของทิศตะวันตกเฉียงใต้อยู่ที่ 45.84 W/m^2 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากค่าอัตราส่วนกระจกต่อผนังทั้งหมด (Window to Wall Ratio : WWR) เท่ากันที่ 0.6

จากการเพิ่มความหนาและติดมู่ลี่บังแดดกระจกเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่เข้ามาผ่านผนังกับกระจกจะพบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกระจกยังคงมีค่าสูงกว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังประมาณ 2.78 เท่า ดังรูปที่ 4.6 โดยการเปลี่ยนกระจกที่เพิ่มความหนาและการติดมู่ลี่บังแดดที่กระจกจะสามารถลดความร้อนได้ส่วนของการนำความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน



รูปที่ 4.6 ผลการเปรียบเทียบค่า OTTV ของผนังโปร่งแสงและผนังทึบ จากการเพิ่มความหนาและติดมู่ลี่บังแดดกระจก

4.8 ติดฟิล์มกระจกให้มีค่า SHGC 0.20 และติดมูลี่บังแดดที่กระจกเพื่อให้ค่า SC มีค่า 0.4

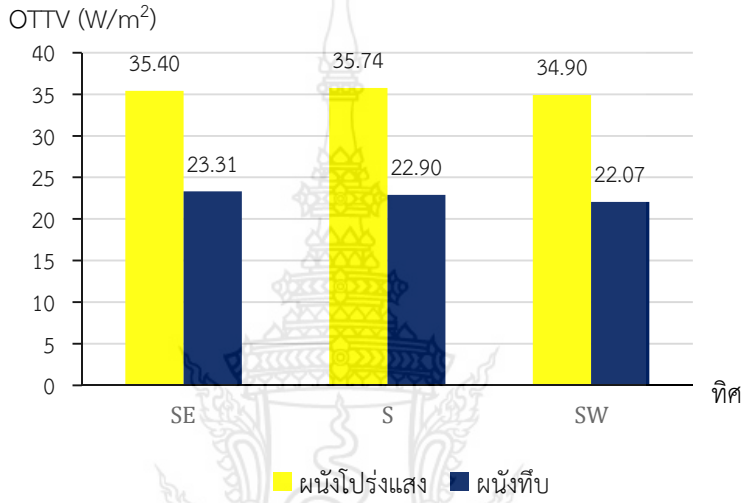
คำนวณผลค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารใหม่หลังจากการติดฟิล์มกระจกและติดมู่ลี่บังแดดกระจก โดยมีค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงอยู่ที่ 57,500 บาท

ผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมจากการติดฟิล์มและติดมู่ลี่บังแดดพบว่ามีค่า 30.28 W/m^2 โดยมีค่าลดลงจากก่อนการปรับปรุงร้อยละ 67.41 ซึ่งเป็นค่าที่ผ่านตามประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 กำหนดไว้ที่ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารของสำนักงานต้องมีค่าไม่เกิน 50 W/m^2 โดยทิศตะวันออกเฉียงใต้มีความร้อนเข้ามาผ่านทางกระจก 796.53 W แบ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนที่ 322.88 W และการแผ่รังสีความร้อนที่ 473.65 W ซึ่งเมื่อนำความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาผ่านกระจกหารด้วยพื้นที่ของกระจกจะได้ค่า OTTV 35.40 W/m^2 และการถ่ายเทความร้อนเข้ามาผ่านผนังทึบอยู่ที่ 349.68 W โดยคิดเป็นค่า OTTV ได้ 23.31 W/m^2 ในส่วนทิศใต้มีความร้อนเข้ามาผ่านทางกระจก 58.98 W แบ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนที่ 23.68 W และการแผ่รังสีความร้อนที่ 35.30 W ซึ่งเมื่อนำความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาผ่านกระจกหารด้วยพื้นที่ของกระจกจะได้ค่า OTTV เท่ากับ 35.74 W/m^2 และการถ่ายเทความร้อนเข้ามาผ่านผนังทึบอยู่ที่ 25.19 W โดยคิดเป็นค่า OTTV ได้ 22.90 W/m^2 และในส่วนทิศตะวันตกเฉียงใต้มีความร้อนเข้ามาผ่านทางกระจก 471.09 W แบ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนที่ 193.73 W และการแผ่รังสีความร้อนที่ 277.37 W ซึ่งเมื่อนำความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาผ่านกระจกหารด้วยพื้นที่ของกระจกจะได้ค่า OTTV 34.90 W/m^2 และการถ่ายเทความร้อนเข้ามาผ่านผนังทึบอยู่ที่ 198.67 W โดยคิดเป็นค่า OTTV ได้ 22.07 W/m^2 (ภาคผนวก ข ตาราง ช)

เมื่อเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่เข้ามาในแต่ละทิศจะพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันมาก โดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของทิศตะวันออกเฉียงใต้อยู่ที่ 30.56 W/m^2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของทิศใต้อยู่ที่ 30.60 W/m^2 และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของทิศตะวันตกเฉียงใต้อยู่ที่

29.76 W/m^2 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากค่าอัตราส่วนกระจกต่อผนังทั้งหมด (Window to Wall Ratio : WWR) เท่ากันที่ 0.6

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่เข้ามาผ่านผนังกับกระจกจะพบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกระจกยังคงมีค่าสูงกว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังประมาณ 1.56 เท่า ดังรูปที่ 4.7 โดยการติดฟิล์มกระจกและการติดมู่ลี่บังแดดที่กระจกจะสามารถลดความร้อนได้ส่วนของการแผ่รังสีความร้อนเท่านั้น



รูปที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบค่า OTTV ของผนังโปร่งแสงและผนังทึบจากการติดฟิล์มกระจกและติดมู่ลี่บังแดดกระจก

4.9 เพิ่มความหนากระจกจากเดิม 13.52 mm ให้เป็น 17.52 mm โดยใช้วัสดุกระจกชนิดเดียวกับปัจจุบันและติดฟิล์มกระจกให้มีค่า SHGC 0.20 และติดมูลี่บังแดดที่กระจกเพื่อให้ค่า SC มีค่า 0.4

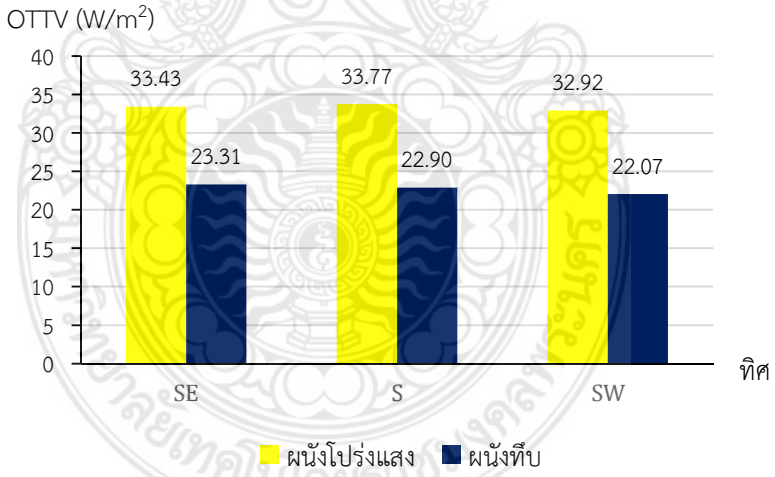
คำนวณผลค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารใหม่ โดยมีค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงอยู่ที่ 207,500 บาท

ผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารจากเพิ่มความหนากระจกจากเดิม 13.52 mm ให้เป็น 17.52 mm โดยใช้วัสดุกระจกชนิดเดียวกับปัจจุบันและติดฟิล์มกระจกให้มีค่า SHGC 0.20 และติดมูลี่บังแดดที่กระจกเพื่อให้ค่า SC มีค่า 0.4 พบว่ามีค่า 29.10 W/m^2 โดยมีค่าลดลงจากก่อนการปรับปรุงร้อยละ 68.68 ซึ่งเป็นค่าที่ผ่านตามประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 กำหนดไว้ที่ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารของสำนักงานต้องมีค่าไม่เกิน 50 W/m^2 โดยทิศตะวันออกเฉียงใต้มีความร้อนเข้ามาผ่านทางกระจก 752.09 W แบ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนที่ 278.44 W และการแผ่รังสีความร้อนที่ 473.65 W ซึ่งเมื่อนำความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาผ่านกระจกหารด้วยพื้นที่ของกระจกจะได้ค่า OTTV 33.43 W/m^2 และการถ่ายเทความร้อนเข้ามาผ่านผนังทึบอยู่ที่ 349.68 W โดยคิดเป็นค่า OTTV ได้ 23.31 W/m^2 ในส่วนทิศใต้มี

ความร้อนเข้ามาผ่านทางกระจก 55.72 W แบ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนที่ 20.42 W และการแผ่รังสีความร้อนที่ 35.30 W ซึ่งเมื่อนำความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาผ่านกระจกหารด้วยพื้นที่ของกระจกจะได้ค่า OTTV 33.77 W/m^2 และการถ่ายเทความร้อนเข้ามาผ่านผนังทึบอยู่ที่ 25.19 W โดยคิดเป็นค่า OTTV ได้ 22.90 W/m^2 และในส่วนทิศตะวันตกเฉียงใต้มีความร้อนเข้ามาผ่านทางกระจก 444.43 W แบ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนที่ 167.06 W และการแผ่รังสีความร้อนที่ 277.37 W ซึ่งเมื่อนำความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาผ่านกระจกหารด้วยพื้นที่ของกระจกจะได้ค่า OTTV 32.92 W/m^2 และการถ่ายเทความร้อนเข้ามาผ่านผนังทึบอยู่ที่ 198.67 W โดยคิดเป็นค่า OTTV ได้ 22.07 W/m^2 (ภาคผนวก ข ตาราง ซ)

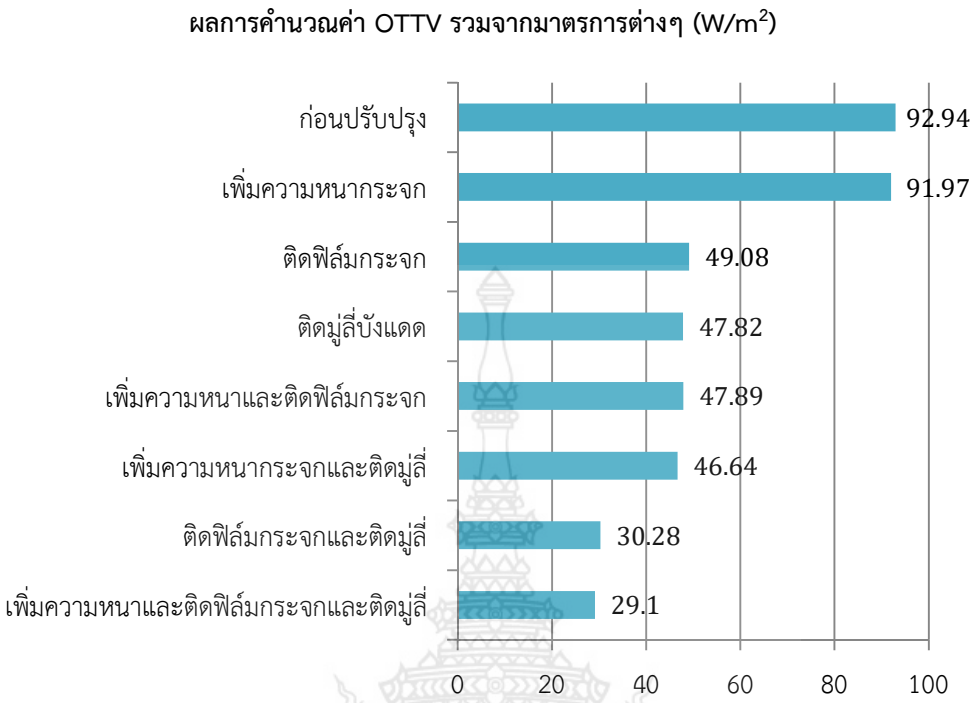
เมื่อเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่เข้ามาในแต่ละทิศจะพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันมาก โดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของทิศตะวันออกเฉียงใต้อยู่ที่ 29.38 W/m^2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของทิศใต้อยู่ที่ 29.42 W/m^2 และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของทิศตะวันตกเฉียงใต้อยู่ที่ 28.58 W/m^2 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากค่าอัตราส่วนกระจกต่อผนังทั้งหมด (Window to Wall Ratio : WWR) เท่ากันที่ 0.6

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่เข้ามาผ่านผนังกับกระจกจะพบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกระจกยังคงมีค่าสูงกว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังประมาณ 1.47 เท่า ดังรูปที่ 4.8 โดยการเพิ่มความหนากระจก ติดฟิล์มกระจกและการติดมู่ลี่บังแดดที่กระจกจะสามารถลดความร้อนได้ทั้งในส่วนของการนำความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน



รูปที่ 4.8 ผลการเปรียบเทียบค่า OTTV ของผนังโปร่งแสงและผนังทึบ จากการเพิ่มความหนากระจก, ติดฟิล์มกระจกและติดมู่ลี่บังแดดกระจก

เมื่อนำมาตรการการรับปรุงกรอบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงานแต่ละมาตรการมาเปรียบเทียบ ได้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบผลการคำนวณค่า OTTV

4.10 กำหนดมาตรการในการจัดการน้ำและของเสียโดยการเปลี่ยนสุขภัณฑ์เป็นชนิดประหยัดน้ำ

การจัดการน้ำและของเสียเพื่อเป็นการใช้สอยทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด จึงกำหนดเป็นมาตรการในการประหยัดน้ำและกระดาษดังนี้

ปัจจุบันมีการใช้น้ำจากสุขภัณฑ์ของพนักงานเฉลี่ย 70 ลิตรต่อคนต่อวันจากการใช้สุขภัณฑ์ชนิด Flush Valve เดิม ซึ่งต้องการปริมาณน้ำที่ใช้ 13 ลิตรต่อครั้ง จากจำนวนพนักงาน 30 คน คิดเป็นการใช้น้ำเฉลี่ยวันละ 2,100 ลิตรต่อวัน โดยเมื่อทำการเปลี่ยนสุขภัณฑ์จากเดิมที่เป็นชนิด Flush Tank รุ่นประหยัดน้ำที่ใช้ปริมาณน้ำ 4.5 ลิตรต่อครั้งจำนวน 2 สุขภัณฑ์ จะทำให้การใช้น้ำลดลงเหลือ 727 ลิตรต่อวัน โดยคิดเป็นปริมาณน้ำใช้ที่ลดลงต่อวันร้อยละ 65.38 โดยมีค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงอยู่ที่ 25,000 บาท ซึ่งทำให้ประหยัดเงิน 750 บาทต่อเดือน แสดงในตารางที่ 4.2

4.11 กำหนดมาตรการในการจัดการน้ำและของเสียโดยการควบคุมการเปิดปิดอ่างล้างมือและโถปัสสาวะด้วยอุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor)

ปัจจุบันมีการใช้น้ำจากอ่างล้างมือและโถปัสสาวะของพนักงานเฉลี่ย 20 ลิตรต่อคนต่อวันจากการใช้น้ำจากอ่างล้างมือและโถปัสสาวะ ซึ่งมีอัตราการไหลของอ่างล้างมือ 0.28 ลิตรต่อวินาทีและโถปัสสาวะ 0.95 ลิตรต่อวินาที [31] ซึ่งปกติจะใช้น้ำประมาณ 5 วินาที โดยการใช้ Sensor ที่อ่างล้างมือจำนวน 2 ชุดและโถปัสสาะจำนวน 2 ชุด จะตั้งค่าให้ใช้เวลาเปิดน้ำ 3 วินาที และเป็นการลดการสัมผัสเนื่องจากสถานการณ์โรคอุบัติใหม่จาก Covid19 อีกด้วย จากจำนวนพนักงาน 30 คน คิดเป็น

การใช้น้ำเฉลี่ยวันละ 600 ลิตรต่อวัน โดยเมื่อทำการติดอุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor) จะเป็นการ จะทำให้การใช้น้ำลดลงเหลือ 360 ลิตรต่อวัน โดยคิดเป็นปริมาณน้ำใช้ที่ลดลงต่อวันร้อยละ 40 โดยมีค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงอยู่ที่ 18,000 บาท ซึ่งทำให้ประหยัดเงิน 250 บาทต่อเดือน ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบการใช้น้ำของสุขภัณฑ์ก่อนและหลังการเปลี่ยนเป็นชนิดประหยัดน้ำ

ประเภทสุขภัณฑ์	**อัตราการใช้น้ำต่อครั้ง (ลิตรต่อครั้ง)**	**ปริมาณน้ำที่ใช้ต่อวัน (ลิตร)**
สุขภัณฑ์ชนิด Flush Valve	13	2,100
สุขภัณฑ์ประหยัดน้ำชนิด Flush Tank	4.5	747

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบการใช้น้ำของอ่างล้างมือและโถปัสสาวะก่อนและหลังติดอุปกรณ์ตรวจจับการเปิดปิด

รูปแบบการใช้น้ำ	**เวลาเฉลี่ยใช้น้ำต่อครั้ง (วินาที)**	**ปริมาณน้ำที่ใช้ต่อวัน (ลิตร)**
เปิดปิดด้วยมือ	5	600
ควบคุมการเปิดปิดด้วย Sensor	3	360

4.12 กำหนดมาตรการในการจัดการน้ำและของเสียโดยการการนำกระดาษที่ใช้แล้วกลับมาใช้ด้านหลัง

เป็นการนำทรัพยากรที่ใช้แล้วมาใช้สอยให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยค่าเฉลี่ยของการใช้กระดาษอยู่ที่วันละ 30 แผ่นต่อเดือน พบว่าการนำกระดาษมาใช้อีกด้านนึงสามารถช่วยลดการใช้กระดาษได้ครึ่งนึงสามารถลดการค่าใช้จ่ายได้ 200 บาทต่อเดือน ดังแสดงในตารางที่ 4.4

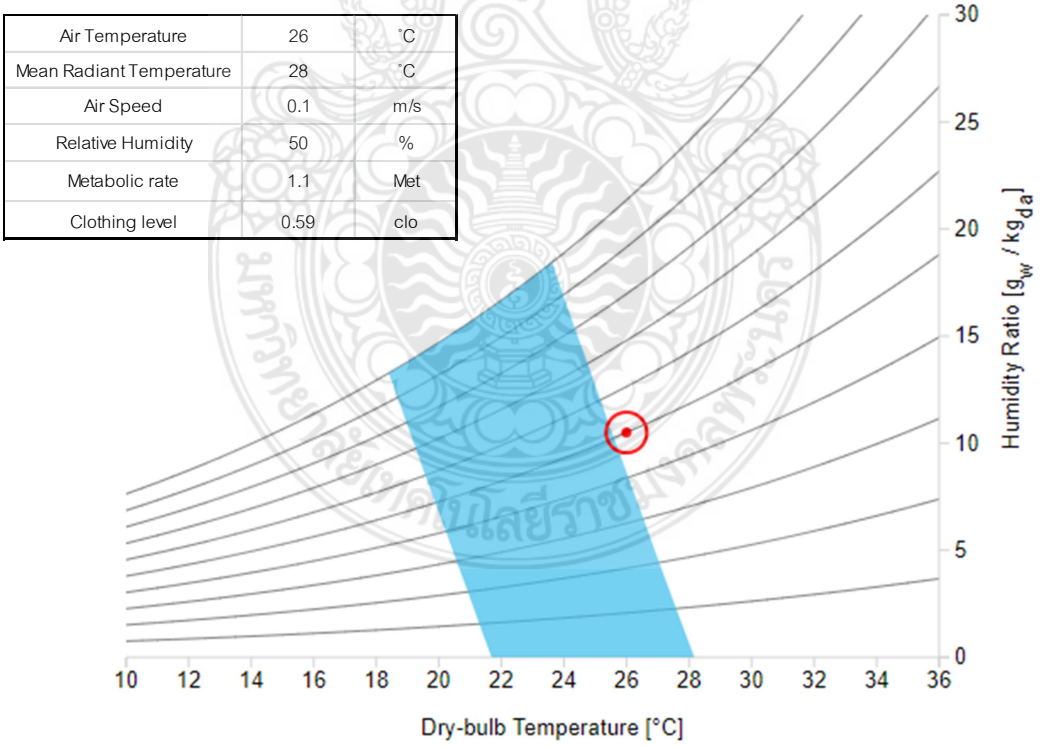
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบการใช้กระดาษโดยเฉลี่ยต่อเดือน

การใช้กระดาษ	**จำนวนกระดาษที่ใช้ต่อเดือน (แผ่น)**	**จำนวนเงินที่ใช้ค่ากระดาษต่อเดือน (บาท)**
ใช้กระดาษด้านเดียว	900	400
นำกระดาษที่ใช้แล้วมาใช้อีกด้าน	450	200

4.13 กำหนดมาตรการในการเพิ่มความสบายโดยการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเครื่องใหม่ที่สามารถทำอุณหภูมิที่ 25˚C ได้

ความสบายของคนประกอบด้วยองค์ประกอบหลักทั้งหมด 6 ตัว [32] ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม กิจกรรมที่ทำ เสื้อผ้าที่สวมใส่ และอุณหภูมิพื้นผิวที่แผ่รังสี โดยในงานวิจัยนี้จะมีตัวแปรคงที่คือ ความชื้น กิจกรรมที่ทำและอุณหภูมิพื้นผิวที่แผ่รังสีจากพื้นผิว เนื่องจากมีความคงที่ค่อนข้างสูง โดยกำหนดมาตรการดังนี้

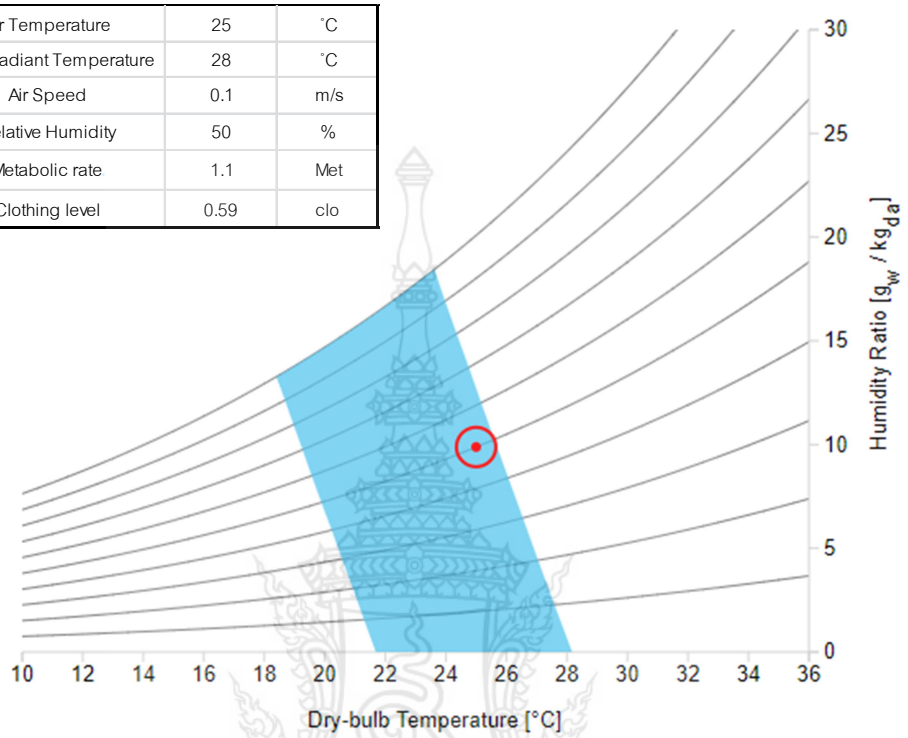
อุณหภูมิที่สบายของแต่ละคนจะไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับความชอบของแต่ละบุคคล [21] และเพศก็มีผลต่อความสบายอีกด้วย [33] เนื่องจากปัจจุบันเครื่องปรับอากาศมีสภาพเก่า อายุการใช้งาน 15 ปี ให้ประสิทธิภาพลดลงและจากการขยายองค์กรทำให้จำนวนคนเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้การทำอุณหภูมิทำได้ประมาณ 26˚C จึงกำหนดมาตรการโดยการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศใหม่ ที่สามารถทำอุณหภูมิที่ 25˚C โดยมีค่าใช้จ่าย 120,000 บาท เพื่อทำให้เกิดความสบายทางอุณหภาพ (Thermal Comfort) ที่ดีขึ้น โดยมีเงื่อนไขก่อนปรับปรุงคือ อุณหภูมิ 26˚C อุณภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย 28 ˚C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 ความเร็วลมผ่านตัว 0.1 m/s กิจกรรมการทำงานในสำนักงานโดยพิมพ์คอมพิวเตอร์ ซึ่งมีค่าการเผาผลาญ 1.1 met และเสื้อผ้าที่สวมใส่มีค่าความเป็นฉนวน 0.59 clo โดยสวมเสื้อเชิ๊ตกางเกงขายาวและถุงเท้ารองเท้า โดยสามารถแสดงสภาวะความสบายตาม ASHRAE 55 ได้ในรูปที่ 4.10 ซึ่งมีค่า PPD อยู่ที่ร้อยละ 14



รูปที่ 4.10 ช่วงความสบายของสภาวะก่อนปรับปรุง

โดยเมื่อทำการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นที่สามารถทำอุณหภูมิได้ที่ 25°C โดยตัวแปรอื่นเหมือนเดิม ทำให้ความสบายของผู้อยู่อาศัยเปลี่ยนไป ซึ่งมีค่า PPD อยู่ที่ร้อยละ 10

Air Temperature	25	°C
Mean Radiant Temperature	28	°C
Air Speed	0.1	m/s
Relative Humidity	50	%
Metabolic rate	1.1	Met
Clothing level	0.59	clo



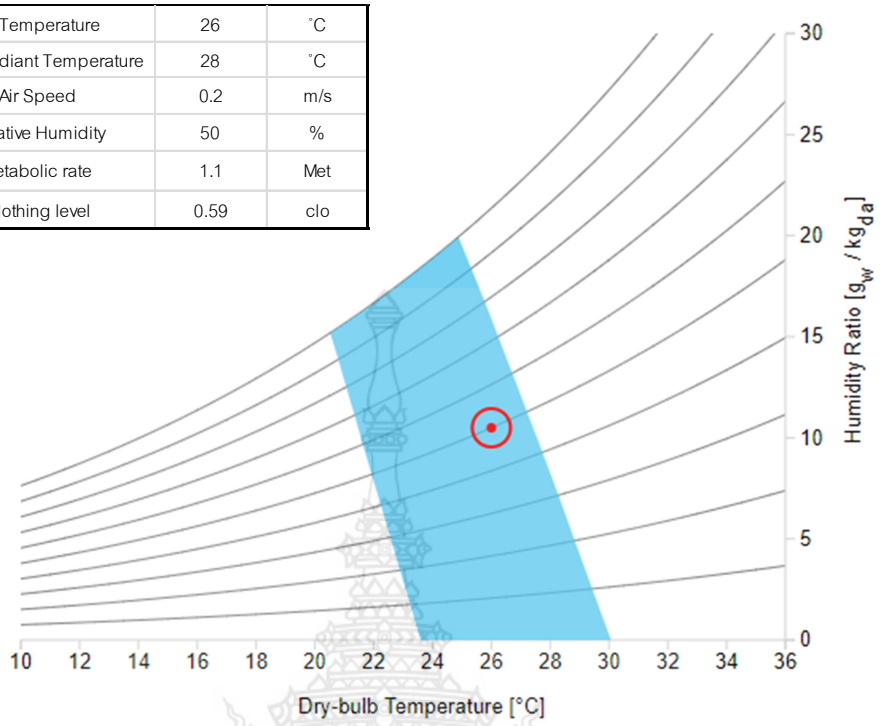
รูปที่ 4.11 ช่วงความสบายของสภาวะอุณหภูมิ 25°C

รูปที่ 4.11 แสดงถึงสภาวะความสบายเมื่อตั้งอุณหภูมิที่ 25 °C ซึ่งพบว่าอยู่ในช่วงที่ ASHRAE 55 แนะนำ

4.14 กำหนดมาตรการในการเพิ่มความสบายโดยการติดพัดตัวเล็กประจำโต๊ะทำงานของพนักงานแต่ละคน

ซึ่งจะทำให้ความเร็วลมที่ผ่านตัวเพิ่มขึ้นทำให้รู้สึกสบายมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปจะส่งผลให้ความเร็วลมที่สูงไม่รู้สุขสบายได้ [34] ซึ่งอาจจะสามารถทำให้ความสบายแม้ว่าอุณหภูมิจะสูงถึง 31°C ได้ถ้ามีความเร็วลมที่ 0.1 m/s [35] จึงกำหนดมาตรการโดยการติดพัดตัวเล็กประจำโต๊ะทำงานของพนักงานแต่ละคน ทำให้ความเร็วลมผ่านตัวคนอยู่ที่ 0.2 m/s โดยมีค่าใช้จ่าย 15,000 บาท เพื่อเกิดความสบายทางอุณหภาพ (Thermal Comfort) ที่ดีขึ้น โดยมีเงื่อนไขปรับปรุงคือ อุณหภูมิ 26°C อุณภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย 28 °C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 ความเร็วลมผ่านตัว 0.2 m/s กิจกรรมการพิมพ์ซึ่งมีค่าการเผาผลาญ 1.1 met และเสื้อผ้าที่สวมใส่มีความเป็นฉนวน 0.59 clo ซึ่งมีค่า PPD อยู่ที่ร้อยละ 7 โดยสามารถแสดงสภาวะความสบายตาม ASHRAE 55 ได้ในรูปที่ 4.12

Air Temperature	26	˚C
Mean Radiant Temperature	28	˚C
Air Speed	0.2	m/s
Relative Humidity	50	%
Metabolic rate	1.1	Met
Clothing level	0.59	clo



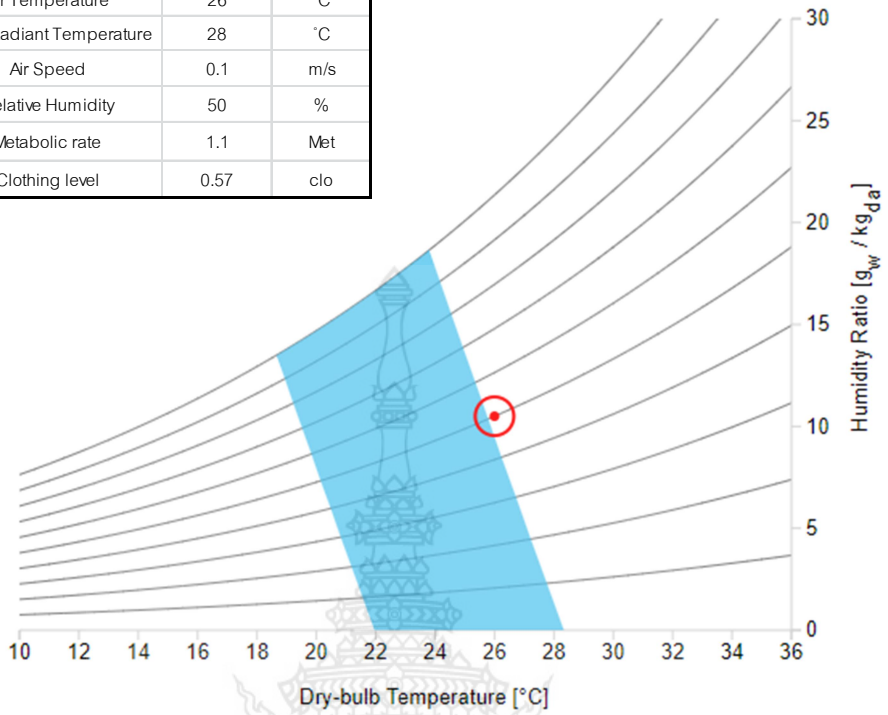
รูปที่ 4.12 ช่วงความสบายของสภาวะจากการติดพัดลมประจำโต๊ะ

รูปที่ 4.12 แสดงถึงสภาวะความสบายเมื่อมีความเร็วลมผ่านตัว 0.2 m/s ซึ่งพบว่าอยู่ในช่วงที่ ASHRAE 55 แนะนำ

4.15 กำหนดมาตรการในการเพิ่มความสบายโดยการปรับเปลี่ยนชุดทำงานของบริษัทให้เป็นผ้าที่ระบายอากาศได้ดี

ซึ่งจะทำให้ลดค่าความเป็นฉนวนของเสื้อที่สวมใส่ให้รู้สึกสบายมากขึ้นเพราะเสื้อผ้าที่สวมใส่มีผลต่อการระบายความร้อนในร่างกายของคน [36] ซึ่งความร้อนที่ร่างกายแลกเปลี่ยนจากผิวหนังไปสู่เสื้อผ้าเครื่องแต่งกายด้วยการพาความร้อนและการระเหย โดยปรับเปลี่ยนเป็นเสื้อแขนสั้นผ้ากีฬาที่สามารถระบายความร้อนได้ดีกว่า โดยมีค่าใช้จ่าย 30,000 บาท เพื่อทำให้เกิดความสบายทางอุณหภาพ (Thermal Comfort) ที่ดีขึ้น โดยเสื้อเชิ๊ทแขนสั้นมีค่าความเป็นฉนวน 0.19 clo ซึ่งรวมกับกางเกงขายาว ถุงเท้าและรองเท้าทำให้มีค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้ารวม 0.59 และเมื่อเปลี่ยนเป็นเสื้อที่ระบายความร้อนได้ดีขึ้นจะทำให้ค่าความเป็นฉนวนของเสื้อเชิ๊ตลดลงเหลือ 0.17 clo ซึ่งรวมกับกางเกงขายาว ถุงเท้าและรองเท้าทำให้มีค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้ารวม 0.57 โดยมีเงื่อนไขปรับปรุงคือ อุณหภูมิ 26˚C อุณภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย 28 ˚C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 ความเร็วลมผ่านตัว 0.1 m/s กิจกรรมการพิมพ์ซึ่งมีค่าการเผาผลาญ 1.1 met และเสื้อผ้าที่สวมใส่มีความเป็นฉนวน 0.57 clo ซึ่งมีค่า PPD อยู่ที่ร้อยละ 13 โดยสามารถแสดงสภาวะความสบายตาม ASHRAE 55 ได้ในรูปที่ 4.13

Air Temperature	26	˚C
Mean Radiant Temperature	28	˚C
Air Speed	0.1	m/s
Relative Humidity	50	%
Metabolic rate	1.1	Met
Clothing level	0.57	clo



รูปที่ 4.13 ช่วงความสบายของสภาวะจากการปรับเปลี่ยนเสื้อพนักงาน

รูปที่ 4.13 แสดงถึงสภาวะความสบายเมื่อมีค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าอยู่ที่ 0.57 clo ซึ่งพบว่าอยู่ในช่วงที่ ASHRAE 55 แนะนำ

4.16 วิเคราะห์ค่าความเต็มใจจ่ายจากข้อมูลผู้บริหารและหัวหน้างาน

นำผลข้อมูลที่เก็บได้จากผู้บริหารและหัวหน้างานจำนวน 4 คน โดยทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Conjoint Analysis ซึ่งเป็นเทคนิคในการวิเคราะห์การตัดสินใจด้วยโปรแกรม N-Logit ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.5 ถึง 4.7

ตารางที่ 4.5 ค่าความเต็มใจจ่ายของพนักงานต่อคนสำหรับการอนุรักษ์พลังงานจากข้อมูลผู้บริหารและหัวหน้างานจำนวน 4 คน

Attribute	E1 (ปรับปรุง 25%)	E2 (ปรับปรุง 50%)	E3 (ปรับปรุง 75%)	E4 (ปรับปรุง 100%)
ค่าความเต็มใจจ่าย (บาท)	985	1,105	1,227	1,118

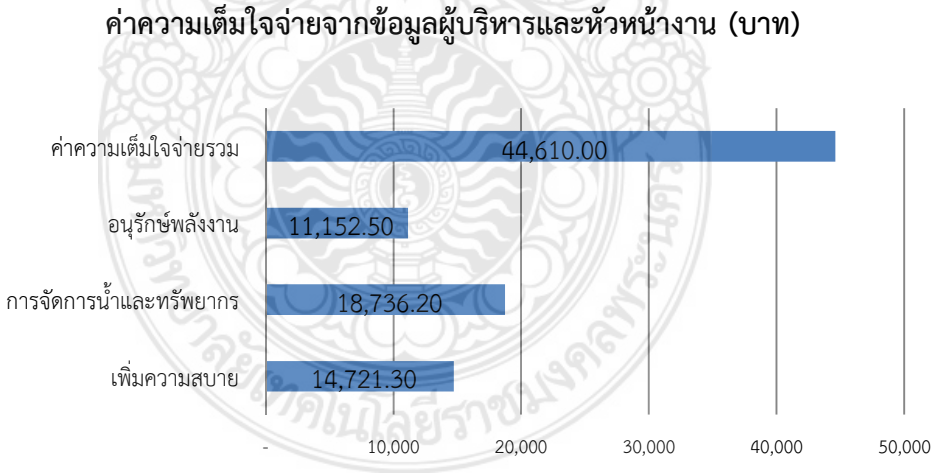
ตารางที่ 4.6 ค่าความเต็มใจจ่ายของพนักงานต่อคนสำหรับการจัดการน้ำและของเสียจากข้อมูลผู้บริหารและหัวหน้างานจำนวน 4 คน

Attribute	W1 (ปรับปรุง 25%)	W2 (ปรับปรุง 50%)	W3 (ปรับปรุง 75%)	W4 (ปรับปรุง 100%)
ค่าความเต็มใจจ่าย (บาท)	2,963	3,294	3,021	3,253

ตารางที่ 4.7 ค่าความเต็มใจจ่ายของพนักงานต่อคนสำหรับการเพิ่มความสบายจากข้อมูลผู้บริหารและหัวหน้างานจำนวน 4 คน

Attribute	E1 (ปรับปรุง 25%)	E2 (ปรับปรุง 50%)	E3 (ปรับปรุง 75%)	E4 (ปรับปรุง 100%)
ค่าความเต็มใจจ่าย (บาท)	2,618	2,667	2,013	2,528

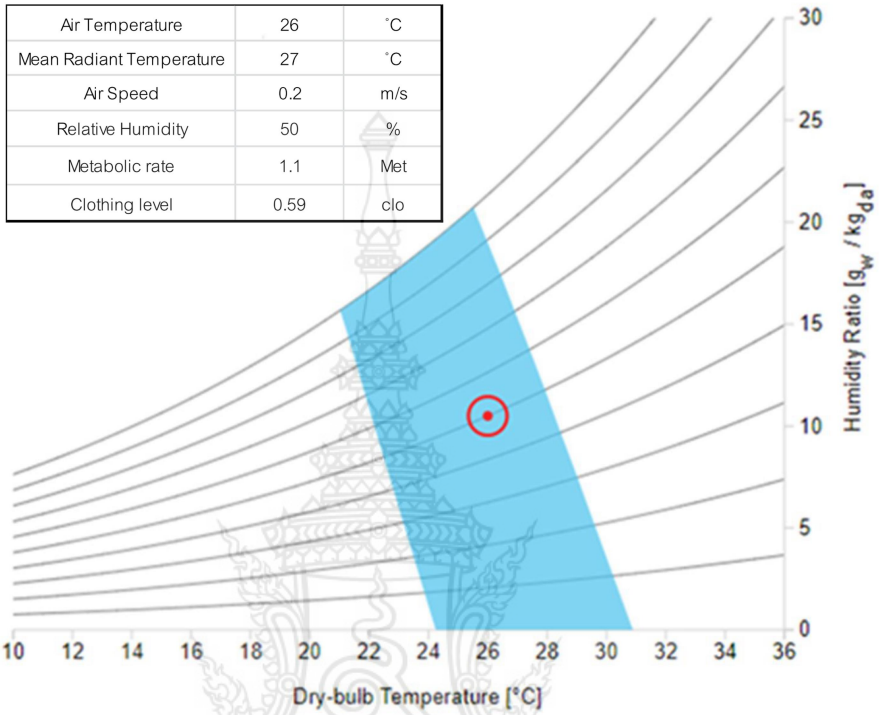
เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาทำการหาค่าความเต็มใจจ่ายเฉลี่ยจะพบว่า ผู้บริหารและหัวหน้างานมีค่าความเต็มใจจ่ายอยู่ที่ 1,487 บาทต่อคน เมื่อคิดเป็นจำนวนพนักงานรวมทั้งหมด 30 คน จะได้ค่าความเต็มใจจ่ายทั้งหมด 44,610 บาท และเมื่อแบ่งสัดส่วนพบว่าค่าความเต็มใจจ่ายเพื่อการอนุรักษ์พลังงานคิดเป็นร้อยละ 25 คิดเป็นเงิน 11,152.50 บาท ส่วนการจัดการน้ำและของเสียอยู่ที่ร้อยละ 42 คิดเป็นเงิน 18,736.20 บาท และเพื่อการเพิ่มความสบายอยู่ที่ร้อยละ 33 คิดเป็นเงิน 14,721.30 บาท ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 วิเคราะห์ผลข้อมูลและค่าความเต็มใจจ่ายจากข้อมูลผู้บริหารและหัวหน้างาน

เมื่อแบ่งสัดส่วนพบว่าค่าความเต็มใจจ่ายเพื่อการอนุรักษ์พลังงานคิดเป็นร้อยละ 25 คิดเป็นเงิน 11,152.50 บาท ซึ่งสามารถนำไปปรับปรุงกรอบอาคารโดยการติดมู่ลี่เพื่อให่ค่าการถ่ายความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารลดลงเหลือ 47.82 W/m2 ลดลงคิดเป็นร้อยละ 48.54 เป็นค่าที่ผ่านตามประกาศกระทรวงพลังงานกำหนดและทำให้อุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยลดลง

การเพิ่มความสบายคิดเป็นร้อยละ 33 ซึ่งสามารถนำไปใช้ติดตั้งพัดลมตัวเล็กประจำโต๊ะทำให้ค่าร้อยละความรู้สึกไม่สบายเท่ากับร้อยละ 6 ตามรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 สภาวะความสบายของผู้บริหารและหัวหน้างาน

4.17 วิเคราะห์ค่าความเต็มใจจ่ายจากพนักงานจำนวน 30 คน

ข้อมูลที่เก็บได้จากพนักงานทั้งหมดจำนวน 30 คนมาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Conjoint Analysis ซึ่งเป็นเทคนิคในการวิเคราะห์การตัดสินใจด้วยโปรแกรม N-Logit ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.8 ถึง 4.10

ตารางที่ 4.8 ค่าความเต็มใจจ่ายของพนักงานต่อคนสำหรับการอนุรักษ์พลังงานจากข้อมูลพนักงาน 30 คน

Attribute	E1 (ปรับปรุง 25%)	E2 (ปรับปรุง 50%)	E3 (ปรับปรุง 75%)	E4 (ปรับปรุง 100%)
ค่าความเต็มใจจ่าย (บาท)	2,044	2,102	1,993	1,841

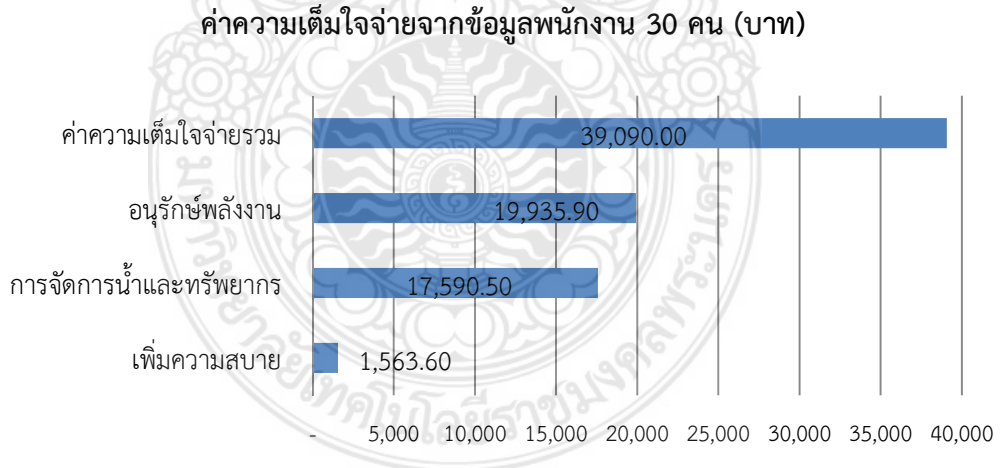
ตารางที่ 4.9 ค่าความเต็มใจจ่ายของพนักงานต่อคนสำหรับการจัดการน้ำและของเสียจากข้อมูลพนักงาน 30 คน

Attribute	W1 (ปรับปรุง 25%)	W2 (ปรับปรุง 50%)	W3 (ปรับปรุง 75%)	W4 (ปรับปรุง 100%)
ค่าความเต็มใจจ่าย (บาท)	1,725	1,775	1,757	1,801

ตารางที่ 4.10 ค่าความเต็มใจจ่ายของพนักงานต่อคนสำหรับการเพิ่มความสบายจากข้อมูลพนักงาน 30 คน

Attribute	H1 (ปรับปรุง 25%)	H2 (ปรับปรุง 50%)	H3 (ปรับปรุง 75%)	H4 (ปรับปรุง 100%)
ค่าความเต็มใจจ่าย (บาท)	254	168	204	36

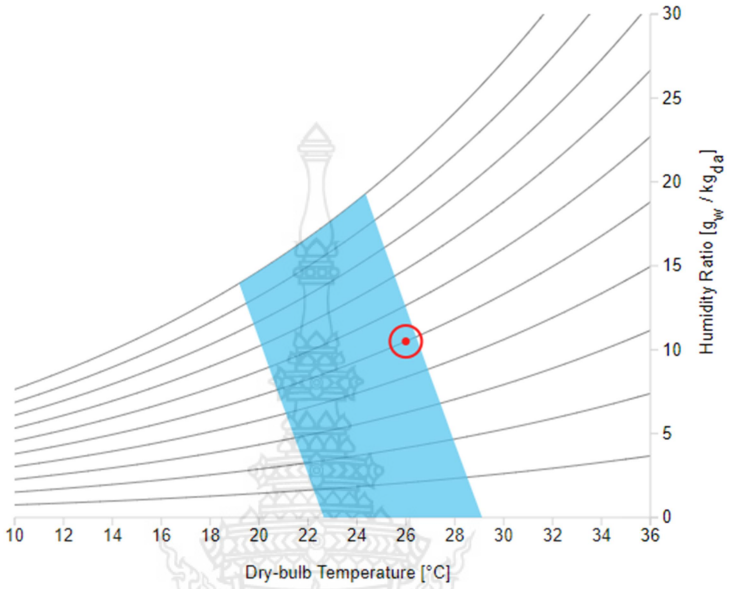
เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาทำการหาค่าความเต็มใจจ่ายเฉลี่ยจะพบว่าพนักงานมีค่าความเต็มใจจ่ายอยู่ที่ 1,303 บาทต่อคน เมื่อคิดเป็นจำนวนพนักงานรวมทั้งหมด 30 คน จะได้ค่าความเต็มใจจ่ายทั้งหมด 39,090 บาท และเมื่อแบ่งสัดส่วนพบว่าค่าความเต็มใจจ่ายเพื่อการอนุรักษ์พลังงานคิดเป็นร้อยละ 51 คิดเป็นเงิน 19,935.90 บาท ส่วนการจัดการน้ำและของเสียอยู่ที่ร้อยละ 45 คิดเป็นเงิน 17,590.50 บาท และเพื่อการเพิ่มความสบายอยู่ที่ร้อยละ 4 คิดเป็นเงิน 1,563.60 บาท ดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 วิเคราะห์ผลข้อมูลและค่าความเต็มใจจ่ายจากข้อมูลพนักงาน 30 คน

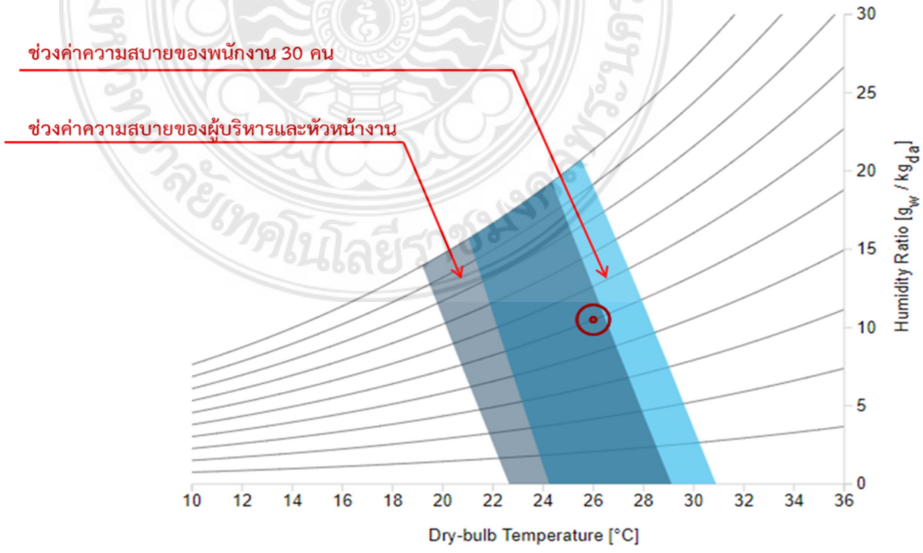
เมื่อแบ่งสัดส่วนพบว่าค่าความเต็มใจจ่ายเพื่อการอนุรักษ์พลังงานคิดเป็นร้อยละ 51 คิดเป็นเงิน 19,935.90 บาท ซึ่งสามารถนำไปปรับปรุงกรอบอาคารโดยการติดมู่ลี่เช่นเดียวกับผลที่ได้จากผู้บริหารและหัวหน้างาน เพื่อให้ค่าการถ่ายความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารลดลงเหลือ 47.82 W/m^2 ลดลงคิด

เป็นร้อยละ 48.54 เป็นค่าที่ผ่านตามประกาศกระทรวงพลังงานกำหนดและทำให้อุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยลดลง ทำให้ค่าร้อยละความรู้สึกไม่สบายเท่ากับร้อยละ 10 ตามรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 สภาวะความสบายของพนักงาน 30 คน

เมื่อนำสภาวะความสบายของผู้บริหารและหัวหน้างานและของพนักงาน 30 คน มาเปรียบเทียบ พบว่า สภาวะความสบายหลังจากการปรับปรุงทำให้อยู่ในช่วงความสบาย (Comfort Zone) ตามที่มาตรฐาน ASHRAE 55 แนะนำ ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบสภาวะความสบายของผู้บริหารและหัวหน้างานกับพนักงาน 30 คน

บทที่ 5

อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

5.1 การอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดค่าถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร (Overall Thermal Transfer Value : OTTV) ของสำนักงานเช่า โดยพบว่าในปัจจุบันสำนักงานเช่าที่ทำการศึกษามีค่า OTTV อยู่ที่ 92.94 W/m^2 ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าค่าที่ประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 กำหนดไว้ที่ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารของสำนักงานต้องมีค่าไม่เกิน 50 W/m^2

วิธีการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดค่า OTTV โดยเมื่อทำการปรับปรุงโดยการเปลี่ยนกระจกให้หนาขึ้นจาก 13.5 2mm เป็น 17.52 mm โดยใช้วัสดุกระจกชนิดเดียวกับปัจจุบัน คำนวณค่า OTTV ใหม่ได้ 91.75 W/m^2 โดยลดลงจากก่อนปรับปรุงคิดเป็นร้อยละ 1.28 ซึ่งยังเป็นค่าที่สูงกว่าค่าที่ประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 กำหนดไว้

การติดฟิล์มกระจกเพื่อให้ค่า SHGC มีค่า 0.2 คำนวณค่า OTTV ได้ 49.08 W/m^2 โดยมีค่าลดลงจากก่อนการปรับปรุงร้อยละ 47.19 ซึ่งผ่านตามเกณฑ์ที่ประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 กำหนดไว้

การติดมู่ลี่บังแดดที่กระจกเพื่อให้ค่า SC มีค่า 0.4 คำนวณค่า OTTV ใหม่ 47.82 W/m^2 โดยมีค่าลดลงจากก่อนการปรับปรุงร้อยละ 48.54 ซึ่งผ่านตามเกณฑ์ที่ประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 กำหนดไว้

การเพิ่มความหนากระจกและติดฟิล์มกระจก คำนวณค่า OTTV ได้ 47.89 W/m^2 โดยมีค่าลดลงจากก่อนการปรับปรุงร้อยละ 48.47 และเมื่อทำการเพิ่มความหนากระจกและติดมู่ลี่บังแดดกระจก คำนวณค่า OTTV ได้ 46.64 W/m^2 โดยมีค่าลดลงจากก่อนการปรับปรุงร้อยละ 49.81 ซึ่งผ่านตามเกณฑ์ที่ประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 กำหนดไว้

ติดฟิล์มกระจกและติดมู่ลี่บังแดดกระจก คำนวณค่า OTTV ได้ 30.28 W/m^2 โดยมีค่าลดลงจากก่อนการปรับปรุงร้อยละ 67.41 ซึ่งผ่านตามเกณฑ์ที่ประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ.2552 กำหนดไว้

เพิ่มความหนากระจกจากเดิม 13.52 mm ให้เป็น 17.52 mm โดยใช้วัสดุกระจกชนิดเดียวกับปัจจุบันและติดฟิล์มกระจกให้มีค่า SHGC 0.20 และติดมู่ลี่บังแดดที่กระจกเพื่อให้ค่า SC มีค่า 0.4 คำนวณค่า OTTV ได้ 29.10 W/m^2 โดยมีค่าลดลงจากก่อนการปรับปรุงร้อยละ 68.68 ซึ่งผ่านตามเกณฑ์ที่ประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 กำหนดไว้

โดยจะเห็นได้ว่าความร้อนส่วนใหญ่ที่ถ่ายเทเข้ามาทางกรอบอาคารเป็นความร้อนที่มาจากการแผ่รังสีอาทิตย์ ซึ่งสามารถลดได้จากการลดค่า SHGC และ Shading Coefficient ของกระจก โดยการ

ปรับปรุงอาคารด้วยการลดความร้อนที่มาจากการแผ่สังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์จะช่วยลดพลังงานการถ่ายเทความร้อนรวมของสำนักงานเช่าได้มาก

จากการกำหนดมาตรการในการอนุรักษ์พลังงาน การจัดการน้ำและของเสียและการเพิ่มสภาวะความสบายและทำการทดลองเก็บข้อมูลจากผู้บริหารและหัวหน้างานจำนวน 4 คน พบว่า มีค่าความเต็มใจจ่ายเฉลี่ยอยู่ที่ 1,487 บาทต่อคน เมื่อคิดเป็นจำนวนพนักงานรวมทั้งหมด 30 คน จะได้ค่าความเต็มใจจ่ายทั้งหมด 44,610 บาท และเมื่อแบ่งสัดส่วนพบว่าค่าความเต็มใจจ่ายเพื่อการอนุรักษ์พลังงานคิดเป็นร้อยละ 25 คิดเป็นเงิน 11,152.50 บาท ซึ่งสามารถนำไปปรับปรุงกรอบอาคารโดยการติดมู่ลี่เพื่อให่ค่าการถ่ายความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารลดลงเหลือ 47.82 W/m^2 ซึ่งเป็นค่าที่ผ่านตามประกาศกระทรวงพลังงานกำหนดและทำให้อุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยลดลง ในส่วนการส่วนการจัดการน้ำและของเสียอยู่ที่ร้อยละ 42 คิดเป็นเงิน 18,736.20 บาท ซึ่งสามารถนำไปติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการเปิดปิดของอ่างล้างมือและโถปัสสาวะอัตโนมัติรวมถึงการนำกระดาษกลับมาใช้ด้านหลังซึ่งไม่มีค่าใช้จ่าย โดยการติดติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการเปิดปิดของอ่างล้างมือและโถปัสสาวะอัตโนมัติเป็นการลดการสัมผัสจากโรคอุบัติใหม่จากไวรัส Covid19 ทำให้การใช้อุปกรณ์ควบคุมการเปิดปิดน้ำอัตโนมัติเป็นสิ่งจำเป็นต่อการใช้ชีวิตแบบใหม่ ช่วยให้ลดค่าใช้จ่ายในการใช้ทรัพยากรลง 450 บาทต่อเดือน และในส่วนเพื่อการเพิ่มความสบายอยู่ที่ร้อยละ 33 คิดเป็นเงิน 14,721.30 บาท ซึ่งไม่เพียงพอในการใช้ตามมาตรการที่กำหนดไว้ โดยเพิ่มเงินเพื่อให้ยอดรวมเป็น 15,000 บาท จะสามารถนำไปซื้อพัดลมตัวเล็กติดประจำโต๊ะพนักงานได้ ทำให้ค่าความรู้สึกไม่พอใจในความสบายมีค่าร้อยละ 6 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐาน ASHRAE 55 แนะนำ ทำให้การทำงานในสภาวะที่สบายเพิ่มผลผลิตของงานที่ดีขึ้น

จากการทดลองเก็บข้อมูลจากพนักงานทั้งหมดจำนวน 30 คน พบว่ามีค่าความเต็มใจจ่ายอยู่ที่ 1,303 บาทต่อคน เมื่อคิดเป็นจำนวนพนักงานรวมทั้งหมด 30 คน จะได้ค่าความเต็มใจจ่ายทั้งหมด 39,090 บาท และเมื่อแบ่งสัดส่วนพบว่าค่าความเต็มใจจ่ายเพื่อการอนุรักษ์พลังงานคิดเป็นร้อยละ 51 คิดเป็นเงิน 19,935.90 บาท ซึ่งสามารถนำไปปรับปรุงกรอบอาคารโดยการติดมู่ลี่เช่นเดียวกับผลที่ได้จากผู้บริหารและหัวหน้างาน เพื่อให่ค่าการถ่ายความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารลดลงเหลือ 47.82 W/m^2 ซึ่งเป็นค่าที่ผ่านตามประกาศกระทรวงพลังงานกำหนดนำไปส่วนการจัดการน้ำและของเสียอยู่ที่ร้อยละ 45 คิดเป็นเงิน 17,590.50 บาท ซึ่งสามารถนำไปติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการเปิดปิดของอ่างล้างมือและโถปัสสาวะอัตโนมัติรวมถึงการนำกระดาษกลับมาใช้ด้านหลังซึ่งไม่มีค่าใช้จ่ายเช่นเดียวกับผลข้อมูลของกลุ่มผู้บริหารและหัวหน้างาน ซึ่งช่วยให้ลดค่าใช้จ่ายในการใช้ทรัพยากรลง 450 บาทต่อเดือน และเพื่อการเพิ่มความสบายอยู่ที่ร้อยละ 4 คิดเป็นเงิน 1,563.60 บาท ซึ่งไม่เพียงพอในการทำตามมาตรการที่กำหนดไว้ แต่การติดมู่ลี่ช่วยลดอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย ทำให้ค่าความรู้สึกไม่พอใจในความสบายมีค่าร้อยละ 10

สรุปได้ว่าค่าความเต็มใจจ่ายในการปรับปรุงอาคารสำนักงานเช่าที่ศึกษา สามารถนำไปปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารโดยการติดมู่ลี่ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารเหลือ 47.82 W/m^2 ช่วยให้ประหยัดพลังงานในการใช้ระบบปรับ

อากาศคิดเป็นเงิน 5956.8 บาทต่อปี คิดเป็นระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) เท่ากับ 1.26 ปี และในส่วนของการจัดการน้ำและทรัพยากรสามารถทำการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการเปิดปิดของอ่างล้างมือและโถปัสสาวะอัตโนมัติรวมถึงการนำกระดาษกลับมาใช้ด้านหลัง ทำให้ลดค่าการใช้ทรัพยากรลงได้ 450 บาทต่อเดือน ในส่วนการเพิ่มความสบาย พบว่าจำนวนเงินไม่เพียงพอในการปรับปรุงตามมาตรการที่กำหนด แต่ในส่วนของหัวหน้างานสามารถเพิ่มเงินอีก 278.70 บาท สามารถทำการซื้อพัดลมตัวเล็กมาติดตั้งประจำโต๊ะของพนักงานเพื่อเพิ่มความเร็วลมผ่านตัว ทำให้ค่าความรู้สึกความรู้สึกไม่พอใจในความสบายมีค่าร้อยละ 6 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐาน ASHRAE 55 แนะนำ โดยคาดหวังว่าพนักงานจะมีผลผลิตของงานที่ดีขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในกระบวนการวิจัยแนวทางการอนุรักษ์พลังงานและความเต็มใจจ่ายในการปรับปรุงสำนักงานให้เช่า ทำการศึกษาค่าถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารและหาค่าความเต็มใจที่จะจ่ายเพื่อการปรับปรุงสำนักงานเช่าทำการศึกษาในเฉพาะส่วนของสำนักงานเช่า ซึ่งมีพนักงานจำนวนไม่มาก และมีการกำหนดตัวแปรบางตัวแปรสภาวะความสบายให้คงที่ ในอนาคตอาจมีการเพิ่มเติมขอบเขตเช่น

5.2.1 ขยายขอบเขตการศึกษาจากสำนักงานเช่าไปเป็นทั้งอาคารสำนักงาน

5.2.2 ควรศึกษาผลกระทบจากความชื้นในค่าที่เปลี่ยนไป

บรรณานุกรม

[1] BLTbangkok. (18 กันยายน 2562). คนไทยมีชั่วโมงงานเกินมาตรฐานโลก หลายชาติเล็งลดวันทำงานลง. [Online]. Available: https://www.bltbangkok.com/article/info/3/918

[2] ASHRAE, Standard 55 -10 , *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, 2010.

[3] กระทรวงพลังงาน, *คู่มือแนวทางการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน*, 2560.

[4] ประกาศกระทรวงพลังงาน, *เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารและการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆของอาคาร*, 2552.

[5] สุรัตน์ อัตถจริยกุล, "ผลของความเร็วลมเฉพาะที่ต่อความรู้สึกสบายและการประหยัดพลังงานในห้องปรับอากาศ," *วิศวกรรมสาร มข.*, ปีที่ 34, ฉบับที่ 1, หน้า 49-58, มกราคม–กุมภาพันธ์, 2550.

[6] Noppanuch P., Kodchasorn H., and Vorakamol B., "Thermal comfort of Thai students in university buildings under variable indoor conditions of air conditioned space," *Journal of Renewable Energy and Smart Grid Technology*, vol. 14, No. 1, pp. 66-76, January – June, 2019.

[7] ประกอบ สุรวัฒนาวรรณ และกรรณิการ์ สุดสม, "การศึกษาข้อจำกัดของระดับความชื้นสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน," *วารสารวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์*, ปีที่ 26, ฉบับที่ 4, หน้า 77-92, ตุลาคม-ธันวาคม, 2558.

[8] Singh A., Matt S., Sue C. and Korkmaz S., "Effects of Green Buildings on Employee Health and Productivity," *American Journal of Public Health*, vol. 100, No. 9, pp. 1,665-1,668, September, 2010.

[9] Abraham P. and Gundimeda H., "Greening Offices: Willingness To Pay for Green-certified office spaces in Bengaluru, India, Springer Nature B.V," *Journal of Environment, Development and Sustainability*, October, 2018.

[10] วิรัตน์ ตั้งคุณาพันธุ์, สมนึก ธีระกุลพิศุทธิ์ และฉัตรชัย เบญจปิยะพร, "การศึกษาวิธีการคำนวณภาระการทำความเย็นจากค่า OTTV และ RTTV," *รายงานสืบเนื่องจากการการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 3*: วันที่ 23-25 พฤษภาคม 2550 โรงแรมใบหยกสกาย จังหวัดกรุงเทพฯ

[11] เสริม จันทร์ฉาย, *รังสีอาทิตย์*, กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2556.

[12] Fanger PO, *Thermal comfort analysis and application in environmental engineering*, McGraw-Hill, New York, pp. 244, 1972.

[13] ISO 7730, *Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*, 2005.

[14] มนตรี พิริยะกุล, "Conjoint Analysis,", *วารสารรามคำแหง*, ปีที่ 29, ฉบับที่ 2, หน้า 252-272, เมษายน-มิถุนายน, 2555.

[15] สัจจากาจ จอมโนนเขวา, *"การพัฒนาแบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทาง และแบบจำลองระยะทางการเดินทาง ภายในเขตเทศบาลนครราชสีมา,"* วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมขนส่ง, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสุรนารี, 2552.

[16] ณวัลริณี สุวินิจวงษ์, "ความต้องการและความคาดหวังจากการจัดการอาคารของผู้เช่าอาคารสำนักงาน," *วารสารอิเล็กทรอนิกส์ สาระศาสตร์*, ปีที่ 2, ฉบับที่ 2, หน้า 202-214, 2562.

[17] ศุทธา ศรีเผด็จ, "กฎหมายอนุรักษ์พลังงานในอาคารฉบับใหม่," *วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สจล*, ปีที่ 12, ฉบับที่ 1, หน้า 1-8, 2554.

[18] โสพิศ ชัยชนะ, "แนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเพื่อประหยัดพลังงาน," *วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร*, ปีที่ 9, ฉบับที่ 1, หน้า 1,703-1,716, มกราคม–เมษายน, 2559.

[19] พันธุดา พุฒิไพโรจน์, "การศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการปรับอากาศระหว่างผนังคอนกรีตมวลเบาชั้นเดียวและสองชั้น," *วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร*, ปีที่ 3 ฉบับที่ 1, หน้า 36-47, กรกฎาคม, 2553.

[20] Chantima R., Krit A. et. al, "Strategy of Energy for Commercial Building," *Science Technology and Engineering Journal (STEJ),* vol. 6, No. 1, pp. 16-21, Jan-June, 2020.

[21] มานพ แจ่มกระจ่าง, "ศึกษาทางเลือกการตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมเพื่อการประหยัดพลังงาน," *วารสารศึกษาศาสตร์*, ปีที่ 18, ฉบับที่ 1, หน้า 75-88, มิถุนายน-ตุลาคม, 2549.

[22] ศุภลักษณ์ ใจเรือง, ทรงพล สุขกิจบำรุง, สุภาวดี รัตนมาศ และกุสุมา ธรรมธำรงการ, "การจัดการเทคโนโลยีการใช้พลังงานภายในอาคารมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน," *วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 1, มกราคม-มิถุนายน, 2555.

[23] กัญจนี ญาณะชัย, ธีรวุฒิ คูหาเปรมะ และพวงมุกดา วายุภักตร์, "การศึกษาการลดภาระความร้อนจากอุปกรณ์กันแดดภายนอกอาคารในพื้นที่หน้าต่างกระจก เพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้า: กรณีศึกษาห้องสมุดชั้นสอง อาคารสันทนาการ สถาบันมะเร็งแห่งชาติ)," *วารสาร*

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี), ปีที่1, ฉบับที่ 2, หน้า 40-59, กรกรฎาคม–ธันวาคม, 2552.

[24] อาจรี ศุภสุธีกุล, "การศึกษาระยะเวลาการปิดเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน," *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*, ปีที่ 6 ฉบับที่ 12, หน้า 106-113, กรกฎาคม–ธันวาคม, 2557.

[25] โสมสกาว เพชรานนท์ และ วลัยภรณ์ อัตตะนันทน์, "ความเต็มใจจ่ายเพื่อคุณลักษณะในการบริหารจัดการช่องทางจักรยาน," *วารสารเกษตรศาสตร์ (สังคม)*, ปีที่ 36, ฉบับที่ 2, หน้า 201-216, พฤษภาคม–สิงหาคม, 2558.

[26] ชนิกานต์ ศรีทันดร, *"คุณลักษณะ Co-working Space ที่ผู้บริโภคชื่นชอบเมื่อต้องตัดสินใจเลือกใช้บริการ,"* วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ธุรกิจอสังหาริมทรัพย์), คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2559.

[27] อาทิตยา วงศ์วานิช, *"ความเต็มใจจ่ายในการใช้บริการสถานออกกำลังกายของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร,"* เศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ธุรกิจ, คณะเศรษฐศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2559.

[28] อัครพงศ์ อั้นทอง, "นโยบายสาธารณะด้านการจัดการพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำป่าไหลหลากและดิน/โคลนถล่ม (กรณีศึกษา: มูลค่าของความเสี่ยงของชีวิตประชาชนในพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำป่าไหลหลากและดิน/โคลนถล่ม)," *วารสารเศรษฐศาสตร์ประยุกต์*, ปีที่ 17, ฉบับที่ 1, หน้า 1-52, มิถุนายน , 2553.

[29] นันทนิตย์ ทองศรี, "ความยินดีที่จะจ่ายในการเลือกเป็นสมาชิกโทรทัศน์ดาวเทียมและเคเบิลทีวีในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล," *วารสารการวิจัยและพัฒนาชุมชน (มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์)*, ปีที่ 9, ฉบับที่ 2, หน้า 228-239, พฤษภาคม–สิงหาคม, 2559.

[30] Itsubo N., Sakagami M., Kuriyama K. and Inaba A., "Statistical analysis for the development of national averageweighting factors : visualization of the variability between each individual's environmental thoughts," *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 17, 2012.

[31] วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์, *การออกแบบระบบท่อภายในอาคาร*, กรุงเทพฯ: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2560.

[32] American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers, *Handbook : Fundamental*, 2017.

[33] สุรัตน์ อัตถจริยกุล, "ความรู้สึกสบายเชิงความร้อนสำหรับการปรับอากาศในประเทศไทย," *วิศวกรรมสาร มข.*, ปีที่ 34, ฉบับที่ 2, หน้า 141-150, มีนาคม–เมษายน, 2550.

[34] Arens E., Tengfang X., Katsuhiro M., Zhang H., Fountain M. and Bauman F., "A study of occupant cooling by personally controlled air movement," *International Journal of. Energy and Building*, vol. 27, pp. 45-59, 1998.

[35] Krittiya O.t and Sudaporn S., “Review Article: Thermal Balance and the Role of Clothing on Thermal Comfort in Hot and Humid Climate,” 2015.

[36] Conrad V., Sabine H., Oliver K., Arens E., Hui Z.g and Charlie H., *“Heat and Moisture Transfer Through Clothing,”* IBPSA Building Simulation University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, July, 2009.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงข้อมูลในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร [4]

หน้า ๒๗
เล่ม ๑๒๖ ตอนพิเศษ ๑๒๒ ง ราชกิจจานุเบกษา ๒๘ สิงหาคม ๒๕๕๒

ตารางที่ ๑.๓ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ความหนาแน่น (ρ) และค่าความร้อนจำเพาะ (c_p) ของวัสดุชนิดต่าง ๆ

ลำดับ	วัสดุ	k (W/(m . °C))	ρ (kg/m^3)	c_p (kJ/(kg. °C))
๑	วัสดุมุงหลังคา/ดาดฟ้า			
	(ก) กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	๐.๕๕๓	๒๔๐๐	๐.๗๕
	(ข) กระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนเล็ก	๐.๓๘๔	๑๗๐๐	๑.๐๐
	(ค) กระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนใหญ่	๐.๔๔๑	๒๐๐๐	๑.๐๐
	(ง) กระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนคู่	๐.๓๕๕	๒๐๐๐	๑.๐๐
	(จ) วัสดุหลังคาแอสฟัลต์	๐.๔๒๑	๑๕๐๐	๑.๕๑
	(ฉ) กระเบื้องปูดาดฟ้ามวลเบา	๐.๓๔๑	๕๓๐	๐.๘๘
	(ช) กระเบื้องใยแก้วโปร่งแสงเรียบ	๐.๒๑๓	๑๓๔๐	๑.๘๘
	(ซ) กระเบื้องใยแก้วโปร่งแสงลอนใหญ่	๐.๑๘๑	๑๗๐๐	๑.๘๘
	(ฌ) กระเบื้องลูกฟูกโปร่งแสง	๐.๑๖๐	๑๓๔๐	๑.๘๘
	(ญ) กระเบื้องใยแก้วลอนคู่สีขาวขุ่น	๐.๒๐๘	๑๕๐๐	๑.๘๘
๒	วัสดุปูพื้น/ผนัง			
	(ก) ไลโนเลียม (พรมน้ำมัน)	๐.๒๒๗	๑๒๐๐	๑.๒๖
	(ข) กระเบื้องยาง	๐.๕๗๓	๑๕๐๐	๑.๒๖
	(ค) กระเบื้องเซรามิค	๐.๓๓๘	๒๑๐๐	๐.๘๐
	(ง) หินอ่อน	๑.๒๕๐	๒๗๐๐	๐.๘๐
	(จ) หินแกรนิต	๑.๒๗๖	๒๖๐๐	๐.๗๕
	(ฉ) หินกาบ	๐.๒๕๐	๒๖๔๐	๐.๕๖
	(ช) หินทราย	๐.๗๒๑	๒๔๔๐	๐.๕๖
	(ซ) ไม้ปาร์เก้	๐.๑๖๗	๖๐๐	๐.๕๖
๓	ผนังอิฐ/คอนกรีต			
	(ก) อิฐมอญไม่ฉาบ	๐.๔๗๓	๑๖๐๐	๐.๗๕
	(ข) อิฐมอญฉาบปูนสองหน้า	๑.๑๐๒	๑๗๐๐	๐.๗๕
	(ค) อิฐฉาบปูนหรือปิดด้วยแผ่นโมเสดหรือกระเบื้อง หน้าเดียว	๐.๘๐๗	๑๗๖๐	๐.๘๔
	(ง) คอนกรีตบล็อกกลวง ๘๐ มม. ไม่ฉาบ	๐.๕๔๖	๒๒๑๐	๐.๕๒

ลำดับ	วัสดุ	k (W/(m . °C))	ρ (kg/m^3)	c_p (kJ/(kg. °C))
	(จ) คอนกรีตสแลบ	๑.๔๔๒	๒๔๐๐	๐.๕๒
	(ฉ) ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	๐.๗๒	๑๘๖๐	๐.๘๔
๔	คอนกรีตมวลเบา ความหนาแน่นต่าง ๆ			
	(ก) ๖๒๐ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๑๘๐	๖๒๐	๐.๘๔
	(ข) ๗๐๐ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๒๑๐	๗๐๐	๐.๘๔
	(ค) ๕๖๐ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๓๐๓	๕๖๐	๐.๘๔
	(ง) ๑๑๒๐ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๓๔๖	๑๑๒๐	๐.๘๔
	(จ) ๑๒๘๐ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๔๗๖	๑๒๘๐	๐.๘๔
	(ฉ) ปูนฉาบสำหรับคอนกรีตมวลเบา	๐.๓๒๖	๑๒๐๐	๐.๘๔
๕	วัสดุทำฝ้าเพดาน/ผนัง			
	(ก) แผ่นยิปซั่ม	๐.๒๘๒	๘๐๐	๑.๐๕
	(ข) กระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นเรียบ	๐.๓๕๗	๑๗๐๐	๑.๐๐
	(ค) ไม้อัด	๐.๒๑๓	๕๐๐	๑.๒๑
	(ง) แผ่นไฟเบอร์ (fiber board)	๐.๐๕๒	๒๖๔	๑.๓๐
	(จ) เซลโลกรีตชนิดธรรมดา	๐.๑๐๖	๕๐๐	๑.๓๐
	(ฉ) เซลโลกรีตชนิดโฟม	๐.๐๖๘	๓๐๐	๑.๓๐
	(ช) แผ่นไฟเบอร์ชานอ้อย	๐.๐๕๒	๒๕๐	๑.๒๖
	(ซ) แผ่นไม้ก๊อก	๐.๐๔๒	๑๔๔	๒.๐๑
	(ฌ) พลาสเตอร์ฉาบยิปซั่ม	๐.๒๓๐	๗๒๐	๑.๐๕
๖	ฉนวนใยแก้ว (ไฟเบอร์กลาส) แบบม้วน (blanket) แบบแผ่น (rigid board) และแบบท่อสำเร็จ (rigid pipe section)			
	(ก) ความหนาแน่น ๑๐ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๐๔๖	๑๐	๐.๕๖
	(ข) ความหนาแน่น ๑๒ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๐๔๒	๑๒	๐.๕๖
	(ค) ความหนาแน่น ๑๖ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๐๓๘	๑๖	๐.๕๖
	(ง) ความหนาแน่น ๒๔ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๐๓๕	๒๔	๐.๕๖
	(จ) ความหนาแน่น ๓๒ - ๔๘ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๐๓๓	๓๒ - ๔๘	๐.๕๖
	(ฉ) ความหนาแน่น ๕๖ - ๖๕ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๐๓๑	๕๖ - ๖๕	๐.๕๖

ลำดับ	วัสดุ	k (W/(m . °C))	ρ (kg/m^3)	c_p (kJ/(kg. °C))
๗	ฉนวนใยหินแบบม้วน (blanket) และแบบแผ่น (rigid board)			
	ความหนาแน่น ๖.๔ - ๓๒	๐.๐๓๕	๖.๔ - ๓๒	๐.๘
๘	ฉนวนชนิดโฟมโพลีสไตรีน แบบขยายตัว			
	(ก) ความหนาแน่น ๕ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๐๔๗	๕	๑.๒๑
	(ข) ความหนาแน่น ๑๖ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๐๓๗	๑๖	๑.๒๑
	(ค) ความหนาแน่น ๒๐ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๐๓๖	๒๐	๑.๒๑
	(ง) ความหนาแน่น ๒๔ - ๓๒ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	๐.๐๓๕	๒๔ - ๓๒	๑.๒๑
๙	โฟมโพลีเอทิลีน	๐.๐๒๕	๔๕	๑.๒๑
๑๐	โฟมโพลียูรีเทน	๐.๐๒๓ - ๐.๐๒๖	๒๔ - ๔๐	๑.๕๕
๑๑	ไม้			
	(ก) ไม้เนื้อแข็ง	๐.๒๑๗	๘๐๐	๑.๓๐
	(ข) ไม้เนื้อแข็งปานกลาง	๐.๑๗๖	๖๐๐	๑.๓๐
	(ค) ไม้เนื้ออ่อน	๐.๑๓๑	๕๐๐	๑.๓๐
	(ง) ไม้อัดชิพบอร์ด	๐.๑๔๔	๘๐๐	๑.๓๐
๑๒	กระดาษอัด	๐.๐๘๖	๔๐๐	๑.๓๘
๑๓	แผ่นกระจก			
	(ก) กระจกใส	๐.๕๖๐	๒๕๐๐	๐.๘๘
	(ข) กระจกสีชา	๐.๕๑๓	๒๕๐๐	๐.๘๘
	(ค) กระจกสะท้อนแสง	๐.๕๓๑	๒๕๐๐	๐.๘๘
	(ง) กระจกเงา	๐.๘๕๓	๒๕๐๐	๐.๘๘
๑๔	โลหะ			
	(ก) โลหะผสมของอลูมิเนียม แบบธรรมดา	๒๑๑	๒๖๗๒	๐.๘๕๖
	(ข) ทองแดง	๓๘๘	๘๗๘๔	๐.๓๕๐
	(ค) เหล็กกล้า	๔๗.๖	๗๘๔๐	๐.๕๐๐

ตารางที่ ๑.๔ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุผนังและสีภายนอกของผนังชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ประกอบการหาค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า

พื้นผิวของผนังภายนอกอาคาร	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	หมายเหตุ
วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว แผ่นสะท้อนแสงทำด้วยอลูมิเนียม หินอ่อนสีขาว กรวดล้างสีขาว สีทาภายนอก สีขาว สีเงิน สีเงินหรือสีบรอนซ์สะท้อนแสง	๐.๓	วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสง และวัสดุที่มีผิวขาว
วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว หินอ่อนสีครีมหรือสีอ่อน หินแกรนิตสีครีมหรือสีอ่อน กรวดล้างสีครีมหรือสีอ่อน วัสดุปิดผิวสีอ่อน	๐.๕	วัสดุที่มีผิวสีอ่อน

พื้นผิวของผนังภายนอกอาคาร	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	หมายเหตุ
สีทาภายนอก สีครีม สีฟ้าอ่อน สีเขียวอ่อน สีเหลืองอ่อน สีส้มอ่อน		

ตารางที่ ๑.๔ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุผนังและสีภายนอกของผนังชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ประกอบการหาค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (ต่อ)

พื้นผิวของผนังภายนอกอาคาร	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	หมายเหตุ
วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว คอนกรีตไม่ทาสี อิฐไม่ทาสี แผ่นไฟเบอร์ไม่ทาสี กรวดล้างสีเทา แผ่นซีเมนต์แอสเบสทอสไม่ทาสี สีทาภายนอก สีแดง สีฟ้า สีเขียว สีส้ม สีสนิม (Rustic)	๐.๗	วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม
วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว อิฐสีแดง แอสฟัลต์ คอนกรีตสีเทาเข้มและสีดำ วัสดุมุงหลังคาสีเขียวเข้มและสีแดงเข้ม	๐.๘	วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

ตารางที่ ๑.๕ ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ระหว่างแผ่นกระจกหรือผนังโปร่งแสง

ความหนาของช่องว่างอากาศ (mm)	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ($(m^2.^\circ C)/W$)	
	พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ
๑๓	๐.๑๑๕	๐.๓๔๕
๑๐	๐.๑๑๐	๐.๒๗๘
๗	๐.๐๕๗	๐.๒๐๘
๖	๐.๐๕๑	๐.๑๕๖
๕	๐.๐๘๔	๐.๑๖๗

ตารางที่ ๑.๖ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคารสำหรับอาคารแต่ละประเภท

ประเภทอาคาร	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคาร ΔT ($^\circ C$)
สถานศึกษา สำนักงาน	๕
โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	๕
โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	๓

ตารางที่ ๑.๘ รังสีตรง (beam, E_{bn}) และรังสีกระจาย (diffuse, E_{dif}) ของดวงอาทิตย์ สำหรับวันอ้างอิง ๔ วัน

เวลา	พลังงานของรังสีอาทิตย์ (W/m^2)							
	๒๑ มีนาคม		๒๒ มิถุนายน		๒๓ กันยายน		๒๒ ธันวาคม	
	beam	diffuse	beam	diffuse	beam	diffuse	beam	diffuse
๑.๐๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐
๒.๐๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐
๓.๐๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐
๔.๐๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐
๕.๐๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐
๖.๐๐	๐.๐	๐.๐	๗.๕	๕.๖	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐
๗.๐๐	๖๘.๕	๔๔.๘	๑๐๕.๐	๗๗.๘	๘๔.๔	๗๗.๑	๖๔.๔	๑๘.๘

เวลา	พลังงานของรังสีอาทิตย์ (W/m^2)							
	๒๑ มีนาคม		๒๒ มิถุนายน		๒๓ กันยายน		๒๒ ธันวาคม	
	beam	diffuse	beam	diffuse	beam	diffuse	beam	diffuse
๘.๐๐	๑๘๕.๓	๑๒๑.๖	๑๕๖.๒	๑๔๕.๔	๒๐๒.๓	๑๖๕.๑	๒๓๐.๐	๘๓.๕
๙.๐๐	๒๕๐.๑	๑๕๐.๐	๒๓๕.๖	๒๐๔.๓	๒๕๖.๒	๒๔๑.๘	๔๕๔.๔	๑๔๐.๕
๑๐.๐๐	๓๓๔.๘	๒๔๕.๕	๓๓๘.๖	๒๕๐.๕	๓๖๕.๕	๓๐๒.๐	๖๐๓.๓	๑๘๖.๕
๑๑.๐๐	๔๓๓.๘	๒๘๔.๑	๓๘๑.๒	๒๘๒.๖	๔๑๘.๓	๓๔๑.๔	๗๐๔.๕	๒๑๗.๕
๑๒.๐๐	๔๖๓.๒	๓๐๓.๔	๔๐๑.๑	๒๕๗.๓	๔๓๗.๕	๓๕๗.๕	๗๕๑.๓	๒๓๒.๒
๑๓.๐๐	๔๖๑.๐	๓๐๑.๕	๓๕๗.๐	๒๕๔.๒	๔๒๗.๖	๓๔๕.๐	๗๓๘.๕	๒๒๘.๔
๑๔.๐๐	๔๒๗.๓	๒๗๕.๘	๓๖๕.๑	๒๗๓.๖	๓๘๘.๐	๓๑๖.๗	๖๖๘.๗	๒๐๖.๗
๑๕.๐๐	๓๖๔.๕	๒๓๘.๗	๓๑๕.๑	๒๓๖.๕	๓๒๑.๗	๒๖๒.๖	๕๔๖.๑	๑๖๘.๘
๑๖.๐๐	๒๗๖.๗	๑๘๑.๒	๒๕๐.๐	๑๘๕.๓	๒๓๓.๕	๑๕๐.๖	๓๘๐.๘	๑๑๗.๗
๑๗.๐๐	๑๗๐.๐	๑๑๑.๓	๑๖๕.๕	๑๒๓.๐	๑๒๕.๒	๑๐๕.๕	๑๘๕.๖	๕๗.๔
๑๘.๐๐	๕๑.๗	๓๓.๕	๗๒.๐	๕๓.๓	๑๖.๑	๑๓.๑	๐.๐	๐.๐
๑๕.๐๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐
๒๐.๐๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐
๒๑.๐๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐
๒๒.๐๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐
๒๓.๐๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐
๒๔.๐๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐	๐.๐

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ตารางที่ ๑.๙ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (*ESR*) สำหรับอาคารประเภทสถานศึกษา หรือสำนักงาน

มุมเอียง (องศา)	ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนตามทิศทางของผนัง (W/m^2)							
	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออกเฉียงใต้	ใต้	ตะวันตกเฉียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตกเฉียงเหนือ
๐	๔๓๗.๓๘	๔๓๗.๓๘	๔๓๗.๓๘	๔๓๗.๓๘	๔๓๗.๓๘	๔๓๗.๓๘	๔๓๗.๓๘	๔๓๗.๓๘
๑๕	๔๐๕.๐๐	๔๒๑.๗๔	๔๓๓.๖๑	๔๔๐.๐๐	๔๔๑.๖๒	๔๓๘.๕๐	๔๓๑.๕๑	๔๑๕.๕๓
๓๐	๓๕๘.๕๕	๓๕๐.๒๐	๔๑๒.๕๖	๔๒๕.๔๘	๔๒๘.๕๕	๔๒๒.๕๘	๔๐๘.๓๕	๓๕๘.๖๕
๔๕	๓๐๖.๖๘	๓๔๘.๓๑	๓๗๕.๕๘	๓๕๗.๑๗	๔๐๑.๔๗	๓๕๓.๒๐	๓๗๒.๕๗	๓๔๑.๖๑
๖๐	๒๕๕.๓๗	๓๐๑.๖๐	๓๓๗.๖๑	๓๕๘.๔๔	๓๖๓.๔๕	๓๕๓.๑๘	๓๒๘.๖๒	๒๕๓.๓๓
๗๕	๒๑๒.๓๕	๒๕๕.๖๐	๒๕๑.๒๑	๓๑๒.๖๕	๓๑๗.๗๐	๓๐๖.๕๒	๒๘๑.๑๑	๒๔๖.๗๐
๕๐	๑๘๕.๐๖	๒๑๕.๘๔	๒๔๔.๕๓	๒๖๓.๑๔	๒๖๗.๔๑	๒๕๖.๘๒	๒๓๔.๕๘	๒๐๗.๖๒

ตารางที่ ๑.๑๐ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (*ESR*) สำหรับอาคารประเภทโรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า หรืออาคารชุมนุมคน

มุมเอียง (องศา)	ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนตามทิศทางของผนัง (W/m^2)							
	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออกเฉียงใต้	ใต้	ตะวันตกเฉียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตกเฉียงเหนือ
๐	๓๒๖.๕๕	๓๒๖.๕๕	๓๒๖.๕๕	๓๒๖.๕๕	๓๒๖.๕๕	๓๒๖.๕๕	๓๒๖.๕๕	๓๒๖.๕๕
๑๕	๓๐๓.๑๕	๓๐๗.๕๐	๓๑๕.๖๖	๓๒๓.๖๓	๓๓๐.๑๔	๓๓๓.๘๐	๓๓๑.๕๑	๓๒๑.๓๑
๓๐	๒๖๘.๐๘	๒๗๘.๖๐	๒๕๓.๘๒	๓๐๘.๔๔	๓๑๕.๔๒	๓๒๔.๓๕	๓๑๕.๑๐	๒๕๕.๓๒
๔๕	๒๒๗.๔๖	๒๔๓.๐๗	๒๖๔.๒๗	๒๘๓.๗๑	๒๕๗.๑๘	๓๐๑.๕๕	๒๕๒.๕๐	๒๖๖.๐๔
๖๐	๑๘๗.๔๑	๒๐๕.๗๐	๒๓๐.๒๕	๒๕๒.๒๐	๒๖๖.๒๑	๒๖๘.๕๐	๒๕๖.๕๓	๒๒๖.๕๗
๗๕	๑๕๔.๐๖	๑๗๐.๕๒	๑๕๕.๑๒	๒๑๖.๖๓	๒๒๕.๓๑	๒๒๕.๖๖	๒๑๕.๕๕	๑๘๗.๕๖
๕๐	๑๓๓.๕๒	๑๔๓.๑๑	๑๖๒.๐๔	๑๗๕.๗๕	๑๘๕.๒๗	๑๘๗.๒๖	๑๗๓.๕๘	๑๕๓.๓๑

ตารางที่ ๑.๑๑ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (*ESR*) สำหรับอาคารประเภทโรงแรม สถานพยาบาล หรืออาคารชุด

มุมเอียง (องศา)	ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนตามทิศทางของผนัง (W/m^2)							
	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออกเฉียงใต้	ใต้	ตะวันตกเฉียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตกเฉียงเหนือ
๐	๑๕๑.๔๔	๑๕๑.๔๔	๑๕๑.๔๔	๑๕๑.๔๔	๑๕๑.๔๔	๑๕๑.๔๔	๑๕๑.๔๔	๑๕๑.๔๔
๑๕	๑๗๗.๔๕	๑๘๕.๒๔	๑๕๐.๔๕	๑๕๓.๐๑	๑๕๓.๓๓	๑๕๑.๗๖	๑๘๘.๓๘	๑๘๓.๓๕
๓๐	๑๕๗.๕๑	๑๗๑.๘๔	๑๘๑.๗๕	๑๘๖.๘๗	๑๘๗.๖๓	๑๘๔.๖๔	๑๗๘.๑๒	๑๖๘.๕๕
๔๕	๑๓๔.๖๗	๑๕๓.๖๘	๑๖๗.๒๕	๑๗๔.๔๘	๑๗๕.๗๑	๑๗๑.๕๕	๑๖๒.๕๔	๑๔๕.๕๒
๖๐	๑๑๒.๑๓	๑๓๓.๑๗	๑๔๘.๗๖	๑๕๗.๓๓	๑๕๘.๕๓	๑๕๔.๑๒	๑๔๓.๕๔	๑๒๘.๖๕
๗๕	๕๓.๐๘	๑๑๒.๗๔	๑๒๘.๐๕	๑๓๖.๘๗	๑๓๘.๖๖	๑๓๓.๗๔	๑๒๓.๐๑	๑๐๘.๔๕
๕๐	๘๐.๖๘	๕๔.๘๑	๑๐๖.๕๘	๑๑๔.๕๗	๑๑๖.๒๖	๑๑๑.๕๖	๑๐๒.๘๖	๕๑.๔๐

ภาคผนวก ข

ผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร

ตัวอย่างการคำนวณค่า OTTV ก่อนปรับปรุง

จากสมการที่ 2.1

$$OTTV_i = \frac{\left(A_w \times U_w \times T_{eq}\right) + \left(A_f \times U_f \times \Delta T\right) + \left(A_f \times SHGC \times ESR \times SC\right)}{A_i} \quad (2.1)$$

$$OTTV_{SE} = \frac{\left(15 \times 2.063 \times 11.3\right) + \left(22.5 \times 2.87 \times 5\right) + \left(22.5 \times 0.48 \times 263.14\right)}{37.5} = 88.55 \text{ W/m}^2$$

$$OTTV_S = \frac{\left(1.1 \times 2.063 \times 11.1\right) + \left(1.65 \times 2.87 \times 5\right) + \left(1.65 \times 0.48 \times 267.41\right)}{2.75} = 94.78 \text{ W/m}^2$$

$$OTTV_{SW} = \frac{\left(9 \times 2.063 \times 10.7\right) + \left(13.5 \times 2.87 \times 5\right) + \left(13.5 \times 0.48 \times 256.82\right)}{22.5} = 91.40 \text{ W/m}^2$$

จากสมการที่ 2.2

$$OTTV = \frac{\sum\left(OTTV_i \times A_i\right)}{\sum A_i} \quad (2.2)$$

แทนค่าในสมการที่ (2.2) $OTTV = \frac{(88.55 \times 37.5) + (94.78 \times 2.75) + (91.40 \times 22.5)}{37.5 + 2.75 + 22.5} = 92.94$

โดย

U_w = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมรวมผ่านผนังที่ (W/m^2·°C)

U_f = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมรวมผ่านผนังกระจก (W/m^2·°C)

TD_{eq} = ผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างอุณหภูมิภายในพื้นที่และอุณหภูมิภายนอก (°C)

ΔT = ผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างอุณหภูมิภายในพื้นที่และอุณหภูมิภายนอก (°C)

A_W = พื้นที่ผนังทึบ (m^2)

A_f = พื้นที่หรือผนังกระจก (m^2)

A_i = พื้นที่รวมผนังและกระจก (m^2)

SC = สัมประสิทธ์การบังแดด (Shading coefficient)

$SHGC$ = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านผนังโปร่งแสง

ESR = ความรังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสงหรือผนังทึบ (W/m^2)

ตาราง ก ผลการคำนวณค่า OTTV ก่อนปรับปรุง

ทิศทาง	ประเภทวัสดุ	Area(m2)	Heat Gain Through Glazing by Conduction (W)	Heat Gain Through Glazing by Radiation (W)	Heat Gain Through Solid Areas by Conduction (W)	Total Heat Gain (W)	**OTTV (W/m^2)**
South East Elevation	Laminate Glass	22.50	322.88	2,841.91		3,164.79	**140.66**
	South East Solid	15.00	0.00	0.00	349.68	349.68	**23.31**
South Elevation	Laminate Glass	1.65	23.68	211.79		235.47	**142.71**
	South Solid	1.10	0.00	0.00	25.19	25.19	**22.90**
South West Elevation	Laminate Glass	13.50	193.73	1,664.19		1,857.92	**137.62**
	South West Solid	9.00	0.00	0.00	198.67	198.67	**22.07**
SUM		62.75				5,831.71	**92.94**

ตาราง ข ผลการคำนวณค่า OTTV จากการเพิ่มความหนากระจก

ทิศทาง	ประเภทวัสดุ	Area (m2)	Heat Gain Through Glazing by Conduction (W)	Heat Gain Through Glazing by Radiation (W)	Heat Gain Through Solid Areas by Conduction (W)	Total Heat Gain (W)	**OTTV (W/m^2)**
South East Elevation	Laminate Glass	22.50	278.44	2,841.91		3,120.35	**138.68**
	South East Solid	15.00	0.00	0.00	349.68	349.68	**23.31**
South Elevation	Laminate Glass	1.65	20.42	211.79		232.21	**140.73**
	South Solid	1.10	0.00	0.00	25.19	25.19	**22.90**
South West Elevation	Laminate Glass	13.50	167.06	1,664.19		1,831.26	**135.65**
	South West Solid	9.00	0.00	0.00	198.67	198.67	**22.07**
SUM		62.75				5,757.35	**91.75**

ตาราง ค ผลการคำนวณค่า OTTV จากการติดฟิล์มกระจก

ทิศทาง	ประเภทวัสดุ	Area (m2)	Heat Gain Through Glazing by Conduction (W)	Heat Gain Through Glazing by Radiation (W)	Heat Gain Through Solid Areas by Conduction (W)	Total Heat Gain W)	**OTTV (W/m^2)**
South East Elevation	Laminate Glass	22.50	322.88	1,184.13		1,507.01	**66.98**
	South East Solid	15.00	0.00	0.00	349.68	349.68	**23.31**
South Elevation	Laminate Glass	1.65	23.68	88.25		111.92	**67.83**
	South Solid	1.10	0.00	0.00	25.19	25.19	**22.90**
South West Elevation	Laminate Glass	13.50	193.73	693.41		887.14	**65.71**
	South West Solid	9.00	0.00	0.00	198.67	198.67	**22.07**
SUM		62.75				3,079.60	**49.08**

ตาราง ง ผลการคำนวณค่า OTTV จากการติดมูลี่

ทิศทาง	ประเภทวัสดุ	Area (m2)	Heat Gain Through Glazing by Conduction (W)	Heat Gain Through Glazing by Radiation (W)	Heat Gain Through Solid Areas by Conduction (W)	Total Heat Gain W)	**OTTV (W/m^2)**
South East Elevation	Laminate Glass	22.50	322.88	1,136.76		1,459.64	**64.87**
	South East Solid	15.00	0.00	0.00	349.68	349.68	**23.31**
South Elevation	Laminate Glass	1.65	23.68	84.72		108.39	**65.69**
	South Solid	1.10	0.00	0.00	25.19	25.19	**22.90**
South West Elevation	Laminate Glass	13.50	193.73	665.68		859.40	**63.66**
	South West Solid	9.00	0.00	0.00	198.67	198.67	**22.07**
SUM		62.75				3,000.97	**47.82**

ตาราง จ ผลการคำนวณค่า OTTV จากการเพิ่มความหนากระจกและการติดฟิล์มกระจก

ทิศทาง	ประเภทวัสดุ	Area (m2)	Heat Gain Through Glazing by Conduction (W)	Heat Gain Through Glazing by Radiation (W)	Heat Gain Through Solid Areas by Conduction (W)	Total Heat Gain W)	**OTTV (W/m^2)**
South East Elevation	Laminate Glass	22.50	278.44	1,184.13		1,462.57	**65.00**
	South East Solid	15.00	0.00	0.00	349.68	349.68	**23.31**
South Elevation	Laminate Glass	1.65	20.42	88.25		108.66	**65.86**
	South Solid	1.10	0.00	0.00	25.19	25.19	**22.90**
South West Elevation	Laminate Glass	13.50	167.06	693.41		860.48	**63.74**
	South West Solid	9.00	0.00	0.00	198.67	198.67	**22.07**
SUM		62.75				3,005.24	**47.89**

ตาราง ฉ ผลการคำนวณค่า OTTV จากการเพิ่มความหนากระจกและการติดมู่ลี่บังแดด

ทิศทาง	ประเภทวัสดุ	Area (m2)	Heat Gain Through Glazing by Conduction (W)	Heat Gain Through Glazing by Radiation (W)	Heat Gain Through Solid Areas by Conduction (W)	Total Heat Gain W)	**OTTV (W/m^2)**
South East Elevation	Laminate Glass	22.50	278.44	1,136.76		1,415.20	**62.90**
	South East Solid	15.00	0.00	0.00	349.68	349.68	**23.31**
South Elevation	Laminate Glass	1.65	20.42	84.72		105.13	**63.72**
	South Solid	1.10	0.00	0.00	25.19	25.19	**22.90**
South West Elevation	Laminate Glass	13.50	167.06	665.68		832.74	**61.68**
	South West Solid	9.00	0.00	0.00	198.67	198.67	**22.07**
SUM		62.75				2,926.61	**46.64**

ตาราง ช ผลการคำนวณค่า OTTV จากการติดฟิล์มและติดมู่ลี่บังแดด

ทิศทาง	ประเภทวัสดุ	Area (m2)	Heat Gain Through Glazing by Conduction (W)	Heat Gain Through Glazing by Radiation (W)	Heat Gain Through Solid Areas by Conduction (W)	Total Heat Gain W)	**OTTV (W/m^2)**
South East Elevation	Laminate Glass	22.50	322.88	473.65		796.53	**35.40**
	South East Solid	15.00	0.00	0.00	349.68	349.68	**23.31**
South Elevation	Laminate Glass	1.65	23.68	35.30		58.98	**35.74**
	South Solid	1.10	0.00	0.00	25.19	25.19	**22.90**
South West Elevation	Laminate Glass	13.50	193.73	277.37		471.09	**34.90**
	South West Solid	9.00	0.00	0.00	198.67	198.67	**22.07**
SUM		62.75				1,900.13	**30.28**

ตาราง ซ ผลการคำนวณค่า OTTV จากการเพิ่มความหนากระจก ติดฟิล์มและติดมู่ลี่บังแดด

ทิศทาง	ประเภทวัสดุ	Area(m2)	Heat Gain Through Glazing by Conduction (W)	Heat Gain Through Glazing by Radiation (W)	Heat Gain Through Solid Areas by Conduction (W)	Total Heat Gain (W)	**OTTV (W/m^2)**
South East Elevation	Laminate Glass	22.50	278.44	473.65		752.09	**33.43**
	South East Solid	15.00	0.00	0.00	349.68	349.68	**23.31**
South Elevation	Laminate Glass	1.65	20.42	35.30		55.72	**33.77**
	South Solid	1.10	0.00	0.00	25.19	25.19	**22.90**
South West Elevation	Laminate Glass	13.50	167.06	277.37		444.43	**32.92**
	South West Solid	9.00	0.00	0.00	198.67	198.67	**22.07**
SUM		62.75				1,825.77	**29.10**

ภาคผนวก ค
แบบสอบถามที่ใช้เก็บข้อมูล

แบบสอบถามความต้องการปรับปรุงสำนักงานให้เป็นอาคารอนุรักษ์พลังงานชุดที่ 1

ข้อมูลสำหรับทำแบบสอบถาม

ปัจจุบันสำนักงานมีพื้นที่ใช้งาน 140 ตารางเมตร มีพนักงานทำงานอยู่ 30 คน เพื่อเป็นการปรับปรุงให้สำนักงานเป็นสำนักงานอนุรักษ์พลังงานและทำให้ผู้อยู่อาศัยมีความสบายที่ดีขึ้น จึงได้เสนอมาตรการเพื่อปรับปรุงสำนักงานดังนี้

1. มาตรการ ในการอนุรักษ์ที่นำเสนอเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงาน

มาตรการ E1 = เปลี่ยนกระจกโดยให้หนาขึ้นจาก 13.52 mm. เป็น 17.52 mm. โดยใช้วัสดุกระจกชนิดเดิม สามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารลดลงเหลือ 91.75 W/m^2 โดยใช้เงินลงทุน 150,000 บาท

มาตรการ E2 = ติดฟิล์มกระจกเพื่อให้ค่า SHGC มีค่า 0.20 สามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารลดลงเหลือ 49.08 W/m^2 โดยใช้เงินลงทุน 50,000 บาท

มาตรการ E3 = ติดมู่ลี่เพื่อให้ค่า Shading Coefficient อยู่ที่ 0.4 สามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารลดลงเหลือ 47.82 W/m^2 โดยใช้เงินลงทุน 7,500 บาท

2. มาตรการในการจัดการน้ำและของเสีย

มาตรการ W1 = เปลี่ยนสุขภัณฑ์เป็นชนิดประหยัดน้ำ สามารถลดค่าใช้จ่ายต่อเดือนได้ 750 บาทต่อเดือน โดยใช้เงินลงทุน 25,000 บาท

มาตรการ W2 = ควบคุมการเปิดปิดอ่างล้างมือและโถปัสสาวะด้วยอุปกรณ์ตรวจจับ(Sensor) สามารถลดค่าใช้จ่ายต่อเดือนได้ 250 บาทต่อเดือน โดยใช้เงินลงทุน 18,000 บาท

มาตรการ W3 = การนำกระดาษที่ใช้แล้วกลับมาใช้ด้านหลัง สามารถลดค่าใช้จ่ายต่อเดือนได้ 200 บาทต่อเดือน โดยไม่มีการใช้เงินลงทุน

3. มาตรการเพิ่มความสบายของผู้อยู่อาศัย

มาตรการ H1 = เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเครื่องใหม่ที่สามารถทำอุณหภูมิที่ 25°C ทำให้ค่าความรู้สึกไม่พอใจอยู่ที่ร้อยละ 8 จากเดิมร้อยละ 12 โดยใช้เงินลงทุน 120,000 บาท

มาตรการ H2 = ติดพัดตัวเล็กประจำโต๊ะทำงานของพนักงานแต่ละคน ให้ค่าความรู้สึกไม่พอใจอยู่ที่ร้อยละ 7 จากเดิมร้อยละ 12 โดยใช้เงินลงทุน 15,000 บาท

มาตรการ H3 = ปรับเปลี่ยนชุดทำงานของบริษัทให้เป็นผ้าที่ระบายอากาศได้ดี ให้ค่าความรู้สึกไม่พอใจอยู่ที่ร้อยละ 11 จากเดิมร้อยละ 12 โดยใช้เงินลงทุน 30,000 บาท

*****โดยทุกมาตรการที่ทำจะต้องมีค่าค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้นต่อพนักงาน 1 คนด้วย *****

<u>คำชี้แจง</u> **คำถามมีทั้งหมด 5 ข้อ ให้ทำทุกข้อ โปรดทำเครื่องหมายวงกลมรอบเลขตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุด โดยให้อ่านคำนิยามเพื่อเป็นข้อมูลในการประกอบการตัดสินใจก่อนเลือกคำตอบ**

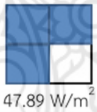
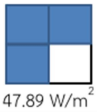
<u>ข้อที่ 1</u>

ตัวเลือก / การลดลง	A (สถานการณ์ปัจจุบัน)	B	C
OTTV (W/m^2)	92.94 W/m^2	30.28 W/m^2	30.28 W/m^2
การสูญเสียทรัพยากรในองค์กร (บาท/เดือน)	1,200 บาท/เดือน	250 บาท/เดือน	450 บาท/เดือน
ร้อยละผู้รู้สึกไม่พึงพอใจต่อความสบาย PPD (%)	12%	5%	8%
ค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้นต่อพนักงานหนึ่งคน (บาท)	ไม่เสียค่าใช้จ่าย	450 บาท	300 บาท

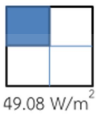
ข้อที่ 2

ตัวเลือก / การลดลง	A (สถานการณ์ปัจจุบัน)	B	C
OTTV (W/m^2)	92.94 W/m^2	49.08 W/m^2	49.08 W/m^2
การสูญเสียทรัพยากรในองค์กร (บาท/เดือน)	1,200 บาท/เดือน	250 บาท/เดือน	950 บาท/เดือน
ร้อยละผู้รู้สึกไม่พึงพอใจต่อความสบาย PPD (%)	12%	12%	6%
ค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้นต่อพนักงานหนึ่งคน (บาท)	ไม่เสียค่าใช้จ่าย	150 บาท	200 บาท

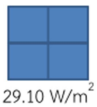
ข้อที่ 3

ตัวเลือก / การลดลง	A (สถานการณ์ปัจจุบัน)	B	C
OTTV (W/m^2)	92.94 W/m^2	 47.89 W/m^2	 47.89 W/m^2
การสูญเสียทรัพยากรในองค์กร (บาท/เดือน)	1,200 บาท/เดือน	ไม่มีค่าใช้จ่ายสูญเปล่า	450 บาท/เดือน
ร้อยละผู้รู้สึกไม่พึงพอใจต่อความสบาย PPD (%)	12%	12%	6%
ค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้นต่อพนักงานหนึ่งคน (บาท)	ไม่เสียค่าใช้จ่าย	350 บาท	300 บาท

ข้อที่ 4

ตัวเลือก / การลดลง	A (สถานการณ์ปัจจุบัน)	B	C
OTTV (W/m^2)	92.94 W/m^2	 49.08 W/m^2	92.94 W/m^2
การสูญเสียทรัพยากรในองค์กร (บาท/เดือน)	1,200 บาท/เดือน	ไม่มีค่าใช้จ่ายสูญเปล่า	450 บาท/เดือน
ร้อยละผู้รู้สึกไม่พึงพอใจต่อความสบาย PPD (%)	12%	8%	5%
ค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้นต่อพนักงานหนึ่งคน (บาท)	ไม่เสียค่าใช้จ่าย	350 บาท	300 บาท

ข้อที่ 5

ตัวเลือก / การลดลง	A (สถานการณ์ปัจจุบัน)	B	C
OTTV (W/m^2)	92.94 W/m^2	29.10 W/m^2	 29.10 W/m^2
การสูญเสียทรัพยากรในองค์กร (บาท/เดือน)	1,200 บาท/เดือน	ไม่มีค่าใช้จ่ายสูญเปล่า	450 บาท/เดือน
ร้อยละผู้รู้สึกไม่พึงพอใจต่อความสบาย PPD (%)	12%	5%	12%
ค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้นต่อพนักงานหนึ่งคน (บาท)	ไม่เสียค่าใช้จ่าย	600 บาท	300 บาท

แบบสอบถามความต้องการปรับปรุงสำนักงานให้เป็นอาคารอนุรักษ์พลังงานชุดที่ 2

ข้อมูลสำหรับทำแบบสอบถาม

ปัจจุบันสำนักงานมีพื้นที่ใช้งาน 140 ตารางเมตร มีพนักงานทำงานอยู่ 30 คน เพื่อเป็นการปรับปรุงให้สำนักงานเป็นสำนักงานอนุรักษ์พลังงานและทำให้ผู้อยู่อาศัยมีความสบายที่ดีขึ้น จึงได้เสนอมาตรการเพื่อปรับปรุงสำนักงานดังนี้

1. มาตรการ ในการอนุรักษ์ที่นำเสนอเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงาน

มาตรการ E1 = เปลี่ยนกระจกโดยให้หนาขึ้นจาก 13.52 mm. เป็น 17.52 mm. โดยใช้วัสดุกระจกชนิดเดิม สามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารลดลงเหลือ 91.75 W/m^2 โดยใช้เงินลงทุน 150,000 บาท

มาตรการ E2 = ติดฟิล์มกระจกเพื่อให้ค่า SHGC มีค่า 0.20 สามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารลดลงเหลือ 49.08 W/m^2 โดยใช้เงินลงทุน 50,000 บาท

มาตรการ E3 = ติดมู่ลี่เพื่อให้ค่า Shading Coefficient อยู่ที่ 0.4 สามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารลดลงเหลือ 47.82 W/m^2 โดยใช้เงินลงทุน 7,500 บาท

2. มาตรการในการจัดการน้ำและของเสีย

มาตรการ W1 = เปลี่ยนสุขภัณฑ์เป็นชนิดประหยัดน้ำ สามารถลดค่าใช้จ่ายต่อเดือนได้ 750 บาทต่อเดือน โดยใช้เงินลงทุน 25,000 บาท

มาตรการ W2 = ควบคุมการเปิดปิดอ่างล้างมือและโถปัสสาวะด้วยอุปกรณ์ตรวจจับ(Sensor) สามารถลดค่าใช้จ่ายต่อเดือนได้ 250 บาทต่อเดือน โดยใช้เงินลงทุน 18,000 บาท

มาตรการ W3 = การนำกระดาษที่ใช้แล้วกลับมาใช้ด้านหลัง สามารถลดค่าใช้จ่ายต่อเดือนได้ 200 บาทต่อเดือน โดยไม่มีการใช้เงินลงทุน

3. มาตรการเพิ่มความสบายของผู้อยู่อาศัย

มาตรการ H1 = เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเครื่องใหม่ที่สามารถทำอุณหภูมิที่ 25°C ทำให้ค่าความรู้สึกไม่พอใจอยู่ที่ร้อยละ 8 จากเดิมร้อยละ 12 โดยใช้เงินลงทุน 120,000 บาท

มาตรการ H2 = ติดพัดตัวเล็กประจำโต๊ะทำงานของพนักงานแต่ละคน ให้ค่าความรู้สึกไม่พอใจอยู่ที่ร้อยละ 7 จากเดิมร้อยละ 12 โดยใช้เงินลงทุน 15,000 บาท

มาตรการ H3 = ปรับเปลี่ยนชุดทำงานของบริษัทให้เป็นผ้าที่ระบายอากาศได้ดี ให้ค่าความรู้สึกไม่พอใจอยู่ที่ร้อยละ 11 จากเดิมร้อยละ 12 โดยใช้เงินลงทุน 30,000 บาท

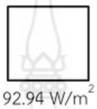
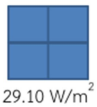
*****โดยทุกมาตรการที่ทำจะต้องมีค่าค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้นต่อพนักงาน 1 คนด้วย *****

<u>คำชี้แจง</u> **คำถามมีทั้งหมด 5 ข้อ ให้ทำทุกข้อ โปรดทำเครื่องหมายวงกลมรอบเลขตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุด โดยให้อ่านคำนิยามเพื่อเป็นข้อมูลในการประกอบการตัดสินใจก่อนเลือกคำตอบ**

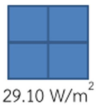
<u>ข้อที่ 1</u>

ตัวเลือก / การลดลง	A (สถานการณ์ปัจจุบัน)	B	C
OTTV (W/m^2)	92.94 W/m^2	30.28 W/m^2	49.08 W/m^2
การสูญเสียทรัพยากรในองค์กร (บาท/เดือน)	1,200 บาท/เดือน	1,200 บาท/เดือน	1,200 บาท/เดือน
ร้อยละผู้รู้สึกไม่พึงพอใจต่อความสบาย PPD (%)	12%	5%	5%
ค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้นต่อพนักงานหนึ่งคน (บาท)	ไม่เสียค่าใช้จ่าย	250 บาท	250 บาท

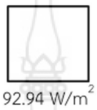
ข้อที่ 2

ตัวเลือก / การลดลง	A (สถานการณ์ปัจจุบัน)	B	C
OTTV (W/m^2)	 92.94 W/m^2	47.89 W/m^2	 29.10 W/m^2
การสูญเสียทรัพยากรในองค์กร (บาท/เดือน)	1,200 บาท/เดือน	250 บาท/เดือน	950 บาท/เดือน
ร้อยละผู้รู้สึกไม่พึงพอใจต่อความสบาย PPD (%)	12%	5%	5%
ค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้นต่อพนักงานหนึ่งคน (บาท)	ไม่เสียค่าใช้จ่าย	450 บาท	400 บาท

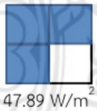
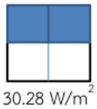
ข้อที่ 3

ตัวเลือก / การลดลง	A (สถานการณ์ปัจจุบัน)	B	C
OTTV (W/m^2)	92.94 W/m^2	29.10 W/m^2	 29.10 W/m^2
การสูญเสียทรัพยากรในองค์กร (บาท/เดือน)	1,200 บาท/เดือน	ไม่มีค่าใช้จ่ายสูญเปล่า	450 บาท/เดือน
ร้อยละผู้รู้สึกไม่พึงพอใจต่อความสบาย PPD (%)	12%	5%	12%
ค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้นต่อพนักงานหนึ่งคน (บาท)	ไม่เสียค่าใช้จ่าย	600 บาท	300 บาท

ข้อที่ 4

ตัวเลือก / การลดลง	A (สถานการณ์ปัจจุบัน)	B	C
OTTV (W/m^2)	 92.94 W/m^2	92.94 W/m^2	92.94 W/m^2
การสูญเสียทรัพยากรในองค์กร (บาท/เดือน)	1,200 บาท/เดือน	250 บาท/เดือน	950 บาท/เดือน
ร้อยละผู้รู้สึกไม่พึงพอใจต่อความสบาย PPD (%)	12%	6%	8%
ค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้นต่อพนักงานหนึ่งคน (บาท)	ไม่เสียค่าใช้จ่าย	200 บาท	150 บาท

ข้อที่ 5

ตัวเลือก / การลดลง	A (สถานการณ์ปัจจุบัน)	B	C
OTTV (W/m^2)	92.94 W/m^2	 47.89 W/m^2	 30.28 W/m^2
การสูญเสียทรัพยากรในองค์กร (บาท/เดือน)	1,200 บาท/เดือน	1,200 บาท/เดือน	950 บาท/เดือน
ร้อยละผู้รู้สึกไม่พึงพอใจต่อความสบาย PPD (%)	12%	8%	12%
ค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้นต่อพนักงานหนึ่งคน (บาท)	ไม่เสียค่าใช้จ่าย	250 บาท	150 บาท

แบบสอบถามความต้องการปรับปรุงสำนักงานให้เป็นอาคารอนุรักษ์พลังงานชุดที่ 3

ข้อมูลสำหรับทำแบบสอบถาม

ปัจจุบันสำนักงานมีพื้นที่ใช้งาน 140 ตารางเมตร มีพนักงานทำงานอยู่ 30 คน เพื่อเป็นการปรับปรุงให้สำนักงานเป็นสำนักงานอนุรักษ์พลังงานและทำให้ผู้อยู่อาศัยมีความสบายที่ดีขึ้น จึงได้เสนอมาตรการเพื่อปรับปรุงสำนักงานดังนี้

1. มาตรการ ในการอนุรักษ์ที่นำเสนอเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงาน

มาตรการ E1 = เปลี่ยนกระจกโดยให้หนาขึ้นจาก 13.52 mm. เป็น 17.52 mm. โดยใช้วัสดุกระจกชนิดเดิม สามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารลดลงเหลือ 91.75 W/m^2 โดยใช้เงินลงทุน 150,000 บาท

มาตรการ E2 = ติดฟิล์มกระจกเพื่อให้ค่า SHGC มีค่า 0.20 สามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารลดลงเหลือ 49.08 W/m^2 โดยใช้เงินลงทุน 50,000 บาท

มาตรการ E3 = ติดมู่ลี่เพื่อให้ค่า Shading Coefficient อยู่ที่ 0.4 สามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารลดลงเหลือ 47.82 W/m^2 โดยใช้เงินลงทุน 7,500 บาท

2. มาตรการในการจัดการน้ำและของเสีย

มาตรการ W1 = เปลี่ยนสุขภัณฑ์เป็นชนิดประหยัดน้ำ สามารถลดค่าใช้จ่ายต่อเดือนได้ 750 บาทต่อเดือน โดยใช้เงินลงทุน 25,000 บาท

มาตรการ W2 = ควบคุมการเปิดปิดอ่างล้างมือและโถปัสสาวะด้วยอุปกรณ์ตรวจจับ(Sensor) สามารถลดค่าใช้จ่ายต่อเดือนได้ 250 บาทต่อเดือน โดยใช้เงินลงทุน 18,000 บาท

มาตรการ W3 = การนำกระดาษที่ใช้แล้วกลับมาใช้ด้านหลัง สามารถลดค่าใช้จ่ายต่อเดือนได้ 200 บาทต่อเดือน โดยไม่มีการใช้เงินลงทุน

3. มาตรการเพิ่มความสบายของผู้อยู่อาศัย

มาตรการ H1 = เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเครื่องใหม่ที่สามารถทำอุณหภูมิที่ 25°C ทำให้ค่าความรู้สึกไม่พอใจอยู่ที่ร้อยละ 8 จากเดิมร้อยละ 12 โดยใช้เงินลงทุน 120,000 บาท

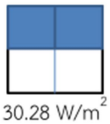
มาตรการ H2 = ติดพัดตัวเล็กประจำโต๊ะทำงานของพนักงานแต่ละคน ให้ค่าความรู้สึกไม่พอใจอยู่ที่ร้อยละ 7 จากเดิมร้อยละ 12 โดยใช้เงินลงทุน 15,000 บาท

มาตรการ H3 = ปรับเปลี่ยนชุดทำงานของบริษัทให้เป็นผ้าที่ระบายอากาศได้ดี ให้ค่าความรู้สึกไม่พอใจอยู่ที่ร้อยละ 11 จากเดิมร้อยละ 12 โดยใช้เงินลงทุน 30,000 บาท

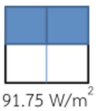
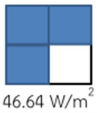
*****โดยทุกมาตรการที่ทำจะต้องมีค่าค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้นต่อพนักงาน 1 คนด้วย *****

<u>คำชี้แจง</u> **คำถามมีทั้งหมด 5 ข้อ ให้ทำทุกข้อ โปรดทำเครื่องหมายวงกลมรอบเลขตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุด โดยให้อ่านคำนิยามเพื่อเป็นข้อมูลในการประกอบการตัดสินใจก่อนเลือกคำตอบ**

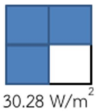
<u>ข้อที่ 1</u>

ตัวเลือก / การลดลง	A (สถานการณ์ปัจจุบัน)	B	C
OTTV (W/m^2)	92.94 W/m^2	47.89 W/m^2	 30.28 W/m^2
การสูญเสียทรัพยากรในองค์กร (บาท/เดือน)	1,200 บาท/เดือน	450 บาท/เดือน	1,000 บาท/เดือน
ร้อยละผู้รู้สึกไม่พึงพอใจต่อความสบาย PPD (%)	12%	7%	8%
ค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้นต่อพนักงานหนึ่งคน (บาท)	ไม่เสียค่าใช้จ่าย	250 บาท	200 บาท

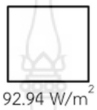
ข้อที่ 2

ตัวเลือก / การลดลง	A (สถานการณ์ปัจจุบัน)	B	C
OTTV (W/m^2)	92.94 W/m^2	 91.75 W/m^2	 46.64 W/m^2
การสูญเสียทรัพยากรในองค์กร (บาท/เดือน)	1,200 บาท/เดือน	1000 บาท/เดือน	200 บาท/เดือน
ร้อยละผู้รู้สึกไม่พึงพอใจต่อความสบาย PPD (%)	12%	8%	7%
ค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้นต่อพนักงานหนึ่งคน (บาท)	ไม่เสียค่าใช้จ่าย	200 บาท	300 บาท

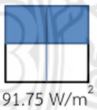
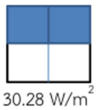
ข้อที่ 3

ตัวเลือก / การลดลง	A (สถานการณ์ปัจจุบัน)	B	C
OTTV (W/m^2)	92.94 W/m^2	49.08 W/m^2	 30.28 W/m^2
การสูญเสียทรัพยากรในองค์กร (บาท/เดือน)	1,200 บาท/เดือน	750 บาท/เดือน	450 บาท/เดือน
ร้อยละผู้รู้สึกไม่พึงพอใจต่อความสบาย PPD (%)	12%	11%	7%
ค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้นต่อพนักงานหนึ่งคน (บาท)	ไม่เสียค่าใช้จ่าย	300 บาท	300 บาท

ข้อที่ 4

ตัวเลือก / การลดลง	A (สถานการณ์ปัจจุบัน)	B	C
OTTV (W/m^2)	 92.94 W/m^2	47.82 W/m^2	47.89 W/m^2
การสูญเสียทรัพยากรในองค์กร (บาท/เดือน)	1,200 บาท/เดือน	950 บาท/เดือน	450 บาท/เดือน
ร้อยละผู้รู้สึกไม่พึงพอใจต่อความสบาย PPD (%)	12%	6%	8%
ค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้นต่อพนักงานหนึ่งคน (บาท)	ไม่เสียค่าใช้จ่าย	250 บาท	200 บาท

ข้อที่ 5

ตัวเลือก / การลดลง	A (สถานการณ์ปัจจุบัน)	B	C
OTTV (W/m^2)	92.94 W/m^2	 91.75 W/m^2	 30.28 W/m^2
การสูญเสียทรัพยากรในองค์กร (บาท/เดือน)	1,200 บาท/เดือน	ไม่มีค่าใช้จ่ายสูญเปล่า	950 บาท/เดือน
ร้อยละผู้รู้สึกไม่พึงพอใจต่อความสบาย PPD (%)	12%	5%	6%
ค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้นต่อพนักงานหนึ่งคน (บาท)	ไม่เสียค่าใช้จ่าย	550 บาท	400 บาท

แบบสอบถามความต้องการปรับปรุงสำนักงานให้เป็นอาคารอนุรักษ์พลังงานชุดที่ 4

ข้อมูลสำหรับทำแบบสอบถาม

ปัจจุบันสำนักงานมีพื้นที่ใช้งาน 140 ตารางเมตร มีพนักงานทำงานอยู่ 30 คน เพื่อเป็นการปรับปรุงให้สำนักงานเป็นสำนักงานอนุรักษ์พลังงานและทำให้ผู้อยู่อาศัยมีความสบายที่ดีขึ้น จึงได้เสนอมาตรการเพื่อปรับปรุงสำนักงานดังนี้

1. มาตรการ ในการอนุรักษ์ที่นำเสนอเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงาน

มาตรการ E1 = เปลี่ยนกระจกโดยให้หนาขึ้นจาก 13.52 mm. เป็น 17.52 mm. โดยใช้วัสดุกระจกชนิดเดิม สามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารลดลงเหลือ 91.75 W/m^2 โดยใช้เงินลงทุน 150,000 บาท

มาตรการ E2 = ติดฟิล์มกระจกเพื่อให้ค่า SHGC มีค่า 0.20 สามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารลดลงเหลือ 49.08 W/m^2 โดยใช้เงินลงทุน 50,000 บาท

มาตรการ E3 = ติดมู่ลี่เพื่อให้ค่า Shading Coefficient อยู่ที่ 0.4 สามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารลดลงเหลือ 47.82 W/m^2 โดยใช้เงินลงทุน 7,500 บาท

2. มาตรการในการจัดการน้ำและของเสีย

มาตรการ W1 = เปลี่ยนสุขภัณฑ์เป็นชนิดประหยัดน้ำ สามารถลดค่าใช้จ่ายต่อเดือนได้ 750 บาทต่อเดือน โดยใช้เงินลงทุน 25,000 บาท

มาตรการ W2 = ควบคุมการเปิดปิดอ่างล้างมือและโถปัสสาวะด้วยอุปกรณ์ตรวจจับ(Sensor) สามารถลดค่าใช้จ่ายต่อเดือนได้ 250 บาทต่อเดือน โดยใช้เงินลงทุน 18,000 บาท

มาตรการ W3 = การนำกระดาษที่ใช้แล้วกลับมาใช้ด้านหลัง สามารถลดค่าใช้จ่ายต่อเดือนได้ 200 บาทต่อเดือน โดยไม่มีการใช้เงินลงทุน

3. มาตรการเพิ่มความสบายของผู้อยู่อาศัย

มาตรการ H1 = เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเครื่องใหม่ที่สามารถทำอุณหภูมิที่ 25°C ทำให้ค่าความรู้สึกไม่พอใจอยู่ที่ร้อยละ 8 จากเดิมร้อยละ 12 โดยใช้เงินลงทุน 120,000 บาท

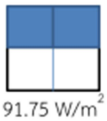
มาตรการ H2 = ติดพัดตัวเล็กประจำโต๊ะทำงานของพนักงานแต่ละคน ให้ค่าความรู้สึกไม่พอใจอยู่ที่ร้อยละ 7 จากเดิมร้อยละ 12 โดยใช้เงินลงทุน 15,000 บาท

มาตรการ H3 = ปรับเปลี่ยนชุดทำงานของบริษัทให้เป็นผ้าที่ระบายอากาศได้ดี ให้ค่าความรู้สึกไม่พอใจอยู่ที่ร้อยละ 11 จากเดิมร้อยละ 12 โดยใช้เงินลงทุน 30,000 บาท

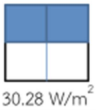
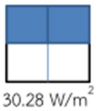
*****โดยทุกมาตรการที่ทำจะต้องมีค่าค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้นต่อพนักงาน 1 คนด้วย *****

<u>คำชี้แจง</u> **คำถามมีทั้งหมด 5 ข้อ ให้ทำทุกข้อ โปรดทำเครื่องหมายวงกลมรอบเลขตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุด โดยให้อ่านคำนิยามเพื่อเป็นข้อมูลในการประกอบการตัดสินใจก่อนเลือกคำตอบ**

<u>ข้อที่ 1</u>

ตัวเลือก / การลดลง	A (สถานการณ์ปัจจุบัน)	B	C
OTTV (W/m^2)	92.94 W/m^2	49.08 W/m^2	 91.75 W/m^2
การสูญเสียทรัพยากรในองค์กร (บาท/เดือน)	1,200 บาท/เดือน	750 บาท/เดือน	450 บาท/เดือน
ร้อยละผู้รู้สึกไม่พึงพอใจต่อความสบาย PPD (%)	12%	6%	8%
ค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้นต่อพนักงานหนึ่งคน (บาท)	ไม่เสียค่าใช้จ่าย	250 บาท	300 บาท

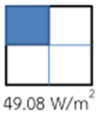
ข้อที่ 2

ตัวเลือก / การลดลง	A (สถานการณ์ปัจจุบัน)	B	C
OTTV (W/m^2)	92.94 W/m^2	 30.28 W/m^2	 30.28 W/m^2
การสูญเสียทรัพยากรในองค์กร (บาท/เดือน)	1,200 บาท/เดือน	450 บาท/เดือน	250 บาท/เดือน
ร้อยละผู้รู้สึกไม่พึงพอใจต่อความสบาย PPD (%)	12%	8%	5%
ค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้นต่อพนักงานหนึ่งคน (บาท)	ไม่เสียค่าใช้จ่าย	300 บาท	450 บาท

ข้อที่ 3

ตัวเลือก / การลดลง	A (สถานการณ์ปัจจุบัน)	B	C
OTTV (W/m^2)	92.94 W/m^2	47.89 W/m^2	47.89 W/m^2
การสูญเสียทรัพยากรในองค์กร (บาท/เดือน)	1,200 บาท/เดือน	450 บาท/เดือน	ไม่มีค่าใช้จ่ายสูญเปล่า
ร้อยละผู้รู้สึกไม่พึงพอใจต่อความสบาย PPD (%)	12%	12%	6%
ค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้นต่อพนักงานหนึ่งคน (บาท)	ไม่เสียค่าใช้จ่าย	300 บาท	350 บาท

ข้อที่ 4

ตัวเลือก / การลดลง	A (สถานการณ์ปัจจุบัน)	B	C
OTTV (W/m^2)	92.94 W/m^2	92.94 W/m^2	 49.08 W/m^2
การสูญเสียทรัพยากรในองค์กร (บาท/เดือน)	1,200 บาท/เดือน	450 บาท/เดือน	ไม่มีค่าใช้จ่ายสูญเปล่า
ร้อยละผู้รู้สึกไม่พึงพอใจต่อความสบาย PPD (%)	12%	8%	5%
ค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้นต่อพนักงานหนึ่งคน (บาท)	ไม่เสียค่าใช้จ่าย	300 บาท	500 บาท

ข้อที่ 5

ตัวเลือก / การลดลง	A (สถานการณ์ปัจจุบัน)	B	C
OTTV (W/m^2)	92.94 W/m^2	29.10 W/m^2	29.10 W/m^2
การสูญเสียทรัพยากรในองค์กร (บาท/เดือน)	1,200 บาท/เดือน	450 บาท/เดือน	ไม่มีค่าใช้จ่ายสูญเปล่า
ร้อยละผู้รู้สึกไม่พึงพอใจต่อความสบาย PPD (%)	12%	12%	5%
ค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้นต่อพนักงานหนึ่งคน (บาท)	ไม่เสียค่าใช้จ่าย	300 บาท	600 บาท

ภาคผนวก ง
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและความเต็มใจจ่ายของพนักงาน

ผลข้อวิเคราะห์ข้อมูลผู้บริหารและหัวหน้างาน 4 คน

Variable	Coefficient	Standard Error	|b/St.Er.	P[|Z|>z	WTP
ALFA	1556.28466	15.887573	97.956	0.0000	
BPRICE	0.37104571	0.00816401	45.449	0.0000	
BE4	36.4231834	2.28540702	15.937	0.0000	985
BE3	81.0020496	1.8031023	44.924	0.0000	1,105
BE2	126.039251	1.69149109	74.514	0.0000	1,227
BE1	85.6565057	1.52208054	56.276	0.0000	1,118
BW4	-169.482885	2.18350254	-77.62	0.0000	2,963
BW3	-292.34112	2.10712887	-138.739	0.0000	3,294
BW2	-191.065508	1.8200375	-104.979	0.0000	3,021
BW1	-277.131043	1.99464235	-138.938	0.0000	3,253
BH4	-242.396887	1.81408504	-133.619	0.0000	2,618
BH3	-260.368809	2.13983075	-121.677	0.0000	2,667
BH2	-17.6444642	1.1567769	-15.253	0.0000	2,013
BH1	-208.746691	1.95035318	-107.03	0.0000	2,528

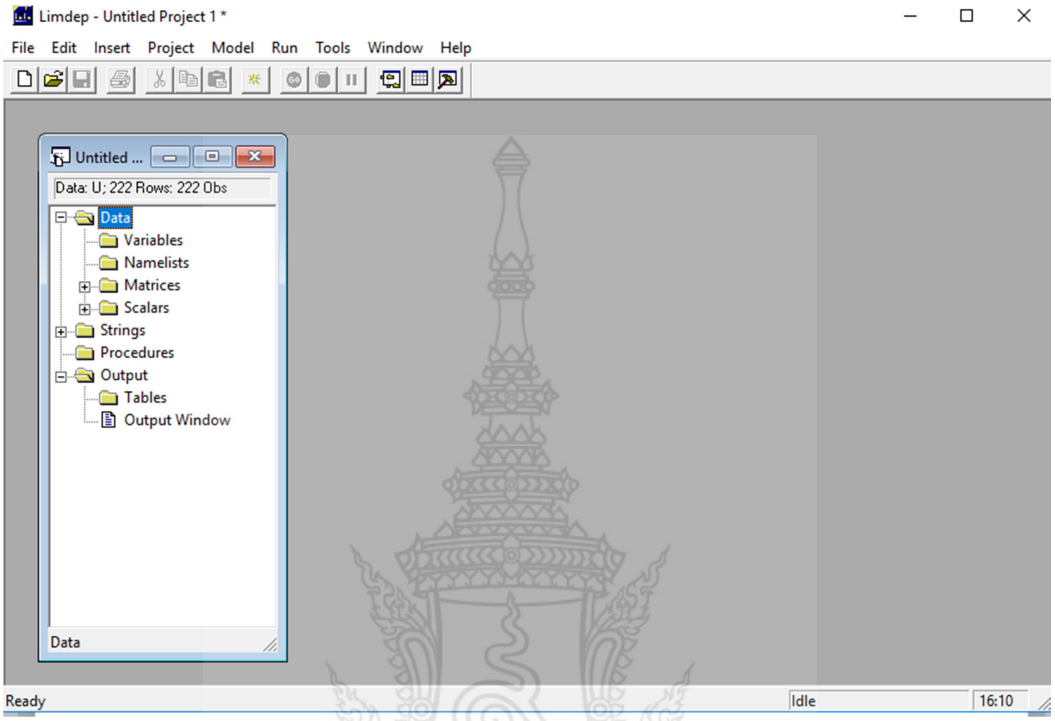
ผลข้อวิเคราะห์ข้อมูลพนักงาน 30 คน

Variable	Coefficient	Standard Error	B/St.Er.	P[|Z|>z	WTP
ALFA	-16.5167663	6.95484256	-2.375	0.0176	
BPRICE	-0.00520266	0.0018375	-2.831	0.0046	
BE4	2.39518661	1.05384117	2.273	0.023	2,044
BE3	2.69577049	0.96831339	2.784	0.0054	2,102
BE2	1.81414046	0.80083649	2.265	0.0235	1,933
BE1	1.33545828	0.73149809	1.826	0.0679	1,841
BW4	1.63021764	0.86428423	1.886	0.0593	1,725
BW3	1.89206735	0.91778964	2.062	0.0393	1,775
BW2	1.79660735	0.87002815	2.065	0.0389	1,757
BW1	2.02596177	1.01564531	1.995	0.0461	1,801
BH4	0.63336512	0.52613994	1.204	0.2287	254
BH3	0.18467179	1.03008032	0.179	0.8577	168
BH2	0.37319459	0.44952741	0.83	0.4064	204
BH1	-0.50178931	0.78870064	-0.636	0.5246	36

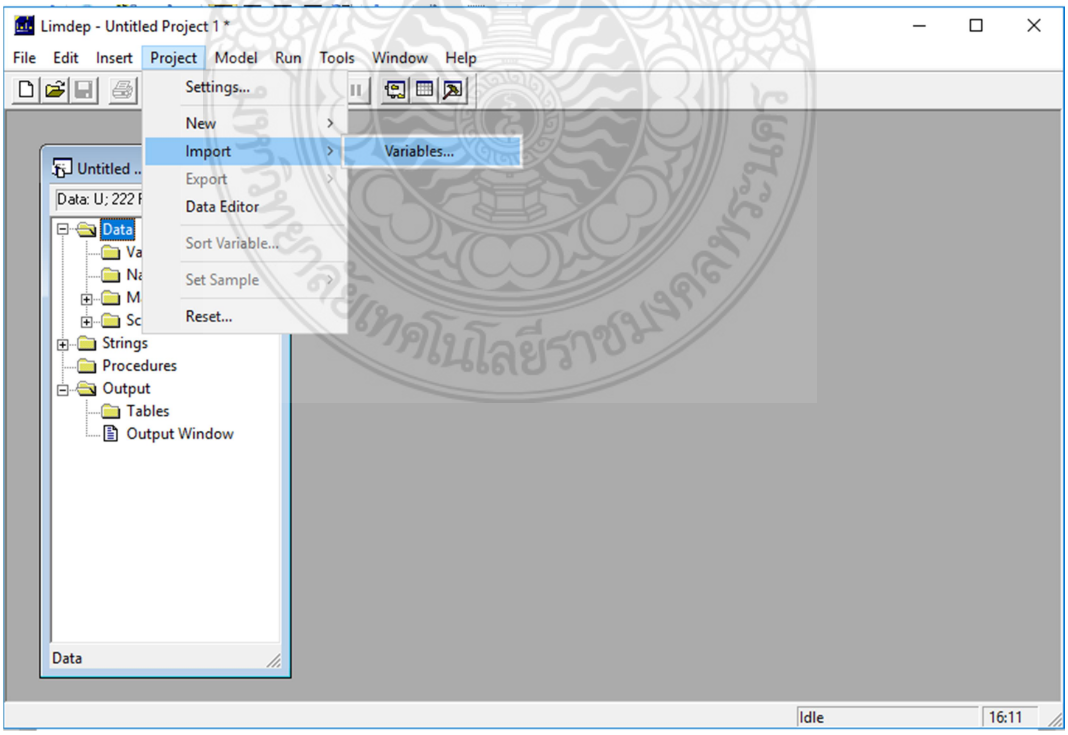
ภาคผนวก จ
ขั้นตอนการใช้โปรแกรม N-Logit

การใช้โปรแกรม N-Logit

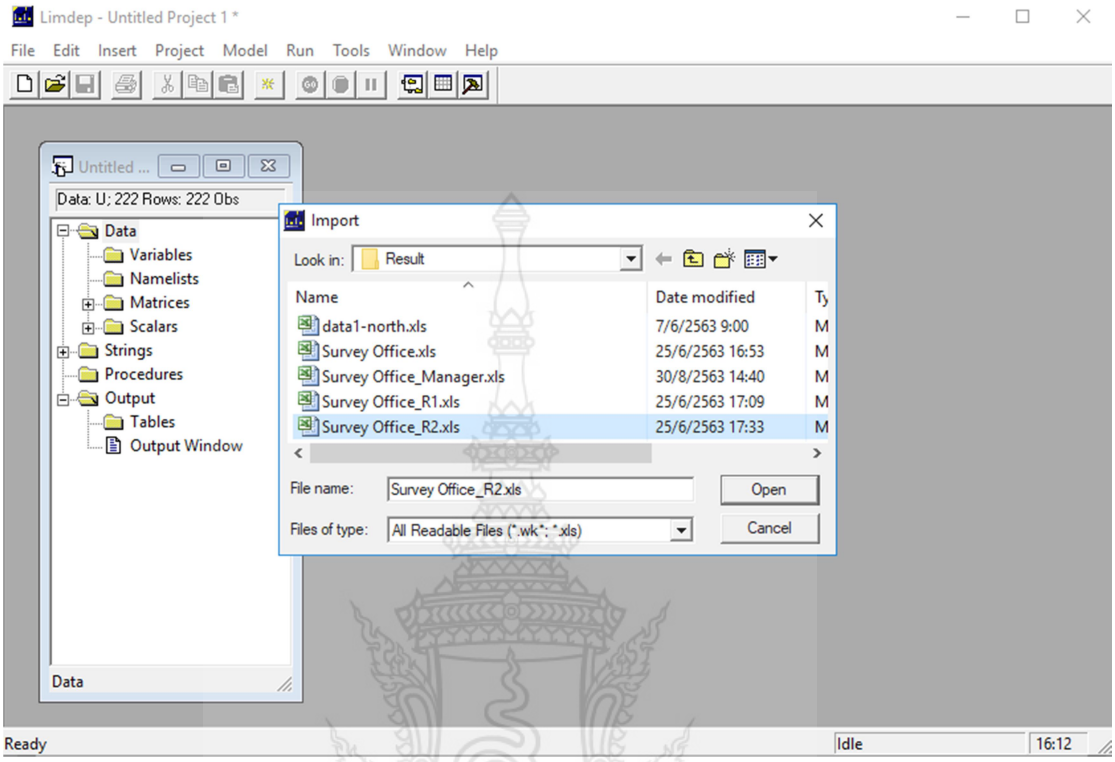
1. เปิดหน้าโปรแกรมขึ้นมา



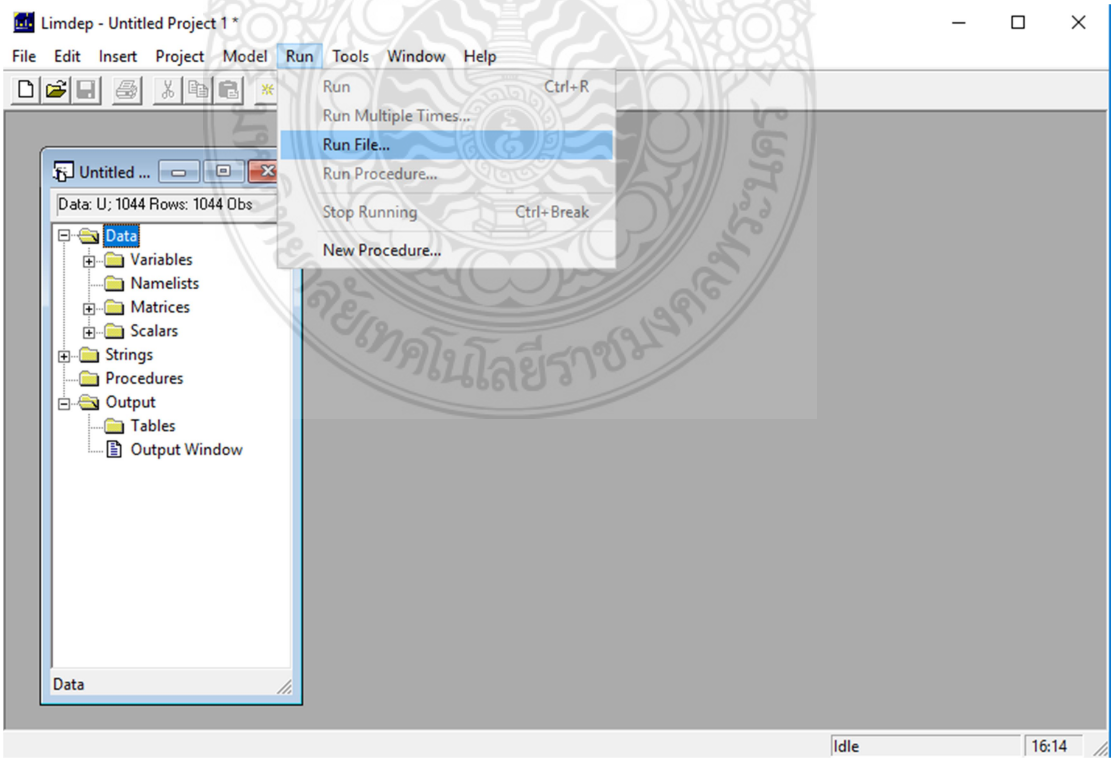
2. กดคำสั่ง Project จากนั้นเลือกไปที่ Import และกดใช้คำสั่ง Variables



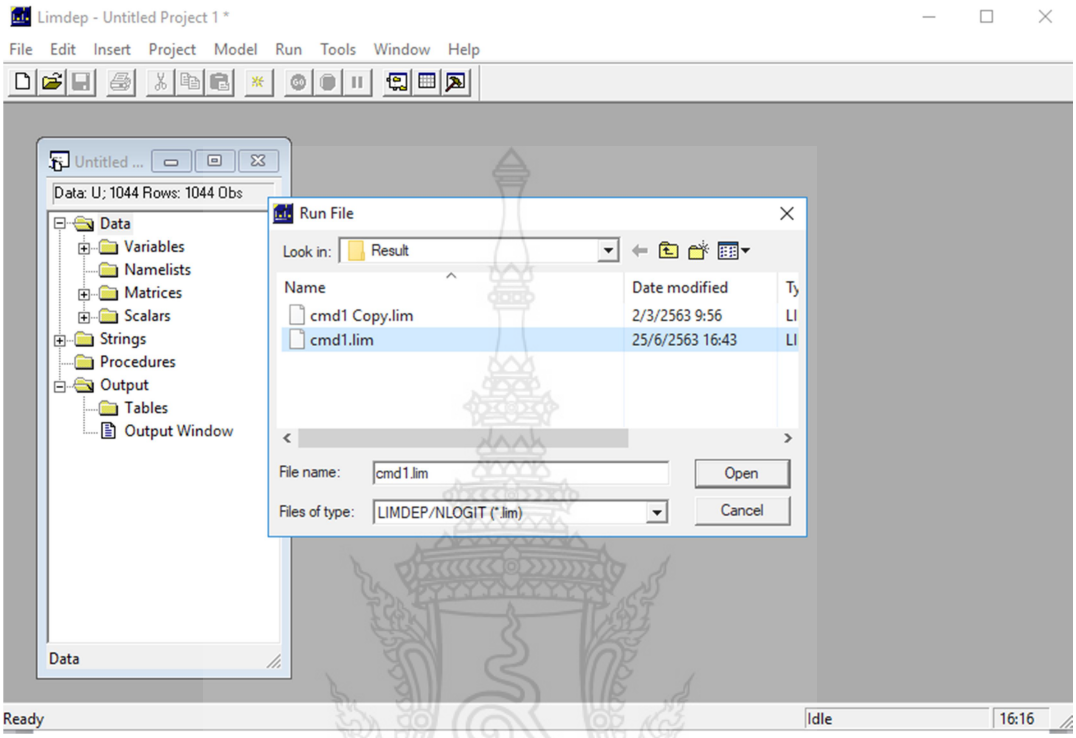
3. เลือกไฟล์ Excel ที่เก็บข้อมูลไว้



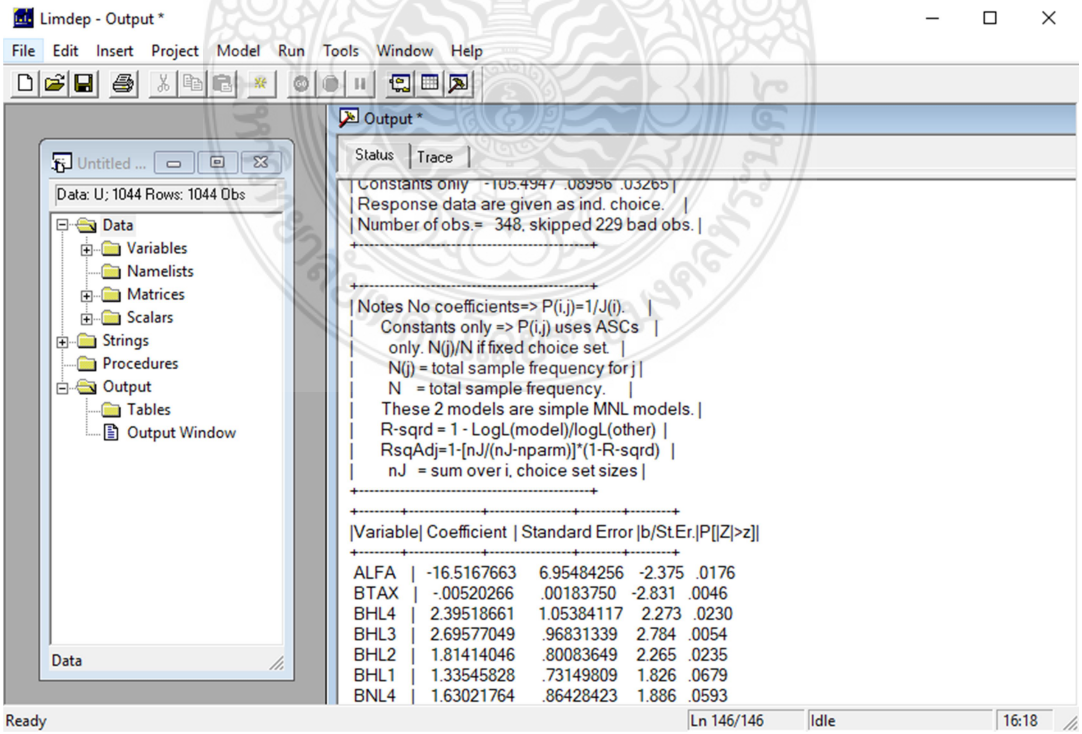
4. กดคำสั่ง Run และเลือกคำสั่ง Run File



5. เลือก Code คำสั่งไฟล์ .lim ที่เราเขียนโปรแกรมไว้



6. เมื่อกดเลือกไฟล์ .lim เสร็จ โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ผลข้อมูลให้



ภาคผนวก ฉ
บทความเข้าร่วมประชุมทางวิชาการ

การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม
นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 9 ประจำปี 2563

แนวทางการประหยัดพลังงานสำหรับอาคารสำนักงานเช่า

Strategy of Energy for Rental Office

พัฒนะ เมฆขำ[1*] , จันทิมา ริ้วลายเงิน[2]

[1] นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800
pattana-m@rmutp.ac.th

[2] อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่อง กลคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
chantima.r@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันพบว่าการประหยัดพลังงานในสำนักงานให้เช่าเป็นหนึ่งในปัจจัยในการเลือกเช่าสำนักงานของผู้ประกอบการ และมีประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 เป็นเกณฑ์ขั้นต่ำการในการใช้พลังงานในเรื่อง ค่าความหนาแน่นต่อความส่องสว่าง ประสิทธิภาพขั้นต่ำของเครื่องปรับอากาศและความการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร เป็นต้น โดยมาตรการการลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร เป็นหนึ่งในวิธีที่สามารถลดค่าการใช้พลังงานของอาคารลงได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (Overall Thermal Transfer Value: OTTV) ของอาคารสำนักงาน โดยศึกษาในพื้นที่สำนักงานเช่า โดยการรวบรวมข้อมูลวัสดุกรอบอาคารต่างๆ ได้แก่ กระจกและผนังทึบและทิศของกรอบอาคารที่มีผลกระทบต่อค่าพลังงานที่เข้ามาในอาคาร เป็นต้น ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ย OTTV เท่ากับ 92.94 W/m^2 ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยของการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านทางกรอบอาคารของอาคารที่ทำการศึกษาสูงกว่าเกณฑ์ที่กระทรวงพลังงานกำหนดไว้ ดังนั้นควรทำการปรับปรุงอาคารกรอบอาคารเพื่อลดพลังงานความร้อนที่เข้ามา โดยการติดฟิล์มที่กระจกเพื่อลดความร้อน พบว่าสามารถลดค่าเฉลี่ย OTTV ลงได้เหลือ 49.08 ซึ่งลดลงร้อยละ 47.19 และการติดมูลี่ที่กระจกเพื่อลดปริมาณความร้อนจากแสงแดดที่ พบว่าสามารถลดค่าเฉลี่ย OTTV ลงได้เหลือ 47.82 ซึ่งลดลงร้อยละ 48.54 ซึ่งผลการศึกษาที่ได้ คาดว่าจะสามารถนำไปเป็นแนวทางในการปรับปรุงอาคารสำนักงานเพื่อการประหยัดพลังงานและพัฒนาไปสู่อาคารเขียวต่อไป

คำสำคัญ : อนุรักษ์พลังงาน; ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร; อาคารสำนักงานเช่า

ABSTRACT

Presently, it is found that energy saving for rental office is one of the factors that entrepreneurs determine to rent the office. The Ministry of Energy was announced in 2009 as the minimum requirement for energy consumption in terms of density to luminance, minimum efficiency of air conditioning and heat transfer through the building envelope, etc. Reducing the heat transfer from outside into the building is one of the ways in which a building's energy consumption can be reduced. Therefore, this research aims to study the Overall Thermal Transfer Value (OTTV) of rental office. The study focused on the office space for rent and collected information on various building envelope materials, including glass and solid walls, and the direction of the building envelope that affects to the energy entering into the building, etc.

The results showed that the average of OTTV was 92.94 W/m^2, which indicated that the average of thermal transfer through the building envelope was higher than the criteria set by the Ministry of Energy.

RMUTP & TTI 9th Sustainable Industrial Management Engineering

Therefore, building envelope should be renovated in order to reduce the incoming thermal energy. By attaching a film on the glass to reduce heat, it was found that the average OTTV could be reduced to 49.08 W/m^2, which decreased 47.19% .The installing of a venetian blind on glass window to reduce amount of heat from sunlight can be reduced the average of OTTV to 47.82 W/m^2, a decrease of 48.54%. It is expected to be a guideline for renovating office buildings for energy saving and developing into green buildings in the future.

Keywords: Energy conservation; Overall Thermal Transfer Value; Rental office

1. บทนำ

ในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมา พื้นที่สำนักงานเช่าได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในแหล่งทำเลคุณภาพ เช่น ใกล้แหล่งอาหาร และการเชื่อมโยงคมนาคมที่สะดวกสบาย อาคารเหล่านี้ส่วนใหญ่อยู่ใจกลางเมืองและมีการก่อสร้างมากกว่า 20 ปี หลายหน่วยงานเมื่อทำสัญญาเช่าแล้ว จำเป็นต้องมีการปรับปรุงอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน การศึกษาค่าเฉลี่ยของการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง (Overall Thermal Transfer Value: OTTV) สามารถเป็นแนวทางในการพิจารณาปรับปรุงอาคารได้ สำหรับอาคารสำนักงานเช่า มีเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของระบบกรอบอาคารไว้โดยกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคารและมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 ดังตารางที่ 1 โดยอาคารสำนักงานเช่าค่า OTTV ควรน้อยกว่าหรือเท่ากับ 50 W/m^2

ตารางที่ 1 เกณฑ์ค่า OTTV ตามประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ.2552

ประเภทอาคาร	OTTV (W/m^2)
สำนักงาน สถานศึกษา	≤ 50
โรงมหรสพ อาคารชุมนุมชน ห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า	≤ 40
โรงพยาบาล โรงแรม อาคารชุด	≤ 30

จากการศึกษาของ ณวัลริณี สุวินิจวงษ์ [1] เกี่ยวกับความคิดเห็นของพนักงานเกี่ยวกับสำนักงานเช่าพบว่า ควรมีการจัดการพลังงานในสำนักงานเช่า เช่นระบบไฟฟ้า ระบบปรับอากาศ และระบบแสงสว่าง รวมทั้งความสะดวกสบายภายในสำนักงานเช่น เช่นลิฟต์ สวนหย่อม และสถานที่ออกกำลังกาย ศุทธา ศรีเผด็จ [2] ทำกล่าวถึงพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานฉบับพ.ศ. 2550 ซึ่งเป็นฉบับปรับปรุงจากพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร พ.ศ. 2535 ซึ่งประกอบด้วยเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของระบบหลัก คือระบบกรอบอาคาร ระบบแสงสว่างระบบการปรับอากาศและระบบการทำความร้อน โดยทุกระบบต้องผ่านเกณฑ์จึงจะปฏิบัติตามกฎหมาย แต่ถ้าระบบใดๆไม่ผ่านก็สามารถใช้วิธีการวิเคราะห์เกณฑ์ประเมินการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารโดยวิเคราะห์จากทุกระบบข้างต้นรวมกันกับการใช้พลังงานหมุนเวียนในอาคารในการลดการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารและเมื่อเกณฑ์การใช้พลังงานโดยรวมผ่านเกณฑ์อาคารนั้นก็จะปฏิบัติตามกฎหมายและถ้าไม่ผ่านต้องทำการปรับปรุงและวิเคราะห์ค่าใหม่ โดยวิธีการคำนวณให้ทำตามประกาศกระทรวงพลังงานเรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารและการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552 [3] โสพิศ ชัยชนะ [4] ศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารพลังงานของสาธารณะสุขจังหวัดพบว่าสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงร้อยละ 8.16 จากการเปลี่ยนแปลงกรอบวัสดุจากอิฐมอญฉาบปูนเรียบ หนา 10 ซม. เป็นติดตั้งฉนวน EPS หนา 35 มม. และหากติดตั้งแผ่นยิปซั่มที่ผนังทึบหนา 9 มม. สามารถลดค่า OTTV ลงร้อยละ 69.95 นอกจากนี้หากมีการเพิ่มฉนวนกันความร้อนและแผ่นยิปซัมบอร์ด ฟิล์มกรองแสง สามารถลดค่า OTTV ได้เพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 0.57 พันธุดา พุฒิไพโรจน์ [5] เปรียบเทียบการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของห้องที่ใช้ผนังคอนกรีตมวลเบาชั้นเดียวและสองชั้น ผลการศึกษาพบว่า ในช่วงเวลาระหว่าง 9.00-18.00 น. ผนังห้องที่ให้อิฐมวลเบาสองชั้นสามารถลดค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศลง 13.26% และในช่วงเวลาระหว่าง 21.00-06.00 น.ผนังห้องที่ให้อิฐมวลเบาสองชั้นสามารถลดค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศลง 9.6% กัญจนี ญาณะชัย และคณะ [6] การติดตั้งอุปกรณ์กันแสงแดด (มูลี่) สามารถลดค่า OTTV ภายในอาคารลงได้ประมาณร้อยละ 62.4 เนื่องจากมูลี่สามารถป้องกันแสงแดดที่จะเข้าสู่ภายในอาคารโดยตรง ส่งต่ออุณหภูมิที่จะเข้าภายในอาคารลดลง

RMUTP Research Journal : Industrial Management Engineering

ทั้งนี้อาคารสำนักงานเช่าอาจจะไม่สามารถปรับปรุงกรอบอาคารได้มากนัก เนื่องจากข้อจำกัดด้านสัญญา และข้อกฎหมายเกี่ยวกับการปรับปรุงอาคาร แต่ระบบภายใน เช่น ระบบปรับอากาศสามารถปรับปรุงได้ โดยเฉพาะอาคารที่ใช้งานมานาน การปรับอุณหภูมิมาจากพื้นที่ส่วนกลาง บางครั้งส่งผลต่อผู้ใช้งานที่รู้สึกไม่สบายคืออากาศที่เย็นเกินไปหรืออากาศที่ร้อนเกินไป ซึ่งมาจากหลายปัจจัย ไม่ใช่เฉพาะอุณหภูมิของระบบปรับอากาศ ตามที่ระบุในมาตรฐาน ASHRAE 55 [7] ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม กิจกรรมที่ทำ อุณหภูมิจากการแผ่รังสีและเสื้อผ้าที่สวมใส่ ซึ่งตัวแปรทุกตัวมีความสัมพันธ์กันกับสภาวะความสบาย ดังนั้นหากจะมีการปรับปรุงพื้นที่ให้เป็นไปตามมาตรฐานกระทรวงพลังงาน จำเป็นต้องทราบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของพื้นที่สำนักงานเช่า เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน และสามารถเป็นแนวทางพัฒนาสู่อาคารอนุรักษ์พลังงานและรักษาสิ่งแวดล้อม (Leadership in Energy and Environmental Design: LEED) ได้ต่อไป ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารสำนักงานเช่าและเพื่อหามาตรการการจัดการพลังงานของอาคารสำนักงานเช่า

2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารนั้นประกอบด้วยการหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารและค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารโดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณความร้อน ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของอากาศภายนอกและปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคาร หลักการในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมนี้ อาศัยทฤษฎีของการถ่ายเทความร้อน พบว่าความร้อนที่ผ่านกรอบอาคารเข้าสู่ภายในบริเวณอาคารนั้น ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

1. ความร้อนจากการนำความร้อนผ่านผนังทึบ
2. ความร้อนจากการนำความร้อนผ่านกระจก
3. ความร้อนจากการแผ่รังสีอาทิตย์ผ่านกระจก

เมื่อนำความร้อนทั้ง 3 ส่วน มาเฉลี่ยค่าตามพื้นที่จะได้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมโดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน ($OTTV_i$) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (1)

$$OTTV_i = \frac{(A_w \times U_w \times T_{eq}) + (A_f \times U_f \times \Delta T) + (A_f \times SC \times ESR \times SHGC)}{A_i} \quad (1)$$

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกทั้งหมดของอาคาร (OTTV) คือค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักแล้วของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน ($OTTV_i$) คำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$OTTV = \frac{\sum (OTTV_i \times A_i)}{\sum A_i} \quad (2)$$

จากสมการที่ (1) สามารถเขียนอยู่ในรูปของอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา (WWR) ได้ดังสมการที่ (3)

$$OTTV_i = (U_w)(1 - WWR)(T_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (3)$$

โดยที่

U_w คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมรวมผ่านผนังทึบ ($W/m^2 \cdot °C$)

U_f คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมรวมผ่านผนังกระจก($W/m^2 \cdot °C$)

T_{eq} คือ ผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างอุณหภูมิภายในพื้นที่และอุณหภูมิภายนอก (°C)

ΔT คือ ผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างอุณหภูมิภายในพื้นที่และอุณหภูมิภายนอก (°C)

A_w คือ พื้นที่ผนังทึบ (m^2)

A_f คือ พื้นที่กระจก (m^2)

A_i คือ พื้นที่รวมผนังและกระจก (m^2)

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient)

$SHGC$ คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจก

ESR คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสงหรือผนังทึบ(W/m^2)

WWR คือ อัตราส่วนผนังต่อกระจก (Window to Wall Ratio)

3. วิธีวิจัย

3.1 ศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ OTTV และการอนุรักษ์พลังงาน

3.2 รวบรวมข้อมูลที่ตั้งและสภาพแวดล้อมโดยรอบพื้นที่ที่ทำการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 1 โดยอาคารสำนักงานพิกัดอยู่ในละติจูด 13° 43’ 26” เหนือ ลองติจูด 100° 32’ 28” ตะวันออก เขตสาทร จ. กรุงเทพมหานครมีขนาดพื้นที่ 16x14 m^2 สูง 2.7 m ชั้นที่ทำการศึกษาคือชั้นที่12 ของอาคารสำนักงานจำนวน 37 ชั้นพื้นที่ใช้สอย 35,000 m^2 ประกอบด้วยห้องประชุม ห้องเก็บเอกสาร ห้องเตรียมอาหาร

RMUTP x TIIE Thailand Industrial Management Engineering

พื้นที่สำนักงาน ห้องทำงานหัวหน้า ห้องเครื่อง AHU และห้องน้ำ

รูปที่ 1 พื้นที่การใช้สอยของอาคารสำนักงานเช่าที่ทำการศึกษา

3.3 รวบรวมข้อมูลวัสดุกรอบอาคารทั้งผนังทึบและกระจก โดยการศึกษาครั้งนี้พิจารณาทั้งหมด 3 ด้าน คือทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ (South East : SE) ทิศใต้ (South: S) และทิศตะวันตกเฉียงใต้ (South West : SW) เนื่องจากด้านอื่นไม่ติดกับอากาศภายนอกโดยห้องหรือพื้นที่พิจารณาประกอบด้วย ห้องทำงานหัวหน้า พื้นที่ทำงานและห้องเก็บเอกสาร โดยห้องน้ำไม่นำมาพิจารณาเนื่องจากเป็นพื้นที่ไม่ปรับอากาศถึงแม้จะติดกรอบอาคารก็ตาม โดยพื้นที่ส่วนอื่นๆ ไม่พิจารณาเนื่องจากอยู่ตรงกลางและไม่ถูกความร้อนถ่ายเทจากแสงอาทิตย์มากระทบข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 2

3.4 คำนวณค่า OTTV ของพื้นที่ที่ทำการศึกษา

3.5 หาแนวทางและวิธีการในการปรับปรุงอาคารเพื่อลดพลังงานความร้อนที่เข้ามาภายอาคาร

ตารางที่ 2 ข้อมูลพื้นที่วัสดุกรอบอาคาร (หน่วย: m^2)

รายการวัสดุ/ทิศ	SE	S	SW
ข้อมูลวัสดุของผนังทึบ			
ฟิล์มอากาศภายนอก	15	1.1	9
ปูนฉาบด้านนอก	15	1.1	9
คอนกรีตบล็อค 80 mm. จำนวน 2 ชั้น	15	1.1	9
ปูนฉาบด้านใน	15	1.1	9
ฟิล์มอากาศภายใน	15	1.1	9
ข้อมูลวัสดุของผนังผนังโปร่งแสง			
ฟิล์มอากาศภายนอก	22.5	1.65	13.5
กระจกลามิเนต หนา 13.52 mm.	22.5	1.65	13.5
ฟิล์มอากาศภายใน	22.5	1.65	13.5

4. ผลการวิจัย (Results)

4.1 ผลการคำนวณ OTTV ของอาคารสำนักงานเช่า

ค่า OTTV รวมของอาคารสำนักงานเช่าที่สภาวะปัจจุบันโดยมวัสดุผนังทึบและกระจกมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 ข้อมูลวัสดุของผนังทึบ

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ความหนาแน่น (kg/m^3)	k ($W/m•^\circ C$)	C_p ($kJ/kg•^\circ C$)	R ($m^2•^\circ C/W$)	DSH ($kJ/m^2•^\circ C$)
1	ฟิล์มอากาศภายนอก	-	-	-		0.0440	-
2	ปูนฉาบ	10.0	1,860	0.720	0.840	0.0138	15.624
3	คอนกรีตบล็อคกลวง 80 mm สองชั้น	160.0	2,110	0.546	0.920	0.2930	310.592
4	ปูนฉาบ	10.0	1,860	0.720	0.840	0.0138	15.624
5	ฟิล์มอากาศภายใน	-	-	-	-	0.1200	-

โดยที่

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (W/m.°C)

C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ (kJ/kg•°C)

R คือ ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังอาคาร ((m.°C)/W)

DSH คือ ผลคูณของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของวัสดุ (kJ/ m.°C)

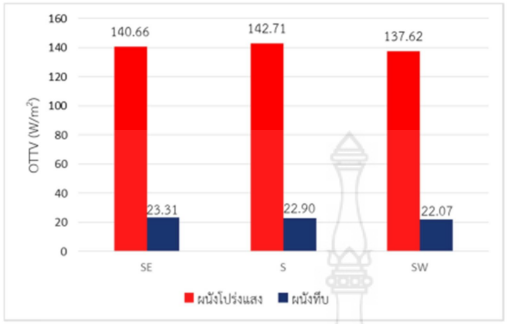
C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ (kJ/kg•°C)

ตารางที่ 4 ข้อมูลวัสดุของผนังโปร่งแสงก่อนปรับปรุง

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ความหนาแน่น (kg/m^3)	k ($W/m•^\circ C$)	R ($m^2•^\circ C/W$)	SHGC
1	ฟิล์มอากาศภายนอก	-	-	-	0.044	
2	กระจกลามิเนตติดฟิล์ม	13.52	2,500	0.073008	0.185	0.48
3	ฟิล์มอากาศภายใน	-	-	-	0.12	

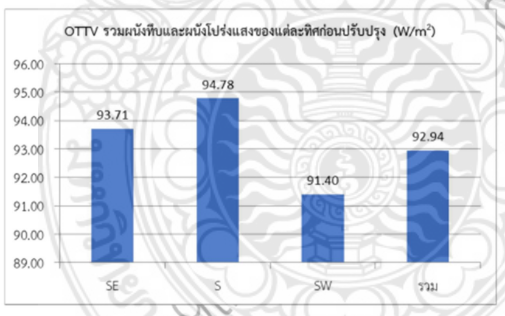
พบว่าค่า OTTV ทิศตะวันออกเฉียงใต้ของผนังทึบมีค่า 23.31 W/m^2 และของวัสดุโปร่งแสงอยู่ที่ 140.66 W/m^2 ส่วน ทิศใต้ของผนังทึบมีค่า 22.90 W/m^2และของวัสดุโปร่งแสงอยู่ที่ 142.71 W/m^2 และทิศตะวันตกเฉียงใต้ของผนังทึบมีค่า 22.07 W/m^2 และของวัสดุโปร่งแสงอยู่ที่ 137.62 W/m^2 ตามที่แสดงในรูปที่ 2 และเมื่อทำการคำนวณค่า OTTV รวมจากสมการที่ (2) พบว่ามีค่า OTTV รวมอยู่ที่ 92.94 W/m^2จะเห็นได้ว่าค่าพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทส่วนใหญ่มาจากทางผนังโปร่งแสง ซึ่งมีค่าเฉลี่ย OTTV ของทุกทิศสูงกว่าผนังทึบประมาณ 6 เท่า โดยถ้าต้องการลดค่า OTTV รวมของอาคารจึงต้องหามาตรการลดค่า OTTV ของผนังโปร่งแสงจะทำให้ลดค่า OTTV รวมของอาคารได้มาก

RMUTP Faculty of Industrial Management Engineering



รูปที่ 2 ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสงและผนังทึบของแต่ละด้านก่อนปรับปรุง

เมื่อเปรียบเทียบผลค่า OTTV โดยดูจากทิศจะพบว่าค่า OTTV รวมของผนังในทิศตะวันออกเฉียงใต้อยู่ที่ 93.71 W/m^2ของผนังในทิศใต้อยู่ที่ 94.78 W/m^2และของผนังในทิศตะวันตกเฉียงใต้อยู่ที่ 91.40 W/m^2 และคำนวณค่า OTTV รวมได้ 92.94 W/m^2 ดังที่แสดงในรูปที่ 3 โดยพบว่าค่า OTTV รวมของแต่ละด้านมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากพื้นที่กรอบอาคารที่ทำการศึกษาไม่เยอะและอัตราส่วนผนังต่อกระจก (Window to Wall Ratio) มีค่าไม่แตกต่างกันมาก



รูปที่ 3 ค่า OTTV ของแต่ละด้านก่อนปรับปรุง

4.2 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานภายในอาคารสำนักงานเช่า โดยจากผลการศึกษา OTTV พบว่ามีค่าเกินกว่ามาตรฐานมาตรการในปรับปรุงกรอบอาคารอาคารโดยการติดฟิล์มที่กระจกเพื่อลดความร้อนเพื่อให้ค่า SHGC กระจกลดลงเหลือ 0.20 โดยไม่เปลี่ยนแปลงโดยวัสดุโปร่งแสง โดยเมื่อทำการติดฟิล์มที่กระจก จะทำให้คุณสมบัติการกระจกเป็นไปตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อมูลวัสดุของผนังโปร่งแสงติดฟิล์มกระจก

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ความหนาแน่น (kg/m^3)	k ($W/m•^oC$)	R ($m^2•^oC/W$)	SHGC
1	ฟิล์มอากาศภายนอก	-	-	-	0.044	
2	กระจกลามิเนตติดฟิล์ม	13.52	2,500	0.073008	0.185	0.23
3	ฟิล์มอากาศภายใน	-	-	-	0.12	

โดยที่

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (W/m.°C)

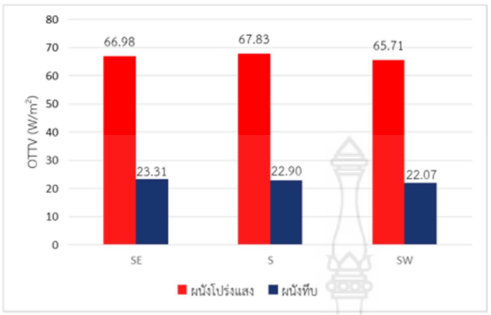
R คือ ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังอาคาร ((m.°C)/W)

SHGC คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (solar heat gain coefficient)

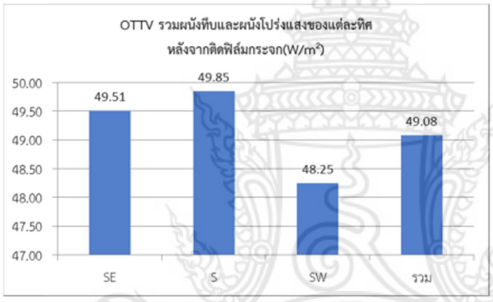
ผลการศึกษาพบว่า OTTV ของผนังทึบทิศตะวันออกเฉียงใต้มีค่า 23.31 W/m^2 และของวัสดุโปร่งแสงอยู่ที่ 66.98 W/m^2 ส่วนทิศใต้ของผนังทึบมีค่า 22.90 W/m^2 และของวัสดุโปร่งแสงอยู่ที่ 67.83 W/m^2 และทิศตะวันตกเฉียงใต้ผนังทึบมีค่า 22.07W/m^2 และของวัสดุโปร่งแสงอยู่ที่ 65.71 W/m^2 ตามที่แสดงในรูปที่ 4 และเมื่อทำการคำนวณค่า OTTV รวมจากสมการที่ (2) พบว่ามีค่า OTTV รวมอยู่ที่ 49.08 W/m^2ซึ่งมีค่าผ่านตามเกณฑ์ของประกาศกระทรวงพลังงาน คือมีค่า OTTV ไม่เกิน 50 W/m^2 อยู่ในเกณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 5

และเมื่อทำการปรับปรุงกรอบอาคารอาคารโดยการติดมู่ลี่ที่กระจกเพื่อลดความร้อนผ่านกระจกโดยให้มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (shading coefficient, SC) อยู่ที่ 0.4 โดยไม่เปลี่ยนแปลงโดยวัสดุโปร่งแสง ผลการศึกษาพบว่า OTTV ของผนังทึบทิศตะวันออกเฉียงใต้มีค่า 23.31 W/m^2 และของวัสดุโปร่งแสงอยู่ที่ 64.87 W/m^2 ส่วน ทิศใต้ของผนังทึบมีค่า 22.90 W/m^2 และของวัสดุโปร่งแสงอยู่ที่ 65.69 W/m^2 และทิศตะวันตกเฉียงใต้ของผนังทึบมีค่า 22.07W/m^2 และของวัสดุโปร่งแสงอยู่ที่ 63.66 W/m^2 ตามที่แสดงในรูปที่ 6 และเมื่อทำการคำนวณค่า OTTV รวมจากสมการที่ (2) พบว่ามีค่า OTTV รวมอยู่ที่ 47.82 W/m^2 ซึ่งมีค่าผ่านตามเกณฑ์ของประกาศกระทรวงพลังงาน คือมีค่า OTTV ไม่เกิน 50 W/m^2 อยู่ในเกณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 7

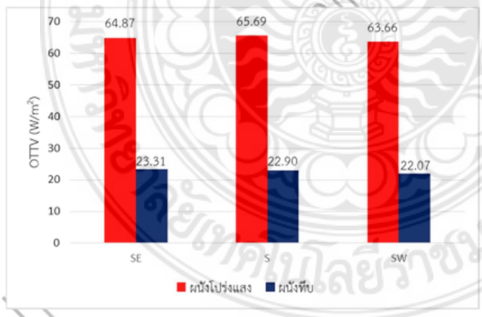
RMUTP & ITPI Journal Management Engineering



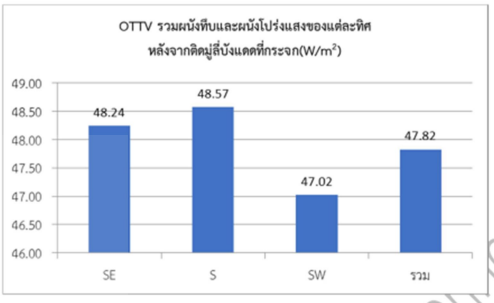
รูปที่ 4 ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสงและผนังทึบของแต่ละด้านจากการติดฟิล์มกระจก



รูปที่ 5 ผลการคำนวณค่า OTTV ใหม่จากการติดฟิล์มกระจก



รูปที่ 6 ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสงและผนังทึบของแต่ละด้านจากการติดมู่ลี่



รูปที่ 7 ผลการคำนวณค่า OTTV ใหม่จากการติดมู่ลี่

6. อภิปรายผล (Discussion)

จากผลการศึกษาค่าถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารอาคารสำนักงานที่ทำการศึกษาพบว่าปัจจุบันค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) มีค่า 92.94 W/m^2 ซึ่งมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงพลังงานประเภทอาคารสำนักงานที่กำหนดไว้ที่ 50 W/m^2 โดย OTTV ของผนังทึบมีค่าเฉลี่ย 22.76W/m^2 และของผนังโปร่งแสงมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 144.33 W/m^2 โดยค่า OTTV รวมสูงกว่า 50 W/m^2 จะเห็นได้ว่าถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารอาคารส่วนใหญ่มาจากการถ่ายเทผ่านผนังโปร่งแสง และเมื่อได้ทำการปรับปรุงกรอบอาคารในส่วนผนังโปร่งแสงโดยการติดฟิล์มกระจกทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมลดลงเหลือ 49.08 W/m^2 โดยการติดฟิล์มกระจกสามารถลดพลังงานความร้อนรวมที่เข้ามาทางกรอบอาคารได้ร้อยละ 47.19 และการติดมู่ลี่เพื่อให้ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดมีค่า 0.4 ทำให้ค่า OTTV รวมลดลงเหลือ 47.82 W/m^2 คิดเป็นการลดพลังงานความร้อนรวมที่เข้ามาทางกรอบอาคารได้ร้อยละ 48.54 ซึ่งทำให้ผ่านตามเกณฑ์ที่ประกาศกระทรวงพลังงานกำหนด นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังไม่ได้พิจารณาถึงความสภาวะความสบายที่เพิ่มขึ้นและค่าความเต็มใจจะจ่ายของพนักงานที่ต้องจ่ายเพื่อการลงทุน

7. สรุปผล (Conclusion)

การติดฟิล์มที่กระจกหรือการติดมู่ลี่สามารถช่วยลดค่าพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาในอาคารเพื่อเป็นการลดการใช้พลังงานในการปรับอากาศของอาคารได้ โดยการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดพลังงานความร้อนสามารถทำได้โดยการปรับปรุงคุณสมบัติของผนังทึบและวัสดุโปร่งแสง โดยการปรับปรุงที่วัสดุโปร่งแสงจะช่วยให้ค่าพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาในอาคารลดลงได้มากกว่าผนังทึบเนื่องจากมีการถ่ายเทความร้อนจากการนำความร้อนจากผลต่างของอุณหภูมิและการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ผ่านผนังโปร่งแสง

โดยผนังทึบมีการถ่ายเทความร้อนจากการนำความร้อนจากผลต่างของอุณหภูมิเท่านั้น

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไปควรนำเรื่องความสบายของผู้อยู่อาศัยมาพิจารณาร่วมกับการคำนวณถึงค่าความเต็มใจที่จะจ่ายของพนักงานเพื่อทำการปรับปรุงพื้นที่สำนักงานเช่า

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ณวัลริณี สุวินิจวงษ์, ความต้องการและความคาดหวังจากการจัดการอาคารของผู้เช่าอาคารสำนักงาน. วารสารอิเล็กทรอนิกส์ สาระศาสตร์, ฉบับที่ 2/2562 เดือน กรกฎาคม 2562.

[2] รศ.ศุทธา ศรีเผด็จ, กฎหมายอนุรักษ์พลังงานในอาคารฉบับใหม่. วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สจล, ปีที่ 6 ฉบับที่ 12 เดือน กรกฎาคม 2554.

[3] ประกาศกระทรวงพลังงาน, เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารและการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆของอาคาร พ.ศ. 2552, 2552.

[4] โสพิศ ชัยชนะ, แนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเพื่อประหยัดพลังงาน. วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร, ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม – เมษายน 2559.

[5] พันธุดา พุฒิไพโรจน์, การศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการปรับอากาศระหว่างผนังคอนกรีตมวลเบาชั้นเดียวและสองชั้น.วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร, ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 เดือน กรกฎาคม 2553.

[6] กัญจนี ญาณะชัย, ธีรวุฒิ คูหาเปรมะ, พวงมุกดา วายุภักตร์, การศึกษาการลดภาระความร้อนจากอุปกรณ์กันแดดภายนอกอาคารในพื้นที่หน้าต่างกระจกเพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้า : กรณีศึกษาห้องสมุดชั้นสอง อาคารสันทนาการ สถาบันมะเร็งแห่งชาติ). วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี), ปีที่1 ฉบับที่ 2 กรกรฎาคม – ธันวาคม 2552.

[7] American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers. ASHRAE Standard 55 :Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, 2017.

RMUTP & FTI 9th Sustainable Industrial Management Engineering

The National Environmental Conference 2020
การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมระดับชาติ ปี 2563

ความเต็มใจจ่ายของการใช้ระบบปรับอากาศในสำนักงานเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสภาวะความสบาย

จันทิมา ริ้วลายเงิน[1] พัฒนะ เมฆขำ[2*]

[1]อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร 10800
[2]นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร 10800

(*Corresponding author, e-mail: pattana-m@rmutp.ac.th)

บทคัดย่อ

ปัจจุบันพื้นที่สำนักงานเช่าได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในแหล่งทำเลคุณภาพ เช่น ใกล้แหล่งอาหาร และการเชื่อมโยงคมนาคมที่สะดวกสบาย การใช้อาคารโดยทั่วไป 8-10 ชั่วโมงต่อวัน จำเป็นต้องมีการปรับปรุงอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงานและความสบายของพนักงาน ปริมาณการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร (Overall Thermal Transfer Value : OTTV) สามารถทราบค่าถ่ายเทความร้อนรวมจากการศึกษาอาคารสำนักงานเช่าแห่งหนึ่งที่อยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร ในชั้นที่ 12 ขนาดพื้นที่ใช้สอย 224 ตารางเมตร พบว่ามีค่า OTTV เท่ากับ 93 W/m^2 ตามประกาศกระทรวงพลังงานกำหนดค่า OTTV ของอาคารสำนักงานควรน้อยกว่า 50 W/m^2 สำหรับอาคารสำนักงาน การลดค่า OTTV ควรมีมาตรการดังนี้ เพิ่มความหนากระจกพบว่าค่า OTTV ลดลงร้อยละ 1.3 และเมื่อติดฟิล์มกระจกค่า OTTV ลดลงร้อยละ 47.2 และการติดมู่ลี่บังแดดพบว่าค่า OTTV ลดลงร้อยละ 48.5 การปรับปรุงอาคารจำเป็นต้องใช้เงินลงทุน

การวิเคราะห์องค์ประกอบร่วม (Conjoint Analysis) คือการใช้องค์ประกอบหลายแนวทางเพื่อเลือกความเต็มใจจ่ายในแต่ละทางเลือก โดยพบว่ามี 3 มาตรการที่สามารถลดการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานเช่าได้คือ (1) มาตรการการอนุรักษ์พลังงาน (2) การใช้ทรัพยากรอย่างเหมาะสม (3) การเพิ่มสภาวะความสบาย โดยกำหนดค่าความเต็มใจจ่ายสูงสุดอยู่ที่ 600 บาทต่อคนต่อปี จากผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 30 คน พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามมีค่าความเต็มใจจ่ายรวม 39,090 บาท โดยเป็นมาตรการที่ (1), (2) และ (3) เท่ากับ 19,935.90, 17,590.50 และ 1,563.60 บาท/ปี ตามลำดับ โดยเก็บจากกองทุนสวัสดิการของพนักงานในองค์กร พบว่ามาตรการที่ (1) นำเงินไปติดมู่ลี่สามารถลดค่า OTTV ได้ 47.8 W/m^2 ส่วนมาตรการที่ (2) เงินลงทุน 18,000 บาท นำไปปรับปรุงเป็นเงินกลับคืนสู่องค์กรได้เฉลี่ยปีละ 5,400 บาท และมาตรการสุดท้ายสามารถทำให้พนักงานในองค์กรรู้สึกสบายเพิ่มขึ้นจากการปรับปรุงอาคาร เช่น การติดพัดลมตั้งโต๊ะขนาดเล็ก ซึ่งผลจากการศึกษาดังกล่าวคาดว่าจะสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงอาคารสำนักงานเช่าได้ในอนาคต

คำสำคัญ :

สภาวะความสบาย ค่าความเต็มใจจะจ่าย การวิเคราะห์องค์ประกอบร่วม

บทนำ

ในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมา พื้นที่สำนักงานเช่าได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในแหล่งทำเลคุณภาพ เช่น ใกล้แหล่งอาหารและการเชื่อมโยงคมนาคมที่สะดวกสบาย อาคารเหล่านี้ส่วนใหญ่อยู่ใจกลางเมืองและมีการก่อสร้างมากกว่า 20 ปี หลายหน่วยงานเมื่อทำสัญญาเช่าแล้ว จำเป็นต้องมีการปรับปรุงอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและความสบายของพนักงาน เนื่องจากพลังงานส่วนใหญ่ของอาคารอยู่ที่ระบบปรับอากาศ ระบบปรับอากาศเป็นหนึ่งระบบที่สำนักงานเช่าส่วนใหญ่นิยมปรับปรุง เนื่องจากปัญหาเช่น เครื่องปรับอากาศระบบเดิมมีความล้าสมัย หรืออาคารดังกล่าวใช้ระบบท่อส่งลมเย็น (Air Handling Unit: AHU) ซึ่งมีเวลาในการเปิด – ปิด ที่ชัดเจน ซึ่งไม่สอดคล้องกับการทำงานของพนักงาน และนอกจากนี้ระบบดังกล่าวในอาคารเหล่านั้นการติดตั้งเริ่มตั้งแต่ก่อสร้างอาคาร ประสิทธิภาพการทำความเย็นลดลง บวกกับปัจจุบัน การติดต่อสื่อสารกับลูกค้าภาพลักษณ์ในมุมด้านบุคลิกภาพของพนักงานต้องเด่นชัด จากการสำรวจของ BLT [1] พบว่าคนกรุงเทพฯ มีค่าเฉลี่ยชั่วโมงการทำงานสูงเป็นอันดับ 5 ของโลก เฉลี่ย 40-44 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ หรือสัปดาห์ละ 5 วัน ตั้งแต่วันจันทร์ – วันศุกร์ เฉลี่ยวันละ 8 ชั่วโมง หมายความว่าภายในสำนักงานต้องมีระบบปรับอากาศเพื่อทำให้พนักงานที่ต้องใช้เวลาส่วนใหญ่อยู่ในสำนักงานเกิดสภาวะความสบายและทำให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานที่ดี พบว่าการปรับอากาศเพื่อความสบาย (Comfort air conditioning) คือการปรับสภาวะอากาศสำหรับให้ผู้ที่อาศัยในพื้นที่นั้นๆ รู้สึกสบาย โดยสภาวะสบายอาจขึ้นกับหลายปัจจัยที่นอกเหนือจากอุณหภูมิและความชื้น ได้แก่ การสวมเสื้อผ้า กิจกรรมในบริเวณนั้น ความเร็วลม การเผาผลาญพลังงานของแต่ละคน วัย และเพศ เป็นต้น ขึ้นอยู่กับความเร็วลมและเสื้อผ้าที่สวมใส่ [2] ทั้งนี้สำนักงานส่วนใหญ่ที่ติดตั้งระบบปรับอากาศขนาดใหญ่พบว่าอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่ทำให้รู้สึกไม่สบาย เช่น รู้สึกร้อนเกินไป จำเป็นต้องให้ผู้เช่าติดเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพิ่ม และกำหนดระยะเวลาเปิดปิดเอง ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานที่มากขึ้น

การใช้พลังงานในภาคอาคารพบว่าสามารถแบ่งสัดส่วนการใช้พลังงานเป็นของระบบปรับอากาศ 65% ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 25% และระบบอื่นๆ 10% [3] จะเห็นได้ว่าระบบปรับอากาศเป็นระบบที่ใช้พลังงานสูงที่สุดในอาคาร โดยคิดเป็นร้อยละ 65 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด ทำให้มาตรการในการการประหยัดพลังงานในอาคารส่วนใหญ่จึงมุ่งเน้นไปที่การลดใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ จำเป็นต้องมีการปรับปรุงกรอบอาคารอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน

โดยการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง (Overall Thermal Transfer Value: OTTV) สามารถเป็นแนวทางในการพิจารณาปรับปรุงอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศได้ สำหรับอาคารสำนักงานมีเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของระบบกรอบอาคารไว้ โดยกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคารและมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 [4] ดังตารางที่ 1 สำหรับอาคารสำนักงานเช่าค่า OTTV ควรน้อยกว่าหรือเท่ากับ 50 W/m^2

ตารางที่ 1 เกณฑ์ OTTV ในแต่ละประเภท [4]

ประเภทอาคาร	OTTV (W/m^2)
สำนักงาน สถานศึกษา	≤50
โรงมหรสพ อาคารชุมนุมชน ห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า	≤40
โรงพยาบาล โรงแรม อาคารชุด	≤30

ความสบายของผู้อยู่อาศัยในสำนักงานเป็นสิ่งสำคัญ พบว่ามีหลายปัจจัยที่ส่งผลถึงสภาวะความสบายของคนที่นอกเหนือจากอุณหภูมิและความชื้น เช่น ความเร็วลมโดยใช้พัดลมขนาดเล็กเพื่อเพิ่มความเร็วลมภายในห้องที่ปรับอากาศในอุณหภูมิที่ตั้งไว้ต่างๆ ช่วยให้เกิดความสบายของผู้อยู่อาศัยและช่วยให้ประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศอีกด้วย [5] โดยการยอมรับได้ของอุณหภูมิในห้องที่สูงขึ้นจากการปรับตั้งเครื่องปรับอากาศสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการเพิ่มความเร็วลมเพื่อชดเชยอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยอุณหภูมิของ

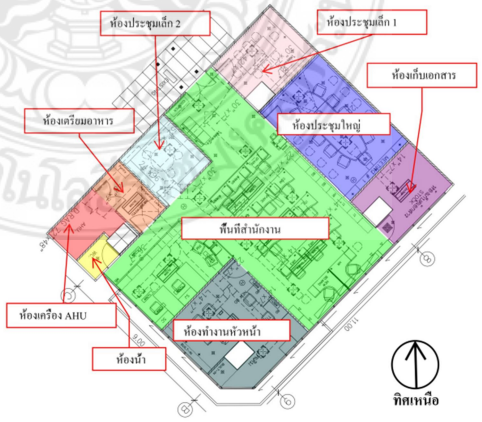
อากาศที่ยอมรับได้อยู่ในช่วง 26±0.5–28±0.5 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.5-0.9 เมตรต่อวินาที [6] และเมื่อมีการเปิดพัดลมระบายอากาศจะทำให้อากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูงไหลเข้ามาในพื้นที่ ส่งผลให้ในพื้นที่มีความชื้นสูงทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกไม่สบายตัว [7] โดยขึ้นอยู่กับแต่ละบคคล

ในด้านสุขภาพพบว่าคุณภาพอากาศที่ดีช่วยลดการเกิดการเกิดโรคเจ็บป่วยจากการอยู่ในอาคาร (Sick building syndrome) ได้สูงสุดถึงร้อยละ 50 และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพจากการทำงานได้ [8] ซึ่งในการปรับปรุงเพื่อลดการใช้พลังงาน ประหยัดทรัพยากร และเพื่อสุขภาวะที่ดีของผู้ทำงานในสำนักงาน จำเป็นต้องมีการลงทุนเพื่อการปรับปรุงทั้งสิ้น โดยที่การเต็มใจที่จะจ่ายมากหรือน้อยในสำนักงานให้เช่าเพื่อที่ให้เป็นอาคารประหยัดพลังงานที่มากหรือน้อยนั้น มีความแตกต่างกันไม่มากเนื่องจากผู้ที่เช่าสำนักงานต้องการผลประโยชน์ทางธุรกิจมากกว่าผลประโยชน์ส่วนรวม [9]

การปรับปรุงอาคารที่อยู่อาศัยให้ดีขึ้นทั้งในการอนุรักษ์พลังงานและให้เกิดความสบายจำเป็นต้องใช้เงินลงทุนเพื่อปรับปรุงอาคารสำนักงานต้องใช้เงินลงทุนจากผู้บริหารหรือหักจากเงินปันผลของพนักงานเพื่อทำการปรับปรุง เทคนิคการวิเคราะห์ความชอบ (Conjoint Analysis) เป็นวิธีการทางเศรษฐศาสตร์ที่วิเคราะห์องค์ประกอบรวมเพื่อนำมาหาหาความเต็มใจจ่าย ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาการศึกษาแนวทางอนุรักษ์พลังงานและเพิ่มสุขภาวะที่เหมาะสมในอาคารสำนักงานโดยใช้พื้นที่อาคารสำนักงานเช่าแห่งหนึ่งเพื่อทำการศึกษาหาจุดเหมาะสมระหว่างด้านการอนุรักษ์พลังงานและทรัพย์กรรวมถึงทางด้านสภาวะความสบายกับความเต็มใจที่จะจ่ายของพนักงานในสำนักงานเช่าเพื่อเป็นตัวอย่างแนวทางในการปรับปรุงสำนักงานที่เหมาะสม โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการอนุรักษ์พลังงานจากระบบปรับอากาศ และเพื่อศึกษาความเหมาะสมในการใช้ระบบปรับอากาศในสำนักงานเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสภาวะความสบาย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาปัญหา ค้นคว้าทฤษฎี ข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร การจัดการของเสีย ความสบาย และการหาค่าความเต็มใจจะจ่ายของอาคารสำนักงานเช่าในเขตสาทร กรุงเทพมหานคร ดังรูปที่ 1 คำนวณ OTTV ผนังทั้งหมด 3 ด้านที่เป็นพื้นที่ปรับอากาศและสัมผัสกับแสงอาทิตย์ภายนอก คือทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ (South East : SE) ประกอบด้วยห้องทำงานหัวหน้า พื้นที่ทำงานและห้องเก็บของ ส่วนทิศใต้ (South: S) ซึ่งเป็นห้องทำงานหัวหน้าเพียงห้องเดียว และทิศตะวันตกเฉียงใต้ (South West : SW) ประกอบด้วยห้องทำงานหัวหน้าและพื้นที่ทำงาน เนื่องจากด้านอื่นประกอบด้วยห้อง AHU ห้องประชุมเล็ก1 และห้องประชุมเล็ก2 ไม่ติดกับอากาศภายนอกโดยห้องจึงไม่นำมาพิจารณา และในส่วนของห้องน้ำไม่นำมาพิจารณาเนื่องจากเป็นพื้นที่ไม่ปรับอากาศถึงแม้จะติดกรอบอาคารก็ตาม



รูปที่ 1 พื้นที่การใช้สอยของอาคารสำนักงานเช่าที่ทำการศึกษา

2. คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารของสำนักงานเช่าปัจจุบันจากข้อมูลตามตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 ข้อมูลพื้นที่วัสดุกรอบอาคาร (หน่วย: ตารางเมตร)

รายการวัสดุ/ทิศ	SE	S	SW
ข้อมูลวัสดุของผนังทึบ			
ฟิล์มอากาศภายนอก	15	1.1	9
ปูนฉาบด้านนอก	15	1.1	9
คอนกรีตบล็อค 80 mm. จำนวน 2 ชั้น	15	1.1	9
ปูนฉาบด้านใน	15	1.1	9
ฟิล์มอากาศภายใน	15	1.1	9
ข้อมูลวัสดุของผนังผนังโปร่งแสง			
ฟิล์มอากาศภายนอก	22.5	1.65	13.5
กระจกลามิเนต หนา 13.52 mm.	22.5	1.65	13.5
ฟิล์มอากาศภายใน	22.5	1.65	13.5

ตารางที่ 3 ข้อมูลวัสดุของผนังทึบ

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ความหนาแน่น (kg/m^3)	k ($W/m•^\circ C$)	C_p ($kJ/kg•^\circ C$)	R ($m^2•^\circ C/W$)	DSH ($kJ/m^2•^\circ C$)
1	ฟิล์มอากาศภายนอก	-	-	-	-	0.0440	-
2	ปูนฉาบ	10.0	1,860	0.720	0.840	0.0138	15.624
3	คอนกรีตบล็อคกลวง 80 mm สองชั้น	160.0	2,110	0.546	0.920	0.2930	310.592
4	ปูนฉาบ	10.0	1,860	0.720	0.840	0.0138	15.624
5	ฟิล์มอากาศภายใน	-	-	-	-	0.1200	-

3. วิเคราะห์ค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อกำหนดมาตรการในการลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารและทำการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารใหม่ตามมาตรการที่กำหนดเพื่อลดค่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารของสำนักงานเช่า

ตารางที่ 4 มาตรการปรับปรุงกรอบอาคาร

มาตรการที่	รายละเอียด
1	เพิ่มความหนากระจก
2	ติดฟิล์มกระจก
3	ติดมู่ลี่บังแดด
4	เพิ่มความหนาและติดฟิล์มกระจก
5	เพิ่มความหนากระจกและติดมู่ลี่
6	ติดฟิล์มกระจกและติดมู่ลี่
7	เพิ่มความหนาและติดฟิล์มกระจกและติดมู่ลี่

4. กำหนดมาตรการในการอนุรักษ์พลังงาน การจัดการน้ำและของเสียและเพื่อความสบาย และออกแบบแบบสอบถามให้พนักงานเลือกมาตรการที่ต้องการด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบร่วม (Conjoint Analysis) โดยตัวอย่างแบบสอบถามแสดงในรูปที่ 2

การลดลง / ตัวเลือก	ตัวเลือก A (สถานการณ์ปัจจุบัน)	ตัวเลือก B	ตัวเลือก C
OTTV (W/m^2)	92.94 W/m^2	91.75 W/m^2	46.64 W/m^2
การสูญเสียทรัพยากรในองค์กร (บาท/เดือน)	ลดลงเหลือ 1,200 บาท/เดือน	ลดลงเหลือ 1,000 บาท/เดือน	ไม่มีค่าใช้จ่ายที่สูญเปล่า
ร้อยละผู้รู้สึกไม่สบาย PPD (%)	12%	8%	7%
ค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้นต่อพนักงานหนึ่งคน (บาท/ปี)	0 บาท	200 บาท	300 บาท

รูปที่ 2 ตัวอย่างแบบสอบถาม

5. เก็บข้อมูลจากแบบสอบถามและทำการวิเคราะห์ผลข้อมูลต่างๆจากพนักงานทั้งหมดจำนวน 30 คน

6. วิเคราะห์ค่าตัวแปรต่างๆ และคำนวณค่าความเต็มใจจะจ่ายของพนักงาน เพื่อนำค่าความเต็มใจจะจ่ายของพนักงานเพื่อนำไปปรับปรุงตามคุณลักษณะที่กำหนดไว้ในข้อที่ 4

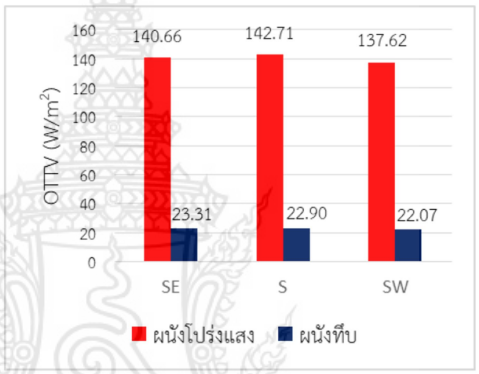
7. สรุปมาตรการปรับปรุงสำนักงานเช่าที่เหมาะสมกับค่าความเต็มใจจะจ่ายและการอนุรักษ์พลังงาน

8. สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

ผลและอภิปรายผล

1. ผล OTTV ของสำนักงานเช่าปัจจุบันก่อนทำการปรับปรุงที่ 92.94 W/m^2 ซึ่งสูงเกินกว่าค่าที่ประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 กำหนดไว้ที่ค่าของอาคารสำนักงานต้องมีค่าน้อยกว่า 50 W/m^2 โดยทิศตะวันออกเฉียงใต้มีความร้อนเข้ามาผ่านทางกระจก 3,164.79 W แบ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน 322.88 W และการแผ่รังสีความร้อน 2,841.91 W เมื่อพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ของกระจกจะได้ค่า OTTV เท่ากับ 140.66 W/m^2 และการถ่ายเทความร้อนเข้ามาผ่านผนังทึบเท่ากับ 23.31 W/m^2 ทิศใต้มีความร้อนเข้ามาผ่านทางกระจก 235.47 W แบ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน 23.68 W และการแผ่รังสีความร้อนที่ 211.79 W เมื่อพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ของกระจกค่า OTTV เท่ากับ 142.71 W/m^2 และการถ่ายเทความร้อนเข้าผ่านผนังทึบเท่ากับ 25.19 W โดยคิดเป็นค่า OTTV 22.90 W/m^2 ส่วนทิศตะวันตกเฉียงใต้มีความร้อนเข้ามาผ่านทางกระจก 1,857.92 W แบ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน 193.73 W และการแผ่รังสีความร้อน 1,664.19 W เมื่อพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ของกระจกจะได้ค่า OTTV 137.62 W/m^2 และการถ่ายเทความร้อนเข้ามาผ่านผนังทึบอยู่ที่ 198.67 W โดยคิดเป็นค่า OTTV 22.07 W/m^2

จากรูปที่ 3 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่เข้ามาในแต่ละทิศพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันมากโดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของ SE เท่ากับ 93.71 W/m^2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของ S เท่ากับ 94.78 W/m^2 และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของ SW เท่ากับ 91.40 W/m^2 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากค่าอัตราส่วนกระจกต่อผนังทั้งหมด (Window to Wall Ratio : WWR) เท่ากันที่ 0.6 และเมื่อเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่เข้ามาผ่านผนังกับกระจกพบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกระจกมีค่าสูงกว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังถึง 6 เท่า หมายความว่าความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาสู่อาคารส่วนใหญ่ผ่านมาจากทางกระจก ซึ่งในงานวิจัยจะทำการศึกษาหามาตรการการในการลดความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกรอบอาคารโดยจะเน้นในการปรับปรุงค่า OTTV ผ่านกระจกเป็นหลัก

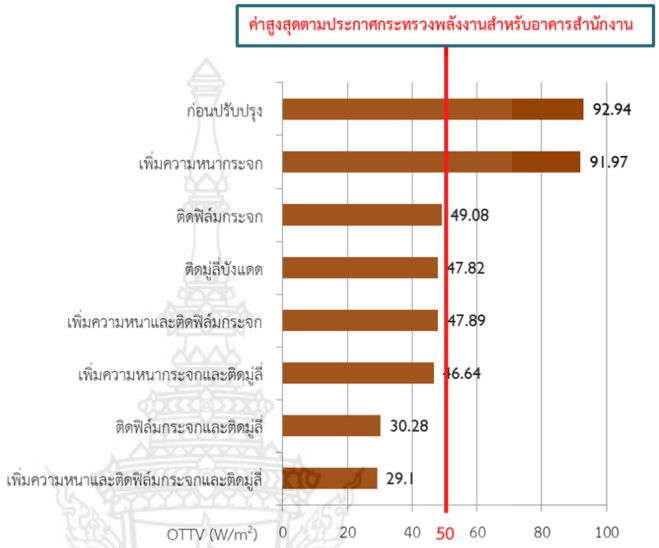


รูปที่ 3 ผลการเปรียบเทียบค่า OTTV ก่อนปรับปรุงของผนังโปร่งแสงและผนังทึบ

1.1 กำหนดมาตรการในการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดค่า OTTV ผ่านกระจกดังนี้

1. เพิ่มความหนากระจก
2. ติดฟิล์มกระจก
3. ติดมู่ลี่บังแดด
4. เพิ่มความหนาและติดฟิล์มกระจก
5. เพิ่มความหนากระจกและติดมู่ลี่
6. ติดฟิล์มกระจกและติดมู่ลี่
7. เพิ่มความหนาและติดฟิล์มกระจกและติดมู่ลี่

พบว่าการเพิ่มความหนากระจกไม่ทำให้ค่า OTTV ลดลงผ่านตามเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด ส่วนการติดฟิล์มกระจกหรือการติดมู่ลี่ช่วยลดค่า OTTV น้อยกว่าเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนดดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผลการเปรียบเทียบค่า OTTV ของแต่ละมาตรการ

2. กำหนดมาตรมาตรการการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ

2.1 กำหนดมาตรการการจัดการทรัพยากรธรรมชาติโดยการเปลี่ยนสุขภัณฑ์เป็นชนิดประหยัดน้ำ โดยปัจจุบันมีกาใช้น้ำจากสุขภัณฑ์ของพนักงานเฉลี่ย 70 ลิตรต่อคนต่อวันจากการใช้สุขภัณฑ์ชนิด Flush Valve เดิม ซึ่งต้องการปริมาณน้ำที่ใช้ 13 ลิตรต่อครั้ง จากจำนวนพนักงาน 30 คน คิดเป็นการใช้น้ำเฉลี่ยวันละ 2,100 ลิตรต่อวัน โดยเมื่อทำการเปลี่ยนสุขภัณฑ์จากเดิมที่เป็นชนิด Flush Tank รุ่นประหยัดน้ำที่ใช้ปริมาณน้ำ 4.5 ลิตรต่อครั้งจำนวน 2 สุขภัณฑ์ จะทำให้การใช้น้ำลดลงเหลือ 727 ลิตรต่อวัน คิดเป็นปริมาณน้ำใช้ที่ลดลงต่อวันร้อยละ 65.38 มีค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงอยู่ที่ 25,000 บาท ประหยัดเงิน 750 บาทต่อเดือน ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบการใช้น้ำของสุขภัณฑ์ก่อนและหลังการเปลี่ยนเป็นชนิดประหยัดน้ำ

รูปแบบการใช้น้ำ	เวลาเฉลี่ยใช้น้ำต่อครั้ง (วินาที)	ปริมาณน้ำที่ใช้ต่อวัน (ลิตร)
เปิดปิดด้วยมือ	5	600
ควบคุมการเปิดปิดด้วย Sensor	3	360

2.2 กำหนดมาตรการการจัดการทรัพยากรธรรมชาติโดยการควบคุมการเปิดปิดอ่างล้างมือและโถปัสสาวะด้วยอุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor) โดยปัจจุบันมีการใช้น้ำจากอ่างล้างมือและโถปัสสาวะของพนักงานเฉลี่ย 20 ลิตรต่อคนต่อวันจากการใช้น้ำจากอ่างล้างมือและโถปัสสาวะ ซึ่งมีอัตราการไหลของอ่างล้างมือ 0.28 ลิตรต่อวินาทีและโถปัสสาวะ 0.95 ลิตรต่อวินาที [10] ซึ่งปกติจะใช้น้ำประมาณ 5 วินาที โดยการใช้ Sensor ที่อ่างล้างมือจำนวน 2 ชุดและโถปัสสาวะจำนวน 2 ชุด ตั้งค่าให้ใช้เวลาเปิดน้ำ 3 วินาที และเป็นการลดการสัมผัสเนื่องจากสถานการณ์โรคอุบัติใหม่จาก Covid19 อีกด้วย จากจำนวนพนักงาน 30 คน คิดเป็นการใช้น้ำเฉลี่ยวัน

ละ 600 ลิตรต่อวัน โดยเมื่อทำการติดอุปกรณ์ตรวจจับ ทำให้การใช้น้ำลดลงเหลือ 360 ลิตรต่อวัน โดยคิดเป็นปริมาณน้ำใช้ที่ลดลงต่อวันร้อยละ 40 มีค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงอยู่ที่ 18,000 บาท ทำให้ประหยัดเงิน 250 บาทต่อเดือน ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบการใช้น้ำของอ่างล้างมือและโถปัสสาวะก่อนและหลังติดอุปกรณ์ตรวจจับการเปิดปิด

ประเภทสุขภัณฑ์	อัตราการใช้น้ำต่อครั้ง (ลิตรต่อครั้ง)	ปริมาณน้ำที่ใช้ต่อวัน (ลิตร)
สุขภัณฑ์ชนิด Flush Valve	13	2,100
สุขภัณฑ์ประหยัดน้ำชนิด Flush Tank	4.5	747

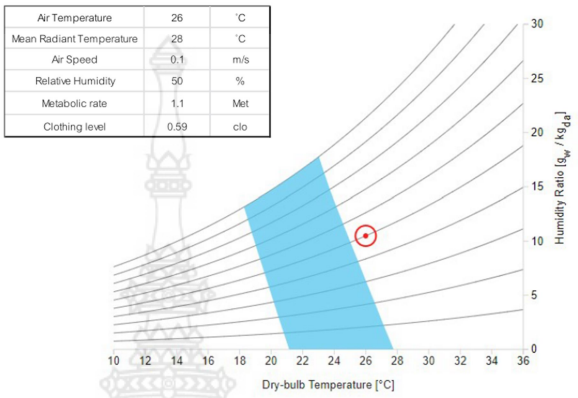
2.3 กำหนดมาตรการการจัดการทรัพยากรธรรมชาติโดยการการนำกระดาษที่ใช้แล้วกลับมาใช้ด้านหลัง โดยเป็นการนำทรัพยากรมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ค่าเฉลี่ยของการใช้กระดาษอยู่ที่วันละ 30 แผ่นต่อเดือน พบว่าการนำกระดาษมาใช้ซ้ำสามารถช่วยลดการใช้กระดาษได้และลดค่าใช้จ่ายได้ 200 บาทต่อเดือน ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบการใช้กระดาษโดยเฉลี่ยต่อเดือน

การใช้กระดาษ	จำนวนกระดาษที่ใช้ต่อเดือน (แผ่น)	จำนวนเงินที่ใช้ค่ากระดาษต่อเดือน (บาท)
ใช้กระดาษด้านเดียว	900	400
นำกระดาษที่ใช้แล้วมาใช้ซ้ำ	450	200

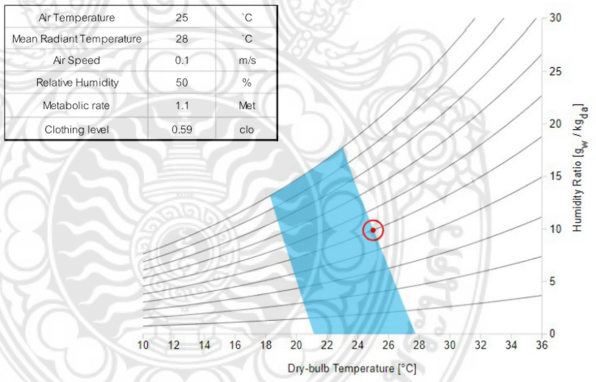
3. กำหนดมาตรการเพื่อเพิ่มความสบายโดยการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเครื่องใหม่ที่สามารถทำอุณหภูมิที่ 25˚C โดยความสบายของคนประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 6 ชนิด [11] ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม กิจกรรมที่ทำ เสื้อผ้าที่สวมใส่ และอุณหภูมิพื้นผิวที่แผ่รังสี โดยในงานวิจัยนี้จะมีตัวแปรคงที่คือ ความชื้น กิจกรรมที่ทำและอุณหภูมิพื้นผิวที่แผ่รังสีจากพื้นผิว เนื่องจากมีความคงที่ค่อนข้างสูง โดยกำหนดมาตรการดังนี้

3.1 อุณหภูมิที่สบายของแต่ละคนจะไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับความชอบของแต่ละบุคคล [12] และเพศ [13] เนื่องจากปัจจุบันเครื่องปรับอากาศมีสภาพเก่า อายุการใช้งาน 15 ปี ประสิทธิภาพลดลงและจากการขยายตัวขององค์กรทำให้จำนวนพนักงานเพิ่มสูงขึ้นทำให้อุณหภูมิภายในห้องของระบบปรับอากาศทำได้ประมาณ 26˚C กำหนดมาตรการโดยการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศใหม่สามารถทำอุณหภูมิที่ 25˚C มีค่าใช้จ่าย 120,000 บาท เพื่อทำให้เกิดความสบายทางอุณหภาพ (Thermal comfort) ที่ดีขึ้น โดยมีเงื่อนไขก่อนปรับปรุงคือ อุณหภูมิ 26˚C อุณภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย 28 ˚C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 ความเร็วลมผ่านตัว 0.1 m/s กิจกรรมการทำงานในสำนักงานโดยพิมพ์คอมพิวเตอร์ ซึ่งมีค่าการเผาผลาญ 1.1 met และเสื้อผ้าที่สวมใส่มีค่าความเป็นฉนวน 0.59 clo โดยสวมเสื้อเชิ๊ต กางเกงขายาวและถุงเท้ารองเท้า โดยสามารถแสดงสภาวะความสบายตาม ASHRAE 55 ได้ในรูปที่ 5 ซึ่งมีค่า PPD อยู่ที่ร้อยละ 14



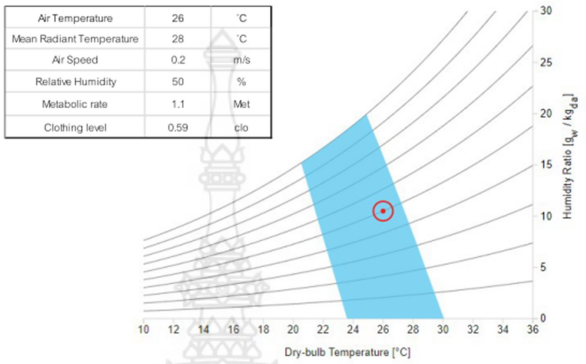
รูปที่ 5 ช่วงความสบายของสภาวะก่อนปรับปรุง

เมื่อทำการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นที่สามารถทำอุณหภูมิได้ที่ 25°C โดยตัวแปรอื่นเหมือนเดิม ทำให้ความสบายของผู้อยู่อาศัยเปลี่ยนไป ซึ่งมีค่า PPD อยู่ที่ร้อยละ 10 ดังรูปที่ 6



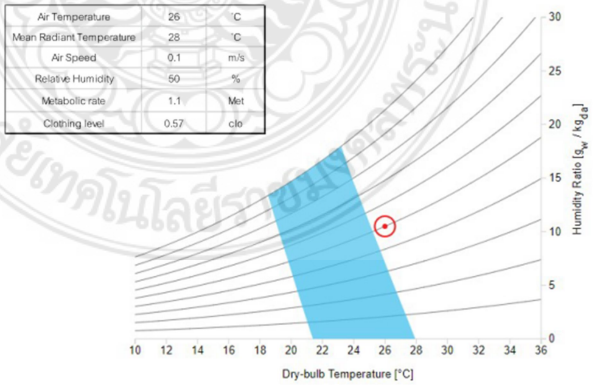
รูปที่ 6 ช่วงความสบายของสภาวะอุณหภูมิ 25°C

3.2 กำหนดมาตรการในการเพิ่มความสบายโดยการติดพัดตัวเล็กประจำโต๊ะทำงานของพนักงานแต่ละคน ทำให้ความเร็วลมที่ผ่านตัวเพิ่มขึ้นสึกสบายมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปจะทำให้รู้สึกไม่สบายเมื่อความเร็วลมที่สูง [14] โดยความเร็วลมที่ 0.1 m/s สามารถทำให้รู้สึกสบายได้แม้ว่าอุณหภูมิจะสูงถึง 31°C [15] กำหนดมาตรการโดยการติดพัดตัวเล็กประจำโต๊ะทำงานของพนักงานแต่ละคน ทำให้ความเร็วลมผ่านตัวคนอยู่ที่ 0.2 m/s เพื่อเกิดความสบายทางอุณหภาพที่ดีขึ้น โดยมีเงื่อนไขปรับปรุงคือ อุณหภูมิ 26°C อุณภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย 28 °C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 ความเร็วลมผ่านตัว 0.2 m/s กิจกรรมการพิมพ์ซึ่งมีค่าการเผาผลาญ 1.1 met และเสื้อผ้าที่สวมใส่มีความเป็นฉนวน 0.59 clo ซึ่งมีค่า PPD อยู่ที่ร้อยละ 7 โดยสามารถแสดงสภาวะความสบายตามมาตรฐาน ASHRAE 55 ได้ดังแสดงในรูปที่ 7



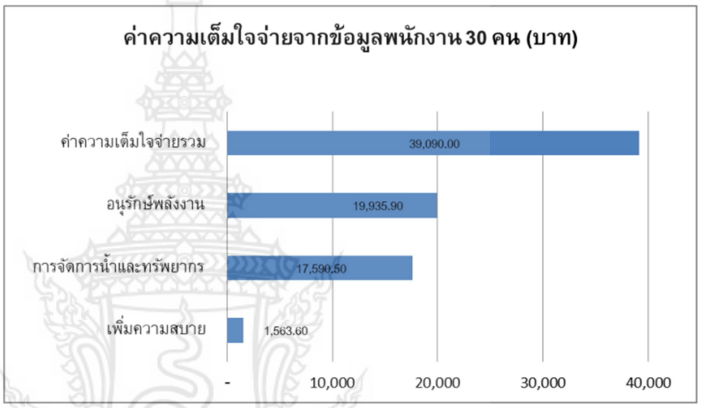
รูปที่ 7 ช่วงความสบายจากการติดพัดลมประจำโต๊ะ

3.3 กำหนดมาตรการในการเพิ่มความสบายโดยการปรับเปลี่ยนชุดทำงานของบริษัทให้เป็นผ้าที่ระบายอากาศได้ดี ซึ่งทำให้ลดค่าความเป็นฉนวนของเสื้อที่สวมใส่ให้รู้สึกสบายมากขึ้นเพราะเสื้อผ้าที่สวมใส่มีผลต่อการระบายความร้อนในร่างกายของคน [16] ซึ่งความร้อนที่ร่างกายแลกเปลี่ยนจากผิวหนังไปสู่เสื้อผ้าเครื่องแต่งกายด้วยการพาความร้อนและการระเหย โดยปรับเปลี่ยนเป็นเสื้อแขนสั้นผ้ากีพาที่สามารถระบายความร้อนได้ดีกว่า โดยมีค่าใช้จ่าย 30,000 บาท เพื่อทำให้เกิดความสบายทางอุณหภาพที่ดีขึ้น โดยเสื้อเชิ๊ทแขนสั้นมีค่าความเป็นฉนวน 0.19 clo ซึ่งรวมกับกางเกงขายาว ถุงเท้าและรองเท้าทำให้มีค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้ารวม 0.59 และเมื่อเปลี่ยนเป็นเสื้อที่ระบายความร้อนได้ดีขึ้นจะทำให้ค่าความเป็นฉนวนของเสื้อเชิ๊ตลดลงเหลือ 0.17 clo ซึ่งรวมกับกางเกงขายาว ถุงเท้าและรองเท้าทำให้มีค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้ารวม 0.57 โดยมีเงื่อนไขปรับปรุงคือ อุณหภูมิ 26°C อุณภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย 28 °C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 ความเร็วลมผ่านตัว 0.1 m/s กิจกรรมการพิมพ์ซึ่งมีค่าการเผาผลาญ 1.1 met และเสื้อผ้าที่สวมใส่มีความเป็นฉนวน 0.57 clo ซึ่งมีค่า PPD อยู่ที่ร้อยละ 13 โดยสามารถแสดงสภาวะความสบายตามมาตรฐาน ASHRAE 55 ได้ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ช่วงความสบายของสภาวะจากการปรับเปลี่ยนเสื้อ

วิเคราะห์ผลข้อมูลและหาค่าความเต็มใจจะจ่ายจากพนักงานจำนวน 30 คน โดยแบ่งเป็นกลุ่มผู้บริหารจำนวน 4 คน และพนักงาน 26 คน เพศชาย 29 คน และเพศหญิง 1 คน พบว่าเมื่อคิดเป็นจำนวนพนักงานรวมทั้งหมด 30 คน ค่าความเต็มใจจ่ายทั้งหมด 39,090 บาท และเมื่อแบ่งสัดส่วนพบว่าค่าความเต็มใจจ่ายเพื่อการอนุรักษ์พลังงานคิดเป็นร้อยละ 51 คิดเป็นเงิน 19,935.90 บาท ส่วนการจัดการน้ำและของเสียอยู่ที่ร้อยละ 45 คิดเป็นเงิน 17,590.50 บาท และเพื่อการเพิ่มความสบายอยู่ที่ร้อยละ 4 คิดเป็นเงิน 1,563.60 บาท ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ค่าความเต็มใจจ่ายเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

ค่าความเต็มใจจ่ายเพื่อการอนุรักษ์พลังงานเป็นเงิน 19,935.90 บาท สามารถนำไปปรับปรุงกรอบอาคารโดยการติดมู่ลี่พบว่าค่า OTTV ลดลงเหลือ 47.82 W/m2 ลดลงคิดเป็นร้อยละ 48.54 เป็นไปตามเกณฑ์ประกาศกระทรวงพลังงานกำหนด

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดค่าถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร (Overall Thermal Transfer Value : OTTV) ของสำนักงานเช่า โดยพบว่าในปัจจุบันสำนักงานเช่าที่ทำการศึกษามีค่า OTTV อยู่ที่ 92.94 W/m^2 ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าค่าที่ประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 กำหนดไว้ที่ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารของสำนักงานต้องมีค่าไม่เกิน 50 W/m^2

การกำหนดวิธีการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดค่า OTTV โดยการเปลี่ยนกระจกให้หนาขึ้นจาก 13.52 มิลลิเมตร เป็น 17.52 มิลลิเมตร โดยใช้วัสดุกระจกชนิดเดียวกับปัจจุบัน คำนวณค่า OTTV เท่ากับ 91.75 W/m^2 ซึ่งยังเป็นค่าที่สูงกว่าค่าที่ประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552 กำหนดไว้

ติดฟิล์มกระจกเพื่อให้ค่า SHGC มีค่า 0.2 คำนวณค่า OTTV เท่ากับ 49.08 W/m^2

ติดมู่ลี่บังแดดที่กระจกเพื่อให้ค่า SC มีค่า 0.4 คำนวณค่า OTTV เท่ากับ 47.82 W/m^2

เพิ่มความหนากระจกและติดฟิล์มกระจก คำนวณค่า OTTV เท่ากับ 47.89 W/m^2

เพิ่มความหนากระจกและติดมู่ลี่บังแดดกระจก คำนวณค่า OTTV เท่ากับ 46.64 W/m^2

ติดฟิล์มกระจกและติดมู่ลี่บังแดดกระจก คำนวณค่า OTTV ได้ 30.28 W/m^2

เพิ่มความหนากระจกจากเดิม 13.52 mm ให้เป็น 17.52 mm โดยใช้วัสดุกระจกชนิดเดียวกับปัจจุบันและติดฟิล์มกระจกให้มีค่า SHGC 0.20 และติดมู่ลี่บังแดดที่กระจกเพื่อให้ค่า SC มีค่า 0.4 คำนวณค่า OTTV ได้ 29.10 W/m^2

จะเห็นได้ว่าความร้อนส่วนใหญ่ที่ถ่ายเทเข้ามาทางกรอบอาคารเป็นความร้อนที่มาจากการแผ่รังสีอาทิตย์ สามารถลดได้จากการลดค่า SHGC และ Shading Coefficient ของกระจก โดยการปรับปรุงอาคารด้วยการลดความร้อนที่มาจากการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์จะช่วยลดพลังงานการถ่ายเทความร้อนรวมของสำนักงานเช่าได้มาก

จากการกำหนดมาตรการในการอนุรักษ์พลังงาน การจัดการการใช้ทรพยากรธรรมชาติและการเพิ่มสภาวะความสบายและทำการทดลองเก็บข้อมูลจากพนักงานทั้งหมดจำนวน 30 คน พบว่ามีค่าความเต็มใจจ่ายอยู่ที่ 1,303 บาทต่อคน เมื่อคิดเป็นจำนวนพนักงานรวมทั้งหมด 30 คน จะได้ค่าความเต็มใจจะจ่ายทั้งหมด 39,090 บาท และเมื่อแบ่งสัดส่วนพบว่าค่าความเต็มใจจ่ายเพื่อการอนุรักษ์พลังงานคิดเป็นร้อยละ 51 คิดเป็นเงิน 19,935.90 บาท สามารถนำไปปรับปรุงกรอบอาคารโดยการติดมู่ลี่เพื่อให่ค่าการถ่ายความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารลดลงเหลือ 47.82 W/m^2 ซึ่งเป็นค่าที่ผ่านตามประกาศกระทรวงพลังงานกำหนด ส่วนการจัดการน้ำและของเสียอยู่ที่ร้อยละ 45 คิดเป็นเงิน 17,590.50 บาท สามารถนำไปติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการเปิดปิดของอ่างล้างมือและโถปัสสาวะอัตโนมัติรวมถึงการนำกระดาษกลับมาใช้ด้านหลัง ช่วยให้ลดค่าใช้จ่ายในการใช้ทรัพยากรลง 450 บาทต่อเดือน และเพื่อการเพิ่มความสบายอยู่ที่ร้อยละ 4 คิดเป็นเงิน 1,563.60 บาท ซึ่งไม่เพียงพอในการทำตามมาตรการที่กำหนดไว้ แต่การติดมู่ลี่ช่วยลดอุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย ทำให้ค่าความรู้สึกไม่พอใจในความสบาย (PPD) มีค่าร้อยละ 10

บรรณานุกรม

[1] BLTbangkok. **คนไทยมีชั่วโมงงานเกินมาตรฐานโลก หลายชาติเล็งลดวันทำงานลง.** สืบค้นเมื่อ 18 กันยายน 2562. จาก https://www.bltbangkok.com/article/info/3/918.

[2] **ASHRAE, Standard 55**, 2017. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, American Society of Heating, Refrigerating, and air-conditioning.

[3] **คู่มือแนวทางการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์** กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลังงาน, 2560.

[4] ประกาศกระทรวงพลังงาน. (2552). เรื่อง **หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารและการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆของอาคาร พ.ศ. 2552**.

[5] สุรัตน์ อัตถจริยกุล.,2550. , ผลของความเร็วลมเฉพาะที่ต่อความรู้สึกสบายและการประหยัดพลังงาน ในห้องปรับอากาศ, **วิศวกรรมสาร มข.** ปีที่ 34 ฉบับที่ 1 หน้าที่ 49-58.

[6] Noppanuch Puangmalee, Kodchasorn Hussaro, and Vorakamol Boonyayothin .,2019., “Thermal comfort of Thai students in university buildings under variable indoor conditions of air conditioned space”, **Journal of Renewable Energy and Smart Grid Technology**, Vol. 14, No. 1, p. 66-76.

[7] ประกอบ สุรวัฒนาวรรณ และกรรณิการ์ สุดสม.,2558.,การศึกษาข้อจำกัดของระดับความชื้นสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ,**วารสารวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์**, ปีที่ 26 ฉบับที่ 4 หน้า 77-92.

[8] Amanjeet Singh, Matt Syal, Sue C. Grady and Sinem Korkmaz,.,2010., “Effects of Green Buildings on Employee Health and Productivity”, **American Journal of Public Health**, Vol. 100, No. 9, p. 1665-1668.

[9] Pleasa Serin Abraham and Haripriya Gundimeda.,2018., “Greening Offices : Willingness To Pay for Green-certified office spaces in Bengaluru, India, Springer Nature B.V”, **Journal of Environment, Development and Sustainability**, October 2018.

[10] วริทธิ์ อึ้งภากรณ์, **การออกแบบระบบท่อภายในอาคาร.** วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ , 2560, หน้า 19-23.

[11] American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers (ASHRAE)., 2017., **Handbook : Fundamental**.

[12] มานพ แจ่มกระจ่าง.,2549.,ศึกษาทางเลือกการตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมเพื่อการประหยัดพลังงาน, **วารสารศึกษาศาสตร์** ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 เดือนมิถุนายน 2549-ตุลาคม 2549.

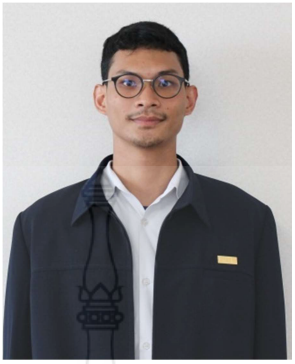
[13] สุรัตน์ อัตถจริยกุล., 2550., ความรู้สึกสบายเชิงความร้อนสำหรับการปรับอากาศในประเทศไทย.**วิศวกรรมสาร มข.** ปีที่ 34 ฉบับที่2 (141 - 150) มีนาคม – เมษายน 2550.

[14] Edward Arens, Tengfang Xu, Katsuhiro Miura, Zhang Hui, Marc Fountain and Fred Bauman, “A study of occupant cooling by personally controlled air movement, 1998. ” **International Journal of. Energy and Building**, vol. 27, pp. 45-59.

[15] Krittiya Ongwuttiwat and Sudaporn Sudprasert, n.a., “Review Article: **Thermal Balance and the Role of Clothing on Thermal Comfort in Hot and Humid Climate**,”

[16] Conrad Voelker, Sabine Hoffmann, Oliver Kornadt, Edward Arens, Hui Zhang and Charlie Huizenga, 2009, **Heat and Moisture Transfer Through Clothing**, IBPSA Building Simulation 2009, University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, July 27-30.

ประวัติการศึกษาและการทำงาน



ชื่อ นามสกุล พัฒนะ เมฆขำ

วัน เดือน ปีเกิด 25 กันยายน 2533

ภูมิลำเนา 19/60 ม.9 ต.บางพูด อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	2552
ปริญญาตรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	2556
	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช	2561
ปริญญาโท	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2564

ประวัติการทำงาน

ตำแหน่ง	บริษัท	ปี
ผู้จัดการโครงการ	บริษัท มิตรเทคนิคัลคอนซัลแท้นท์ จำกัด	2563 – ปัจจุบัน
วิศวกรโครงการ	บริษัท มิตรเทคนิคัลคอนซัลแท้นท์ จำกัด	2561 – 2560
วิศวกรออกแบบเครื่องกล	บริษัท มิตรเทคนิคัลคอนซัลแท้นท์ จำกัด	2560 – 2561
วิศวกรเครื่องกล (ออกแบบ)	บริษัท ชัชวาลย์รอยัลแฮสโคนิ่ง จำกัด	2556 – 2558