ปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาแผ่นกรุผนังเพื่อลดภาระการใช้พลังงาน ของเครื่องปรับอากาศภายในอาคารเพื่อต่อยอดเชิงพาณิชย์

ประจำปีงบประมาณ 2562

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาแผ่นกรุผนังเพื่อลดภาระการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศภายในอาคารเพื่อต่อยอดเชิงพาณิชย์

Factors affecting the development of wall panels to reduce the energy consumption of indoor air conditioners for commercial.

นายศรัณยู สว่างเมฆ

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ปีงบประมาณ 2562

ปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาแผ่นกรุผนังเพื่อลดภาระการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศภายในอาคารเพื่อต่อยอดเชิงพาณิชย์

นายศรัณยู สว่างเมฆ

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ปีงบประมาณ 2562

Factors affecting the development of wall panels to reduce the energy consumption of indoor air conditioners for commercial.

Saranyoo Sawangmake

Faculty of Architecture and Design. Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

2019

ชื่องานวิจัย : ปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาแผ่นกรุผนังเพื่อลดภาระการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศภายในอาคารเพื่อต่อยอดเชิงพาณิชย์

ชื่อผู้วิจัย : นายศรัณยู สว่างเมฆ

ปีพุทธศักราช : 2562

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาปัจจัยการพัฒนาแผ่นกรุผนังภายในเพื่อลดการใช้พลังงานในการปรับอากาศในอาคาร เพื่อเป็นต้นแบบในการพัฒนาเป็นระบบอุตสาหกรรมการส่งออกวัสดุอุปกรณ์ก่อสร้างบ้านแบบ (Green Architecture) เพื่อสร้างรายได้ให้กับชุมชนหรือผู้ประกอบการในการนำเงินเข้าประเทศยกระดับเศรษฐกิจอุตสาหกรรมให้ยั่งยืน เป็นการสร้างวัสดุทางสถาปัตยกรรมที่เข้ากับภูมิอากาศในประเทศไทย และยังสามารถใช้เป็นแนวทางให้กับประชาชนที่สนใจนำไปประยุกต์ใช้กับอาคารบ้านพักอาศัยของตนเองหรือเผยแพร่ตามสื่อต่างๆเพื่อลดภาระค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเพื่อการอยู่อาศัยที่น่าสบาย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาแผ่นกรุผนังเพื่อลดภาระการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศภายในอาคารเพื่อต่อยอดในการผลิตเชิงพาณิชย์ ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าย้อนหลัง 6 เดือนทั้งนี้ไม่รวมถึงพลังงานความร้อนอื่นๆ นำมาคำนวณหาค่าดัชนีการใช้พลังงานจำนวน 2 กลุ่มอาคาร พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าอาคารที่เป็นอาคารสีเขียว พบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 531,100 กิโลวัตต์ชั่วโมง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.31 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร ในขณะที่อาคารที่ไม่ใช่อาคารสีเขียวนั้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 653,360 กิโลวัตต์ชั่วโมง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.53 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร ด้านผลการวิเคราะห์ข้อมูลระดับความเสียหายส่วนใหญ่อยู่ในระดับที่ 1 คือ ผิวผนังไม่พบเห็นความเสียหายชัดเจน โดยเฉพาะความสูงที่ 4 และ 5 คือ 1.55 เมตร และ 1.85 เมตร จากระดับพื้นภายในอาคาร ความเสียหายระดับที่ 3 พบมากที่ระดับความสูงที่ 3 ที่ความสูง 1.00 เมตร จากระดับพื้นภายในอาคาร

การประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้นในวัสดุผนังภายในของอาคารที่เกิดขึ้นเป็น3 ระดับ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าระดับความเสียหายส่วนใหญ่อยู่ในระดับที่ 1 คือ ผิวผนังไม่พบเห็นความเสียหายชัดเจน โดยเฉพาะความสูงที่ 4 และ 5 คือ 1.55 เมตร และ 1.85 เมตร จากระดับพื้นภายในอาคาร ความเสียหายระดับที่ 3 พบมากที่ระดับความสูงที่ 3 ที่ความสูง 1.00 เมตร และจากผลการเก็บข้อมูลปริมาณความชื้นในผิววัสดุผนังภายนอกอาคาร และนำมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของแต่ละระดับความสูง 5 ระดับ ได้แก่ 0.55 เมตร 0.75 เมตร 0.95 เมตร 1.55 เมตร และ 1.85 เมตรพบว่า อาคารมีปริมาณความชื้นในผนังแต่ละระดับความสูงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

สรุปได้ว่าสมการดัชนีอาคารสีเขียวนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับอาคารอื่นๆ เพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานและได้มาตรฐานตามแบบอาคารสีเขียว จากสมการทดสอบสามารถคาดการณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าด้วยดัชนีการใช้ไฟฟ้าและออกแบบการจัดการพลังงานในอาคารได้อย่างเป็นระบบ บริเวณที่มีความเสียหายมากที่สุดจะพบปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 47%-98% ความเสียหายมากที่สุดระดับ 3

(นายศรัณยู สว่างเมฆ)
ลายมือชื่อผู้วิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

Research Title: Factors affecting the development of wall panels to reduce the energy consumption of indoor air conditioners for commercial.

Author : Saranyoo Sawangmake 2019

This research approach to study the development of interior wall for reduce energy consumption by air conditioning in the building. In order to be a prototype in the development of an industrial system for the export of green architecture in order to generate income for the community or entrepreneurs to bring money into the country to upgrade the industrial economy to be sustainable It is an architectural material that is compatible with the weather in Thailand. It can be used as a guideline for people interested in applying it to their own home building or disseminating through various media to reduce energy costs for a comfortable living. The objective is to study the factors that affect the development of wall paneling in order to reduce the energy burden of the air conditioner in the building in order to further the commercial production. The researcher collected data for the past 6 months, not including other thermal energy. Used to calculate the energy consumption index for 2 building groups, it was found that the electricity consumption of green buildings were 531,100 kilowatt hours. And an average of 5.31 kilowatt hours per square meter While the non-green building has an average of 653,360 kilowatt hours. And an average of 6.53 kilowatt hours per square meter As for the results of the data analysis, the damage level is mostly at level 1 which is the wall surface and no obvious damage. Especially the 4th and 5th height is 1.55 meters and 1.85 meters from the floor level in the building. Damage level 3 is found at the height level 3 at a height of 1.00 meters from the floor level in the building.

Assessment of damage caused to the interior wall of the building that occurred in 3 levels. The results of the data analysis showed that most damage levels were at level 1, namely the wall surface without obvious damage. Especially the 4th and 5th height is 1.55 meters and 1.85 meters from the floor level in the building. Damage level 3 is found at the height level 3 at a height of 1.00 meters and from the results of collecting moisture content in the exterior wall materials And analyzed to find the average for each of the 5 levels of height, which are 0.55 meters, 0.75 meters, 0.95 meters, 1.55 meters and 1.85 meters, found that the buildings have different moisture content in each wall level ($p < 0.05$).

In conclusion, this green building index equation can be applied to other buildings to reduce energy consumption and meet the standards of the green building. From the equation, the electricity consumption can be predicted using the electricity usage index and systematically designed energy management in buildings. The area with the most damage will find the humidity in the range of 47% -98%, the highest damage level 3, at an elevation of 0.80 meters from the floor level in the building

ไม่มีเนื้อหาจากต้นฉบับ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(2)
สารบัญ	(5)
สารบัญตาราง	(7)
สารบัญภาพ	(8)
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 วิธีการดำเนินวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเครื่องปรับอากาศเพื่อที่อยู่อาศัย	7
2.2 ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง	8
2.3 อาคารสีเขียวสถาปัตยกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อม	14
2.4 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน	21
2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับการระบายอากาศ	23
2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับผนัง 2 ชั้นที่มีช่องอากาศ	29
2.7 วิธีการที่ความชื้นผ่านระบบกรอบอาคาร	30
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	42
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	47
3.2 รูปแบบการเก็บข้อมูล	47
3.3 ขั้นตอนและวิธีการในการวิเคราะห์ข้อมูล	49
3.4 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลและข้อเสนอแนะ	50
3.5 สรุปผลการวิจัย	52

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ 53

4.2 การตรวจวัดปริมาณความชื้นที่เกิดขึ้นในวัสดุผนังภายในอาคาร 59

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายที่เกิดขึ้นกับปริมาณความชื้นที่ตรวจพบ 61

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย 62

5.2 ข้อเสนอแนะ 63

เอกสารอ้างอิง 65

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. ประวัติการศึกษาและการทำงาน 69

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงค่า Vapor Permeance ของวัสดุอาคารและฟิล์ม (Building Materials and Films)	37
2.2	แสดงค่าการหน่วงการแพร่ของไอน้ำ	38
4.1	ตารางเปรียบเทียบวิธีการออกแบบอาคารประหยัดพลังงานกลุ่มอาคารสีเขียวและอาคารไม่ใช่สีเขียว	56
4.2	ตารางเปรียบเทียบการใช้พลังงาน	57
4.3	ตารางแสดงค่าเฉลี่ยการใช้พลังงาน	57
4.4	ตารางสรุปดัชนีรวมการใช้พลังงานต่อตารางเมตร	58
4.5	ตารางสรุปดัชนีรวมเฉลี่ยการใช้พลังงานต่อตารางเมตรแต่ละอาคาร	58
4.6	ข้อมูลสถิติของการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในวัสดุ ที่แต่ละระดับความสูงของอาคาร	59
4.7	การวิเคราะห์ข้อมูล ความแตกต่างของปริมาณความชื้นในวัสดุ ณ ตำแหน่งในการวัดที่แต่ละระดับความสูงของอาคาร โดยใช้วิธี ANOVA	60
4.8	ข้อมูลสถิติของการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในวัสดุ	60
4.9	การวิเคราะห์ข้อมูล ความแตกต่างของปริมาณความชื้นในวัสดุ ณ ตำแหน่งในการวัดที่แต่ละระดับความสูงของอาคาร โดยใช้วิธี ANOVA	61

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แสดงลักษณะของประเภทของการประเมินอาคารสีเขียวด้านปัจจัยต่างๆ	19
2.2	แสดงลักษณะของภาพตัวอย่างอาคารสานักงานเขียวที่ผ่านมาตรฐาน LEED	21
2.3	แสดงรูปแบบการไหลเวียนอากาศของ double skin façade	23
2.4	แสดงบริเวณความกดอากาศสูงโดยทั่วไปเกิดบริเวณใกล้ฝาผนังของอาคารที่ถูกลมปะทะหรือผนังอาคารด้านที่บังกระแสลม	24
2.5	แสดงลมที่พัดผ่านด้านข้างหรือเหนืออาคารซึ่งทำให้เกิดบริเวณความกดอากาศต่ำ	25
2.6	แสดงกระแสลมพัดผ่านห้อง	25
2.7	แสดงลักษณะช่องเปิดแบบต่างๆ	26
2.8	แสดงการไหลของกระแสลมเมื่อมีผนังภายในห้อง	27
2.9	แสดงการเปิดช่องเปิดเพื่อให้รับลมผ่านในระดับความสูงร่างกาย	28
2.10	แสดงการไหลของกระแสลมจากการบังคับช่องเปิด	28
2.11	แสดงลักษณะวิธีการที่ความชื้นผ่านระบบกรอบอาคาร	30
2.12	แสดงลักษณะความชื้นในสภาวะของเหลวที่เข้ามาในอาคาร	31
2.13	แสดงลักษณะความเสียหายที่เกิดจากน้ำซึมผ่านผนังเข้าในอาคาร	31
2.14	แสดงลักษณะของการดูดซึมน้ำผ่านผนังหรือพื้นอาคาร	32
2.15	แสดงลักษณะการดูดซึมน้ำบริเวณชิ้นไม้ ของผนังที่ซ้อนทับกัน	32
2.16	แสดงลักษณะการดูดซึมน้ำของผนังที่ซ้อนทับกัน	33
2.17	แสดงลักษณะของผนังที่ไม่ได้มีการใช้วัสดุอุดปิดอย่างเหมาะสม	33
2.18	แสดงลักษณะการแพร่ของไอน้ำซึ่งแพร่จากบริเวณที่ความดันไอสูง (High Vapor Pressure) ไปยังบริเวณที่มีความดันไอน้ำที่ต่ำ (Low Vapor Pressure)	34
2.19	แสดงลักษณะของค่า Water Vapor Permeability	35
2.20	แสดงลักษณะของค่า The Resistance to Water Vapor Diffusion Factor	36
2.21	แสดงลักษณะของค่าThermal Conductivity ที่เปลี่ยนตามปริมาณความชื้นในวัสดุ	40
2.22	แสดงลักษณะการแพร่ของไอน้ำที่ผนังภายนอกเมื่อได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์	41
3.1	แสดงลักษณะของ เครื่องวัด Concrete and Mortar Moisture Tester HI-520-2	48
3.2	แสดงลักษณะของหลักการของเครื่องมือในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณความชื้นในวัสดุ	49

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่รุนแรงในปัจจุบันและปัญหาวิกฤติการณ์ด้านพลังงานเป็นผลกระทบมาจากการกระทำของมนุษย์ ที่ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนทำให้รังสีจากดวงอาทิตย์ทะลุผ่านช่องโหว่ในชั้นบรรยากาศมากขึ้น ซึ่งมีผลมาจากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในส่วนของอาคารมีส่วนอย่างมากในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยมีสัดส่วนประมาณหนึ่งในสามของการใช้พลังงานทั้งหมดทั่วโลก การเติบโตของเมืองทำให้ประชากรเพิ่มมากขึ้นมีการพัฒนาปรับปรุงมาตรฐานการครองชีพให้สูงตามไปด้วยส่วนใหญ่จะตั้งอยู่ในศูนย์กลางเมืองของประเทศกำลังพัฒนา การบริโภคทรัพยากรและพลังงานมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างเลี่ยงไม่ได้จะต้องมีวิธีการปฏิบัติที่จะนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนด้านการใช้พลังงานทดแทนที่มีประสิทธิภาพ ประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังพัฒนามีผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศต่อหัวอยู่ที่ 129,875 บาท มีความต้องการด้านพลังงานมากขึ้นถึง 42 % (ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี) มีการคาดการณ์การใช้พลังงานในอาคารเพิ่มขึ้น 8,419 เมกะวัตต์ (ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ) ของพลังงานทั้งหมดในประเทศ

ซึ่งประเทศไทยได้รับผลกระทบอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศส่งผลทำให้เกิดภัยพิบัติต่างๆที่ทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น แต่สิ่งที่เราสัมผัสได้ชัดเจนซึ่งเป็นผลที่กระทำให้อาคารบ้านเรือน เกิดความร้อนเนื่องจากอุณหภูมิภายในสูงขึ้น ทำให้เราต้องใช้เทคโนโลยีในการปรับอุณหภูมิภายในให้เกิดสภาวะน่าสบายในอาคารซึ่งส่งผลให้ต้องใช้พลังงานอย่างมหาศาลและเป็นอีกสาเหตุทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ปัจจุบันวงการสถาปัตยกรรมได้นำความคิดเกี่ยวกับ “สถาปัตยกรรมสีเขียว” ที่คำนึงถึงการเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยเริ่มตั้งแต่กระบวนการออกแบบไปจนจบกระบวนการก่อสร้างทำให้ได้สถาปัตยกรรมที่สามารถอยู่อาศัยได้อย่างสบาย ใช้พลังงานน้อยและคุ้มค่าด้านทรัพยากรมากที่สุด ปัญหาเศรษฐกิจจากการใช้พลังงานทำให้ต้องปรับสภาพอุณหภูมิให้เหมาะสมกับการอยู่อาศัย ซึ่งต้องแลกกับการสูญเสียเงินทองในอัตราที่สูงเป็นผลมาจากการเลือกใช้วัสดุในการก่อสร้างเช่น ไม้ สังกะสี อิฐมอญ ซึ่งมีการหน่วงความร้อนมาก ที่พักอาศัยบางหลังไม่สามารถอาศัยอยู่ได้เลยในเวลากลางวัน จึงต้องอาศัยอยู่

ภายนอกหรือใต้ร่มไม้ซึ่งยังพอมีลมพัดผ่าน จึงได้นำนโยบายของรัฐบาลเรื่อง Smart Cities.และ Net Zero Energy Buildings. มาใช้ในการพัฒนาวัสดุที่สามารถลดการใช้พลังงานในอาคารให้ลดลง

ปัจจุบันมีการแก้ปัญหาด้วยการใช้แผ่นฉนวนนกันความร้อน เช่น ฉนวนใยแก้ว (Fiber glass), ฉนวนเยื่อกระดาษ (Cellulose), ยิบซั่มบอร์ด, แผ่นสะท้อนความร้อน (Aluminium foil), ยิบซั่มบอร์ดรวมกับแผ่นสะท้อนความร้อน, เซรามิกเคลือบผิว, ฉนวนโฟมพอลิยูรีเทน (Polyurethane foam) ฉนวนโฟมพอลิเอทิลีน (Polyethylene foam) ฉนวนโฟมพอลิสไตรีน (Polystyrene foam) ซึ่งฉนวนที่กล่าวมาเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มีในท้องตลาดสามารถต้านทานความร้อนได้ระดับหนึ่งแต่ไม่ช่วยในการลดภาระโหลดการทำงานของระบบไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศ หลักการในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศคือการลดความชื้นภายในอาคารถ้าสามารถลดความชื้นได้มากเท่าใดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าก็ลดน้อยลงเท่านั้น จึงได้มีแนวคิดที่จะทำแผ่นกรุผนังภายในที่ช่วยลดความชื้นภายในอาคาร ซึ่งจะทำให้อัตราการทำงานของคอมเพรสเซอร์เครื่องปรับอากาศลดลง

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาปัจจัยการพัฒนาแผ่นกรุผนังภายในเพื่อลดการใช้พลังงานในการปรับอากาศในอาคาร เพื่อเป็นต้นแบบในการพัฒนาเป็นระบบอุตสาหกรรมการส่งออกวัสดุอุปกรณ์ก่อสร้างบ้านแบบ (Green Architecture) เพื่อสร้างรายได้ให้กับชุมชนหรือผู้ประกอบการในการนำเงินเข้าประเทศยกระดับเศรษฐกิจอุตสาหกรรมจากให้ยั่งยืน เป็นการสร้างวัสดุทางสถาปัตยกรรมที่เข้ากับภูมิอากาศในประเทศไทย และยังสามารถใช้เป็นแนวทางให้กับประชาชนที่สนใจนำไปประยุกต์ใช้กับอาคารบ้านพักอาศัยของตนเองหรือเผยแพร่ตามสื่อต่างๆเพื่อลดภาระค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเพื่อการอยู่อาศัยที่น่าสบาย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาแผ่นกรุผนังเพื่อลดภาระการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศภายในอาคารเพื่อต่อยอดในการผลิตเชิงพาณิชย์

1.3 ขอบเขตการวิจัย

การศึกษางานวิจัย เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาแผ่นกรุผนังเพื่อลดภาระการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศภายในอาคารเพื่อต่อยอดเชิงพาณิชย์ เป็นการศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศภายในอาคาร ในการทดลองครั้งมีขอบเขตของงานวิจัย ดังนี้

1.3.1 ขอบเขตด้านพื้นที่ (สามารถแนบแผนที่เป็นภาคผนวกได้)

ประชากร คือ ชุมชนผู้อยู่อาศัยที่มีรายได้น้อยในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

กลุ่มตัวอย่าง คือ ลักษณะรูปแบบบ้าน 2 แบบบริเวณ ชุมชนใต้ทางด่วนงามวงศ์วาน จังหวัดนนทบุรี

แบบที่ 1 ผนังบ้านทำจากอิฐฉาบปูน

แบบที่ 2 ผนังบ้านทำจากวัสดุไม้

1.3.2 ขอบเขตด้านเนื้อหา

1. ศึกษาคุณสมบัติของที่เกี่ยวข้องกับเครื่องปรับอากาศเพื่อที่อยู่อาศัยที่วางขายตามท้องตลาด

2. ศึกษาทฤษฎีและแนวคิดการทบทวนและวิเคราะห์ปัจจัยจากงานวิจัย

3. ศึกษาทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

4. ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการระบายอากาศ

5. ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับผนัง 2 ชั้นที่มีช่องอากาศ

6. ศึกษาคุณสมบัติวัสดุที่นำมาทดลองเปรียบเทียบมาตรฐานเรื่องการลดอุณหภูมิและความชื้นในห้องเพื่อเก็บข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ อย่างน้อย 10 ชนิด

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาชนิดและขนาดของแผ่นกรุผนังภายในในปัจจุบันรวมถึงศึกษาทางด้านคุณสมบัติ เทคนิคการ ใช้งาน เพื่อทราบถึงคุณสมบัติส่วนผสมและเทคนิคทางวัสดุ โดยการทบทวนเอกสารและ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

2. ศึกษารูปแบบและทฤษฎีทฤษฎี การลดความชื้นของระบบปรับอากาศ วิธีการทางกล วัสดุลดความชื้นรูปแบบที่สวยงาม โดยการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

3. ศึกษาการออกแบบแผ่นกรุผนังลดความชื้นโดยมีพื้นฐานของทฤษฎีรองรับ โดยออกแบบเพื่อใช้กับผนังทางทิศใต้และทิศ ตะวันตกซึ่งเป็นทิศที่อาคารรับแสงแดดมากที่สุดตลอดทั้งวัน

4. ศึกษาการทดสอบเพื่อการเก็บข้อมูลโดยใช้วิธีติดมิเตอร์ไฟฟ้าเพื่อเก็บข้อมูลเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการปรับอากาศ อุณหภูมิ ความชื้น

สัมพัทธ์ ความเร็วลม เปรียบเทียบกับกล่องทดสอบจากวัสดุที่ใช้กรุผนังเพื่อลดความร้อนที่มีจำหน่ายในท้องตลาดอย่าง เพื่อเทียบมาตรฐาน

5. จัดทำแบบสอบถามด้านประโยชน์ใช้สอย ความสวยงาม ความง่ายต่อการสร้าง การติดตั้ง เพื่อนำมาพัฒนารูปแบบ

6. สรุปปัจจัยผลการทดสอบโดยนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบหาจุดเด่นจุดด้อยที่ต้องปรับปรุงพร้อมข้อเสนอแนะในการทำผลิตภัณฑ์แผ่นกรุผนังตามที่ได้สรุปผลโดยอยู่บนพื้นฐานของวิชาสถาปัตยกรรมและวิศวกรรม

7. ทำรายงานสรุปผลการวิจัย

8. จัดทำแบบ โปสเตอร์พรีเซนต์เพื่อเผยแพร่งานวิจัย

1.4.2 ขั้นตอนและวิธีการในการวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติในการวิจัยใช้รูปแบบการจัดลำดับคุณภาพค่าคะแนน (Rating Scale)

ค่าเฉลี่ย (Mean)

เกณฑ์การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย

ค่าเฉลี่ย 4.50 – 5.00 หมายถึง ระดับความเห็นพึงพอใจมากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 3.50 – 4.49 หมายถึง ระดับความเห็นพึงพอใจมาก

ค่าเฉลี่ย 2.50 – 3.49 หมายถึง ระดับความเห็นพึงพอใจปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.50 – 2.49 หมายถึง ระดับความเห็นพึงพอใจน้อย

วิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงบรรยาย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ประโยชน์ทางด้านวิชาการ : สามารถพัฒนารูปแบบแผ่นกรุผนังเพื่อลดภาระการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศภายในอาคาร เพื่อลดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศในที่พักอาศัย

1.5.2 ประโยชน์ทางด้านเศรษฐกิจ :

1. สามารถลดต้นทุนการก่อสร้างแผงกันแดด และลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการปรับสภาพภายในที่พักอาศัยให้เกิดภาวะน่าสบาย เป็นฐานความรู้ให้ประชาชนผู้สนใจได้นำไปผลิตเพื่อประโยชน์ทางพาณิชย์ให้แก่ครอบครัวหรือชุมชนที่ขาดแคลนใช้เป็นอาชีพเพื่อเพิ่มรายได้ยกฐานะความเป็นอยู่ให้ดียิ่งขึ้น เป็นการกระจายรายได้ให้กับสังคม

2. สามารถผลิตแผ่นกรุผนังมีคุณสมบัติในการลดความชื้นเทียบเท่ากับวัสดุที่มีจำหน่ายในท้องตลาดหรือที่ใช้ในปัจจุบัน ในด้านราคาและมาตรฐานเพื่อการขยายผลเชิงพาณิชย์

1.5.3 ประโยชน์ทางด้านสังคม : สามารถใช้เป็นแนวทางให้ผู้ที่ขาดแคลนและผู้สนใจนำไปประดิษฐ์เพื่อช่วยลดการใช้พลังงานภายในที่พักอาศัย สร้างความสัมพันธ์ระหว่างครอบครัวและชุมชนในการร่วมกันทำนวัตกรรมแผ่นกรุผนังในแต่ละชุมชนหรือครัวเรือน สร้างรายได้วิสาหกิจของชุมชนในการผลิตขายเป็นการค้า

1.5.4 ประโยชน์ทางด้านสิ่งแวดล้อม : ช่วยลดการใช้พลังงานในการปรับสภาวะน่าสบายให้แก่อาคารบ้านเรือน ช่วยลดการสังเคราะห์วัสดุขึ้นมาใหม่เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์กันความร้อนให้กับอาคาร

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับการวิจัยนี้ ผู้วิจัยศึกษาค้นคว้าข้อมูล บทความทางวิชาการ เอกสาร สื่อ และทฤษฎีต่างๆ รวมทั้งงานวิจัยต่างๆ ทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยฉบับนี้ที่ศึกษาเกี่ยวกับ ปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาแผ่นกรุผนังเพื่อลดภาระการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศภายในอาคารเพื่อต่อยอดเชิงพาณิชย์ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลสาหรับการกาหนดสมมติฐาน งานวิจัยและออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยในบทต่อไป ดังนั้น เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัย ผู้วิจัยจึงนำเสนอการทบทวนวรรณกรรมตามหัวข้อ ดังนี้

2.1 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเครื่องปรับอากาศเพื่อที่อยู่อาศัย

2.2 ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง

2.3 การทบทวนและวิเคราะห์ปัจจัยจากงานวิจัย

2.4 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับการระบายอากาศ

2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับผนัง 2 ชั้นที่มีช่องอากาศ

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเครื่องปรับอากาศเพื่อที่อยู่อาศัย

เครื่องปรับอากาศที่ใช้งานในบ้านพักอาศัย หรือที่เรียกกันว่าแอร์บ้านนั้น ถือเป็นเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กที่ผลิตเพื่อใช้งานกันภายในภาคครัวเรือน มีการพัฒนาต่อจากแนวคิดระบบทำความเย็นขนาดใหญ่ที่ใช้กันในระดับอุตสาหกรรม สาหรับหน้าที่ของเครื่องปรับอากาศ คนทั่วไปมักคิดว่าเครื่องปรับอากาศมีหน้าที่ปรับอุณหภูมิ (Temperature) เพียงอย่างเดียว แต่ความเป็นจริงเครื่องปรับอากาศมีหน้าที่เพิ่มเติมหลากหลาย ทั้งหน้าที่การปรับความชื้น (Humidity)

โดยเฉพาะบริเวณเขตร้อนชื้น จนทาให้เรารู้สึกไม่สบายตัว หน้าที่การทาให้อากาศหมุนเวียน เพราะการเคลื่อนตัวของอากาศจะช่วยพาความร้อนที่อยู่บนผิวหนังให้ออกไป ทาให้เรามี

ความรู้สึกสบายขึ้น และหน้าที่การกรองฝุ่นละอองในอากาศ นอกจากนั้นปัจจุบันเครื่องปรับอากาศยังได้พัฒนาประสิทธิภาพในการขจัดฝุ่นละออง ควัน กลิ่น และแบคทีเรียบางชนิดให้สูงขึ้น ด้วยการเพิ่มเครื่องฟอกอากาศเป็นอุปกรณ์เสริมในเครื่องปรับอากาศอีกด้วย (Trust Air Service, วันสืบค้น 30 กันยายน 2561)

ผู้ประดิษฐ์เครื่องปรับอากาศเครื่องแรกของโลกคือ Willis Haviland Carrier วิศวกรปริญญาโทจากมหาวิทยาลัยคอร์เนลล์ ประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี 2454 ได้คิดสูตรไซโครเมตริก (Psychrometric) ให้กับสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งอเมริกา นับว่ามีประโยชน์อย่างมหาศาลในการคำนวณการทาความเย็นของระบบปรับอากาศ ที่เป็นต้นแบบของระบบเครื่องปรับอากาศที่ใช้งานมาจนทุกวันนี้ และต่อมาได้ก่อตั้งบริษัท Carrier Engineering Corporation ผลิตและจาหน่ายเครื่องปรับอากาศภายใต้แบรนด์ Carrier จนภายหลังขึ้นเป็นผู้นาทางด้านความเย็นและระบบปรับอากาศที่นาไปใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศบนเครื่องบิน

ปัจจุบันเครื่องปรับอากาศเพื่อที่อยู่อาศัยเป็นที่นิยมและมีราคาที่เข้าถึงคนได้ทุกระดับ เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ทุกครัวเรือนต้องมี จากการสำรวจของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน 2555 พบว่า ประเภทที่เป็นที่นิยมมากในปัจจุบันคือ เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) เป็นระบบปรับอากาศขนาดเล็ก ส่วนใหญ่มีขนาดทาความเย็นไม่เกิน 40,000 BTU ต่อชั่วโมง โดยมีการแยกส่วนประกอบออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) คอยล์เย็น เป็นส่วนที่ติดตั้งให้ความเย็นภายในตัวอาคาร ประกอบด้วยแผงความเย็นและพัดลม 2) คอยล์ร้อน เป็นส่วนที่ไว้ระบายความร้อน ซึ่งจะติดตั้งไว้ภายนอกอาคาร เพื่อหลีกเลี่ยงเสียงรบกวน ประกอบด้วยคอมเพรสเซอร์ แผงควบแน่น และพัดลมระบายความร้อน โดยระหว่างทั้ง 2 ส่วนนี้จะมีท่อสารทำความเย็นทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนออกจากห้องปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศสำหรับที่อยู่อาศัยแบบแยกส่วน ปัจจุบันมีจำหน่ายหลากหลายรูปแบบเพื่อให้เหมาะสมแก่การใช้งานต่างๆ (DAIKIN Thailand, 2557) ได้แก่

(1) แบบติดผนัง (Wall Type) ใช้กับห้องที่มีขนาดเล็ก มีขนาด 9,000 - 25,000 BTU ถูกออกแบบมาให้สวยงามกว่าประเภทอื่น เสียงเงียบ ดูแลรักษาง่าย แต่ข้อเสียคือ ลมเบา และทนทานน้อยกว่าประเภทอื่น

(2) แบบตั้งแขวน (Ceiling Type) เหมาะสาหรับห้องที่มีพื้นที่ตั้งแต่เล็กจนถึงขนาดใหญ่ มีกาลังลมแรงกว่าแบบติดผนัง แต่มีราคาสูงกว่าและติดตั้งยากกว่า

(3) แบบตู้ตั้งพื้น (Package Type) มีกาลังลมที่แรง เหมาะกับบริเวณที่มีคนเข้าออกอยู่ตลอดเวลา

(4) แบบฝังฝ้าเพดานสี่ทิศทาง (Cassette Type) เน้นความสวยงาม โดยการซ่อนหรือฝังอยู่ใต้ฝ้าเพดานห้อง มีราคาสูงมากและดูแลรักษายาก สำหรับประเทศไทย จากข้อมูลของศูนย์วิจัยกรุงศรี

(2548) พบว่า อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศเริ่มนำเข้าสู่ประเทศไทยในช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ต่อมามีการตั้งโรงงานผลิตเครื่องปรับอากาศเป็นครั้งแรกในปี 2503 โดยบริษัท ยูนิเวอร์แซล อิเลคทริค จำกัด โดยในระยะแรกนั้นเครื่องปรับอากาศที่ผลิตในประเทศยังไม่มีการพัฒนามากนัก เป็นเพียงการนำเข้าชิ้นส่วนจากต่างประเทศมาประกอบในไทย แต่หลังจากปี 2521 อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศเริ่มมีการขยายตัวมากขึ้น จากความต้องการของตลาดและการพัฒนาเทคโนโลยี จึงทาให้มีผู้ผลิตเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ทั้งกลุ่มผู้ประกอบการคนไทยเองและกลุ่มที่ร่วมทุนกับต่างชาติ ประเทศไทยสามารถผลิตชิ้นส่วนและวัตถุดิบสำคัญที่ใช้ในการประกอบเครื่องปรับอากาศได้เกือบ 100% โดยไม่ต้องพึ่งพาการนำเข้า (หนังสือพิมพ์ฐานเศรษฐกิจ, วันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2560) เกิดตราสินค้าเครื่องปรับอากาศมากกว่า 20 แบรนด์ โดยส่วนใหญ่ตราสินค้าที่เป็นที่นิยมมักเป็นตราสินค้าจากต่างประเทศ เนื่องจากความแตกต่างด้านคุณภาพของสินค้า และตราสินค้าของไทยบางรายได้มีการลอกเลียนแบบละเมิดลิขสิทธิ์จากผู้ค้ารายอื่น จึงไม่ค่อยได้รับความนิยมมากนัก แม้จะมีราคาถูกกว่า

ในช่วงปลายปี 2554 ภาคอุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศได้เผชิญกับมหาอุทกภัยที่ส่งผลให้การผลิตต้องหยุดชะงัก โดยเฉพาะบริเวณนิคมอุตสาหกรรมในพื้นที่จังหวัดอยุธยาและปทุมธานี แม้ว่าจะได้รับผลกระทบอย่างรุนแรง แต่ภายหลังสามารถฟื้นตัวได้อย่างรวดเร็ว จากปริมาณอุปสงค์ที่ตกค้างทั้งจากในประเทศและต่างประเทศ ทำให้เกิดการเร่งผลิต ซึ่งเป็นปัจจัยสนับสนุนสำคัญของการฟื้นตัวของ GDP ของประเทศ (สานักนโยบายเศรษฐกิจมหาภาค สำนักงานเศรษฐกิจการคลัง, 2556) ต่อมาในปี 2557 ตลาดเครื่องปรับอากาศไทยมีอัตราการขยายตัวค่อนข้างต่อเนื่องมาจากภาวะเศรษฐกิจและการเมือง รวมถึงหนี้ครัวเรือนที่อยู่ในระดับสูง ส่งผลให้ผู้บริโภคพากันประหยัดค่าใช้จ่าย ถัดมาปี 2558 ผลสำรวจจากศูนย์วิจัยกสิกรไทยเผยว่า ตลาดเครื่องปรับอากาศมีการปรับตัวสูงขึ้น เพราะอากาศที่ร้อนอบอ้าวในช่วงฤดูร้อน ประกอบกับการแข่งขันอย่างรุนแรง ทำให้ผู้บริโภคบางส่วนมีการติดตั้งเพิ่มหรือซื้อเครื่องใหม่ที่มีประสิทธิภาพดีขึ้น

2.2 ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ทฤษฎีและแนวคิดเกี่ยวกับพฤติกรรมผู้บริโภค

การศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภค ทาให้สามารถเข้าใจถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าของผู้บริโภค นำข้อมูลมาสร้างกลยุทธ์ทางด้านการตลาด พัฒนาผลิตภัณฑ์ และปรับให้ถูกต้องและสอดคล้องกับความสามารถในการตอบสนองของธุรกิจ เพื่อความได้เปรียบคู่แข่งขัน ที่ผ่านมามีผู้ให้ความหมายเกี่ยวกับพฤติกรรมผู้บริโภคไว้แตกต่างกันตามทรรศนะของตนไว้ ดังนี้

Belch & Belch (1993) ให้ความหมายของพฤติกรรมผู้บริโภค ว่าหมายถึง กระบวนการและกิจกรรมต่าง ๆ ที่บุคคลเข้าไปมีส่วนเกี่ยวข้องในการเสาะแสวงหา การเลือกซื้อ การใช้ การประเมินผลและการกำจัดผลิตภัณฑ์หลังการใช้ เพื่อสนองความต้องการและความพึงพอใจของตนเอง

Kotler et. al (2012) กล่าวว่า พฤติกรรมผู้บริโภคเป็นการศึกษาถึงลักษณะของบุคคลหรือกลุ่มบุคคลจากการเลือกซื้อสินค้าหรือบริการ ความคิดเห็นที่นำเสนอ หรือจากประสบการณ์ที่ได้รับความพึงพอใจ โดยจำแนกปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการซื้อของผู้บริโภคไว้ 4 ด้านดังนี้

(1) ปัจจัยด้านวัฒนธรรม เป็นปัจจัยขั้นพื้นฐานที่สุดในการกำหนดความต้องการและพฤติกรรมของมนุษย์ เช่น การศึกษา ความเชื่อ ยังรวมถึงพฤติกรรมส่วนใหญ่ที่ได้รับการยอมรับภายในสังคมใดสังคมหนึ่งโดยเฉพาะรากฐานของวัฒนธรรมมีส่วนในการกาหนดพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภค เนื่องจากการมีวัฒนธรรมย่อย ได้แก่ สัญชาติ ศาสนา เชื้อชาติ และลักษณะภูมิศาสตร์ ปัจจัยเหล่านี้ทาให้มีความหลากหลายในการแบ่งชนชั้น

(2) ปัจจัยด้านสังคม เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องในชีวิตประจาวันและมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการซื้อ ทั้งครอบครัวและกลุ่มบุคคล มีผลต่อความคิดเห็นการตัดสินใจร่วมกันของกลุ่มในการเลือกซื้อสินค้าและบริการ หรือการแสดงความคิดเห็นในแต่ละกลุ่มบุคคลเนื่องจากบทบาททางสังคมที่แตกต่างกัน ประกอบด้วย 1) กลุ่มอ้างอิง หมายถึง กลุ่มใดๆ ที่มีการเกี่ยวข้องกันระหว่างคนในกลุ่ม แบ่งเป็น 2 ระดับ คือ ระดับปฐมภูมิ ได้แก่ ครอบครัว เพื่อนสนิท และระดับกลุ่มทุติยภูมิ เป็นกลุ่มทางสังคมที่มีความสัมพันธ์แบบตัวต่อตัว แต่ไม่บ่อย มีความเหนียวแน่นน้อยกว่าระดับปฐมภูมิ 2)ครอบครัว เป็นสถาบันที่ทาการซื้อเพื่อการบริโภคที่มีความสำคัญที่สุด 3) บทบาททางสถานะ บุคคลที่จะเกี่ยวข้องกับกลุ่มอื่นๆ อีกหลายกลุ่ม เช่น ครอบครัวทาให้บุคคลมีบทบาทและสถานภาพที่แตกต่างกันในแต่ละกลุ่ม ระดับสังคมแสดงถึงความแตกต่างของความต้องการผลิตภัณฑ์และการบริการของผู้บริโภค ไม่ว่าจะเป็นการเลือกซื้อเสื้อผ้า การตกแต่งบ้าน กิจกรรมประจาวัน และการใช้ภาษาในการสื่อสารย่อมมีความแตกต่างกัน

(3) ปัจจัยส่วนบุคคล การตัดสินใจของผู้ซื้อมักได้รับอิทธิพลจากคุณสมบัติส่วนบุคคลต่างๆ เช่น อายุ อาชีพ การศึกษา วิถีการดาเนินชีวิต ความคิดเห็นส่วนบุคคล และสภาพเศรษฐกิจของแต่ละบุคคลที่แตกต่างกัน หากนักการตลาดสามารถจำแนกออกเป็นกลุ่มย่อย จะสามารถกาหนดกลยุทธ์การตลาดของผลิตภัณฑ์ได้

(4) ปัจจัยทางจิตวิทยา การเลือกซื้อของบุคคลได้รับอิทธิพลจากปัจจัยทางจิตวิทยาประกอบด้วยการจูงใจ การรับรู้ ความเชื่อและเจตคติ บุคลิกภาพและแนวความคิดของตนเอง

2.2.2 ทฤษฎีส่วนประสมทางการตลาด

ส่วนประสมการตลาด (Marketing Mix) คือ องค์ประกอบที่สำคัญในการดำเนินงานการตลาด เป็นปัจจัยที่กิจการสามารถควบคุมได้ กิจการธุรกิจจะต้องสร้างส่วนประสมการตลาดที่เหมาะสมในการกำหนดทิศทางการวางกลยุทธ์ทางการตลาด เพื่อตอบสนองความพึงพอใจของผู้บริโภค จะเห็นได้ว่า ก่อนที่จะมีการซื้อ ผู้ซื้อต้องพยายามวางกฎเกณฑ์เกี่ยวกับคุณภาพและประโยชน์ที่ได้จากการบริการที่จะได้รับ ผู้ขายต้องสร้างความเชื่อมั่น โดยจะต้องหาหลักประกันให้ผู้ซื้อสามารถทำการตัดสินใจ

ซื้อสินค้าได้เร็วยิ่งขึ้น (ศิริวรรณ เสรีรัตน์ และคณะ, 2541; ฉลองศรี พิมลสมพงษ์, 2548) ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนประสมทางการตลาด 7 ด้าน ดังนี้

2.2.2.1 ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ (Product)

สิ่งที่ผู้ขายเสนอสู่ตลาด เป็นลักษณะบางประการของผลิตภัณฑ์ของบริษัทที่อาจกระทบต่อพฤติกรรมการซื้อของผู้บริโภค ซึ่งมีทั้งผลิตภัณฑ์ที่เป็นรูปธรรมและนามธรรมมีตัวตนจับต้องได้ เช่น รูปแบบและคุณภาพของเครื่องปรับอากาศ ชื่อเสียงของตราสินค้า เป็นต้น และสิ่งที่ไม่มีตัวตนที่แน่นอนให้สัมผัสได้ เช่น การให้บริการการให้คำแนะนาการใช้งาน เป็นต้น การศึกษาเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์นั้น นักการตลาดมักจะศึกษาผลิตภัณฑ์ในรูปของผลิตภัณฑ์เบ็ดเสร็จ (Total Product) ซึ่งหมายถึง ตัวสินค้าบวกกับความพอใจและผลประโยชน์อื่นที่ผู้บริโภคได้รับจากการซื้อสินค้านั้น ผู้ผลิตจะต้องมีการปรับปรุงสินค้าหรือบริการที่ผลิตขึ้นมาให้สอดคล้องกับความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย โดยเน้นถึงการสร้างความพอใจให้แก่ผู้บริโภคและสนองความต้องการของผู้บริโภคเป็นสำคัญ

2.2.2.2 ปัจจัยด้านราคา (Price)

เมื่อธุรกิจได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขึ้นมา สิ่งสำคัญที่ธุรกิจจะต้องดำเนินการต่อไป คือ การกำหนดราคาที่เหมาะสมให้กับผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปเสนอขาย ก่อนที่จะกำหนดราคาสินค้าธุรกิจต้องมีเปูาหมายว่าจะตั้งราคาเพื่อต้องการกำไร หรือเพื่อต้องการขยายส่วนถือครองตลาด (Market Share) หรือเพื่อเป้าหมายอย่างอื่น โดยลูกค้าจะเปรียบเทียบระหว่างคุณค่ากับราคาของสินค้าหรือบริการ ถ้าคุณค่าสูงกว่าราคาในมุมมองของลูกค้า ลูกค้าก็จะตัดสินใจซื้อสินค้าหรือบริการนั้น ดังนั้น ในการกำหนดกลยุทธ์ทางราคาต้องคำนึงถึงคุณค่าที่รับรู้ในสายตาของลูกค้า มีการใช้กลยุทธ์การตั้งราคาที่จะทำให้เกิดการยอมรับจากตลาดเป้าหมายและสู้กับคู่แข่งขันได้ในการแข่งขันในตลาดเครื่องปรับอากาศ กลยุทธ์ราคาเป็นเครื่องมือที่คู่แข่งขันนามาใช้ได้ผลรวดเร็วกว่าปัจจัยอื่นๆ เช่น การลดราคา หรืออาจตั้งราคาสินค้าให้สูงสำหรับสินค้าที่มีลักษณะพิเศษในตัวของมันเอง เช่น การตั้งราคาเครื่องปรับอากาศระบบอินเวอร์เตอร์สูงกว่าราคาเครื่องปรับอากาศทั่วไป เป็นต้น เพื่อแสดงภาพพจน์ที่ดีอาจใช้ผลทางจิตวิทยามาช่วยเสริมการตั้งราคา เช่น นโยบายการให้สินเชื่อผ่อน 0% นาน 10 เดือน เป็นต้น นอกจากนั้นธุรกิจจะต้องคานึงถึงกฎข้อบังคับทางกฎหมายที่จะมีผลกระทบต่อราคาด้วย

2.2.2.3 ปัจจัยด้านช่องทางการจัดจาหน่าย (Place)

ผลิตภัณฑ์ที่ผู้ผลิตผลิตขึ้นมาได้นั้น ถึงแม้ว่าจะมีคุณภาพดีเพียงใดก็ตาม ถ้าผู้บริโภคไม่ทราบแหล่งซื้อและไม่สามารถหาซื้อได้เมื่อเกิดความต้องการ ผลิตภัณฑ์ที

ผลิตขึ้นมาก็ไม่สามารถตอบสนองความต้องการผู้บริโภคได้ ดังนั้น นักการตลาดจึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงทำเลที่ตั้งควรขายเมื่อไร และโดยใครที่จะเสนอขายสินค้า การจัดจำหน่ายแบ่งกิจกรรมออกเป็น 2 ส่วน คือ ช่องทางจาหน่ายสินค้า (Channel of Distribution) เน้นการศึกษาถึงชนิดของช่องทางการจำหน่ายว่าจะใช้วิธีการขายสินค้าให้กับผู้บริโภคโดยตรง หรือการขายสินค้าผ่านสถาบันคนกลางต่างๆ เช่น การขายผ่านอินเตอร์เน็ต มีหน้าร้านเป็นของตัวเอง ค้าส่ง ค้าปลีก และตัวแทนคนกลาง อีกส่วนหนึ่งของกิจกรรมการจัดจำหน่ายสินค้า คือ การแจกจ่ายตัวสินค้า (Physical Distribution) การกระจายสินค้าเข้าสู่ตัวผู้บริโภค การเลือกใช้วิธีการขนส่งที่เหมาะสมในการช่วยแจกจ่ายสินค้า สำหรับสินค้าเครื่องปรับอากาศในประเทศไทยเลือกใช้วิธีการขนส่งทางรถยนต์เท่านั้น เพียงแต่ผู้จัดจาหน่ายต้องเลือกใช้ประเภทของรถให้ถูกต้องเหมาะสม ได้แก่ รถบรรทุก รถตู้คอนเทนเนอร์ รถกระบะ เป็นต้น

2.2.2.4 ปัจจัยด้านการส่งเสริมการตลาด (Promotion)

เป็นการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการติดต่อสื่อสารไปยังตลาดเป้าหมาย การส่งเสริมการตลาดเป็นวิธีการที่จะบอกให้ลูกค้าทราบเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่เสนอขาย พยายามชักชวนให้ลูกค้าซื้อและเพื่อเตือนความทรงจากับตัวผู้บริโภค การส่งเสริมการตลาดจะต้องมีการศึกษาถึงกระบวนการติดต่อสื่อสาร (Communication Process) เพื่อเข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างผู้รับกับผู้ส่ง การส่งเสริมการตลาดใช้เครื่องมือสำคัญ 4 เครื่องมือ ดังนี้

(1) การขายโดยใช้พนักงาน (Personal Selling) เป็นการเสนอขายสินค้าแบบเผชิญหน้ากัน พนักงานขายต้องเข้าพบปะกับผู้ซื้อโดยตรงเพื่อเสนอขายสินค้า ซึ่งผู้จำหน่ายเครื่องปรับอากาศใช้วิธีนี้ในการขายผ่านหน้าร้านมาอย่างยาวนาน โดยจะเห็นได้จากมีบริการ PC ประจำจุดขายเครื่องปรับอากาศอยู่เสมอ

(2) การโฆษณา (Advertising) เป็นรูปแบบของการจ่ายเงินเพื่อการส่งเสริมการตลาด เป็นการใช้สื่อโฆษณาประเภทต่างๆ เช่น โทรทัศน์ วิทยุ หนังสือพิมพ์ นิตยสาร ป้ายโฆษณา อินเตอร์เน็ต เป็นต้น สื่อโฆษณาเหล่านี้จะสามารถเข้าถึงผู้บริโภคเป็นกลุ่มใหญ่ เหมาะสำหรับสินค้าที่ต้องการกระจายในตลาดกว้าง

(3) การส่งเสริมการขาย (Sales Promotion) เป็นกิจกรรมที่ทำหน้าที่ช่วยพนักงานขายและการโฆษณาในการขายสินค้า การส่งเสริมการขายเป็นการกระตุ้นผู้บริโภคให้เกิดความต้องการในตัวสินค้า เช่น การแจกคูปองส่วนลด การชิงโชคแจกรางวัลเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น

(4) การเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ (Publicity and Public Relation) ในปัจจุบันธุรกิจมักสนใจภาพพจน์ของกิจการ ใช้เงินจานวนมากเพื่อสร้างชื่อเสียงและภาพพจน์ของกิจการ ปัจจุบันองค์กรธุรกิจส่วนใหญ่ไม่ได้เน้นที่การแสวงหากาไรเพียงอย่างเดียว แต่ต้องเน้นที่วัตถุประสงค์ของการให้บริการแก่สังคมด้วย เพราะความอยู่รอดของธุรกิจจะขึ้นอยู่กับการยอมรับของกลุ่มผู้บริโภคในสังคม

(5) กระบวนการ (Process) เป็นการสร้างสรรค์และการส่งมอบสินค้าโดยอาศัยกระบวนการที่วางแผนมาเป็นอย่างดี กระบวนการบริการที่ดีจึงควรมีความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพในการส่งมอบ

2.2.2.5 ปัจจัยด้านบุคคล (People)

บุคคลทั้งหมดในองค์กรทั้งเจ้าของกิจการ ผู้บริหารระดับสูง และพนักงานทั่วไป โดยทุกคนมีหน้าที่รับผิดชอบ ตั้งแต่การวางแผนนโยบายการดำเนินงานและการติดต่อลูกค้า เพื่อการเสนอขายและกระตุ้นให้ลูกค้าเกิดความตั้งใจและตัดสินใจซื้อสินค้า ดังนั้น ควรต้องอาศัยการคัดเลือก การฝึกอบรม การจูงใจ เพื่อให้สามารถสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าได้แตกต่างเหนือคู่แข่งขัน รวมทั้งสามารถแก้ไขปัญหาและสร้างค่านิยมให้กับองค์กรได้

2.2.2.6 ปัจจัยด้านกายภาพ (Physical Evidence)

ลักษณะทางกายภาพหรือคุณภาพที่ลูกค้าสามารถรับรู้หรือสัมผัสได้เป็นเครื่องบ่งชี้ถึงคุณภาพของบริการ ซึ่งเป็นสิ่งที่สามารถสร้างความประทับใจให้กับลูกค้าได้ ดังนั้น ลักษณะทางกายภาพจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องนาเสนอต่อลูกค้า โดยพยายามสร้างคุณภาพโดยรวม ทั้งทางด้านกายภาพและรูปแบบการให้บริการเพื่อสร้างคุณค่าให้กับลูกค้า เช่น พนักงานขายควรแต่งกาย สะอาด เรียบร้อย การเจรจาต้องสุภาพอ่อนโยน และการให้บริการที่รวดเร็ว หรือผลประโยชน์อื่นๆ ที่ลูกค้าควรได้รับ

2.2.2.7 ปัจจัยด้านกระบวนการ (Process)

กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับระเบียบวิธีการปฏิบัติด้านการบริการเพื่อนำเสนอบริการให้กับลูกค้า และลูกค้ามีความคาดหวังที่จะได้รับการบริการที่ดี ดังนั้น กระบวนการให้บริการต้องมีความครบถ้วน ถูกต้องรวดเร็ว ไม่ขาดตกบกพร่อง และสามารถสร้างความประทับใจให้กับลูกค้าได้

ส่วนประสมการตลาดทั้ง 7 อย่างข้างต้นเป็นสิ่งสำคัญต่อการกาหนดกลยุทธ์ต่างๆ ทางด้านการตลาดของธุรกิจ ที่จะต้องมีการจัดส่วนประสมแต่ละอย่างให้มีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของธุรกิจที่แตกต่างกันไป

2.2.3 ทฤษฎีและแนวคิดเกี่ยวกับลักษณะประชากรศาสตร์

ลักษณะทางประชากรศาสตร์เป็นหลักเกณฑ์ในการบ่งบอกถึงประเภทต่างๆ ของกลุ่มประชากร การเก็บวัดสถิติตามปัจจัยประชากรศาสตร์ ในแต่ละสังคม ภูมิภาค และระดับโลกนั้นทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์อย่างมากในการศึกษาพฤติกรรมของผู้บริโภค ดังนั้น ตัวแปรทางด้านประชากรศาสตร์จึงมักถูกนามาใช้ในการแบ่งส่วนตลาดและกำหนดกลุ่มเป้าหมาย การเปลี่ยนแปลงทางประชากรศาสตร์ชี้ให้เห็นถึงการเกิดขึ้นของตลาดใหม่ เช่น การเปลี่ยนแปลงในช่วงกลุ่มอายุ การเพิ่มขึ้นของจำนวนเพศใดเพศหนึ่ง ล้วนส่งผลทาให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในพฤติกรรมของผู้บริโภค จึงเป็นการเปิดโอกาสให้มีการทำธุรกิจในรูปแบบแปลกใหม่อยู่เสมอ (ศิริวรรณ เสรีรัตน์ และคณะ,2538; อดุลย์ จาตุรงคกุล, 2543, น. 38-39; วิไลพร สุตันไชยนนท์, 2550; Kumar, 2014) สำหรับปัจจัยด้านประชากรศาสตร์ที่สำคัญ ได้แก่

2.2.3.1 ปัจจัยด้านเพศ (Sex)

เพศ (Sex) ตัวแปรทางด้านเพศส่งผลทำให้พฤติกรรมในการตัดสินใจซื้อสินค้าของผู้ชายและผู้หญิงมีความแตกต่างกัน เนื่องจากเพศหญิงและเพศชาย มีค่านิยม ทัศนคติ และการรับรู้ในตัวสินค้าและบริการที่แตกต่างกัน

2.2.3.2 ปัจจัยด้านอายุ (Age)

อายุ (Age) แบ่งกลุ่มตามช่วงอายุ ตั้งแต่ช่วงวัยทารกไปจนถึงวัยชรา เมื่อช่วงอายุเปลี่ยน ทาให้พฤติกรรมของผู้บริโภคต่อการตอบสนองความต้องการสินค้าและบริการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม การชักจูงหรือโน้มน้าวจิตใจของคนจะยากขึ้นตามอายุของคนที่เพิ่มขึ้นนอกจากนี้อายุยังมีความสัมพันธ์กับข่าวสารและสื่ออีกด้วย

2.2.3.3 ปัจจัยด้านสถานภาพ (Marital Status)

สถานภาพ (Marital Status) ในแต่ละสถานภาพ ไม่ว่าจะเป็นสถานะโสด แต่งงาน หรือมีบุตรแล้ว ล้วนส่งผลทำให้แต่ละกลุ่มประชากรมีความแตกต่างในการเลือกซื้อสินค้าและบริการ ดังนั้น การศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภค ควรให้ความสำคัญปัจจัยทางด้านสถานภาพ ทางสังคมด้วยเช่นกัน

2.2.3.4 ปัจจัยด้านอาชีพ (Occupation)

อาชีพ (Occupation) แบ่งได้หลากหลายกลุ่ม เช่น ข้าราชการ พนักงานบริษัท ชนชั้นแรงงาน ค้าขาย ธุรกิจส่วนตัว หรือแม้กระทั่งคนว่างงาน เป็นต้น อาชีพของแต่ละบุคคลจะนำไปสู่ความสนใจและความต้องการสินค้าและบริการที่แตกต่างกัน หากเราทราบถึงอาชีพปัจจุบันของแต่ละคน จะสามารถทำให้คาดการณ์พฤติกรรมของผู้บริโภคได้อย่างแม่นยามากยิ่งขึ้น

2.2.3.5 ปัจจัยด้านรายได้ (Income)

รายได้ (Income) ระดับรายได้แบ่งกลุ่มผู้บริโภคตั้งแต่ผู้มีรายได้ต่ำไปจนถึงระดับสูง รายได้ของผู้บริโภคเป็นตัวกาหนดความสามารถในการซื้อสินค้าและบริการ โดยเฉพาะในด้านราคา ยิ่งมีรายได้สูง คุณภาพของสินค้าและบริการที่ได้รับก็ยิ่งสูงขึ้น เพราะคาดหวังจะได้รับสิ่งที่ดีให้กับตัวเอง ในขณะที่ผู้มีรายได้ต่ำจะเน้นบริโภคสิ่งจำเป็นขั้นพื้นฐาน เช่น อาหาร เสื้อผ้า เป็นต้น

2.3 อาคารสีเขียวสถาปัตยกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อม

2.3.1 การใช้พลังงานภายในอาคาร

ปัจจุบันการใช้พลังงานภายในอาคาร เป็นเรื่องที่สำคัญเป็นอันดับต้นๆในเรื่องของการใช้พลังงานมากที่สุด เพราะเมื่อมาเทียบสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าของไทย โดยพบว่าการใช้พลังงานในอาคารคิดเป็นร้อยละ 45 ของการผลิตไฟฟ้าทั้งหมด โครงการผลิตกระแสไฟฟ้าส่วนใหญ่ในปีก่อนๆใช้ถ่านหินในการผลิตกระแสไฟฟ้าซึ่งเกิดมลภาวะมากต่อชั้นบรรยากาศ การใช้พลังงานในอาคารสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ ดังนี้

1. พลังงานที่ใช้ในการผลิตวัสดุและการก่อสร้างอาคาร
2. พลังงานที่ใช้ในการน าอาคารกลับมาใช้ใหม่ หรือใช้ในการรื้อถอนทำลายอาคารบ้านเรือน
3. พลังงานที่ใช้ในการดำเนินการใช้อาคาร

ซึ่งพบว่าการใช้พลังงานในอาคารเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม เพราะวิธีการผลิตกระแสไฟฟ้าก่อมลภาวะสูงสังเกตได้จาก ขบวนการผลิตไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์จะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ 1 ตัน และเมื่อเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าจากโรงงานไฟฟ้าภายในประเทศไทยใน 1 ชั่วโมง มีการผลิตจำนวน 20 ,000 กิโลวัตต์มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศมากถึง 20,000 ตัน โดยอาคารส่วนใหญ่อาคารใช้พลังงานจากไฟฟ้าเป็นหลัก คือ ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับระบบทำความเย็นปรับอากาศคิดเป็น 50 % -70% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในอาคาร รองลงมา คือ ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับระบบแสงสว่างและไฟฟ้าหรือพลังงานที่ใช้สำหรับอุปกรณ์อื่น ๆ จากการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตส่วนใหญ่ผลิตมาจากถ่านหินซึ่งสามารถก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา เพราะเป็นตัวการสำคัญที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งนี้ การลดการใช้พลังงานในอาคารรวมถึงบ้านเรือนต่าง ๆ จะเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายเรื่องค่าไฟฟ้าแล้วยังช่วยลดปัญหาโลกร้อน เพราะอาคารเป็นตัวแปรสำคัญในการลดการใช้พลังงานในภาพรวม สภาอาคารเขียวของประเทศสหรัฐอเมริกาได้ออกแบบระบบการประเมินอาคารสีเขียว โดย ในเบื้องต้นใช้ต้นแบบมาจาก LEED (Leadership In Energy and Environmental Design) เริ่มตั้งแต่การออกแบบในตอนเริ่ม

โครงการและตลอดช่วงของการก่อสร้างการพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งมี หลักเกณฑ์ในการประเมิน 8 ปัจจัย ดังนี้

1. การบริหารจัดการอาคาร (Building Management)
2. ผังบริเวณและภูมิทัศน์ (Site and Landscape)
3. การอนุรักษ์น้ าWater Conservation)
4. การใช้ พลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere
5. วัสดุและทรัพยากรในการก่อสร้าง (Material and Resources)
6. คุณภาพของสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร(Indoor Environmental Quality)
7. การป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Protection)
8. นวัตกรรม (Green Innovation)

ตัวอย่างอาคารสีเขียวที่ได้รับมาตรฐาน เช่น DYNAMIC TOWER ที่ ดูไบ เป็นตึกสูงระฟ้าที่เคลื่อนไหวได้มีความสูง 420 ม. และ อาคารBank of America Tower ตั้งอยู่ที่นิวยอร์ก ใช้วัสดุ Recycled ในการก่อสร้างและใช้ก๊าซธรรมชาติมาผลิตเป็นไฟฟ้าภายในตึกเป็นต้น (สถาบันอาคารเขียวไทย, 2557)

2.3.2 สถาปัตยกรรมสีเขียว: การท้าทายเพื่อความยั่งยืน

ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในปัจจุบันเช่นปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) ปรากฏการณ์หลุมโอโซน (Ozone Hole), ฝนกรด (Acid Rain), การทำลายป่า (Deforestation) , เกาะความร้อน (Urban Heat Island) รวมทั้งการแพร่กระจายของโรคติดต่ออันเกิดจากสภาพอากาศของโลกที่เปลี่ยนไป (Climate Change) ทำให้แต่ละยุคสมัยเกิดความเปลี่ยนแปลง ก่อให้เกิดแนวใหม่ในการออกแบบสถาปัตยกรรมที่มีรากฐานมาจากสถาปัตยกรรมยั่งยืน (Sustainable Architecture) สถาปัตยกรรมสีเขียวเป็นผลผลิตจากการเปลี่ยนแปลง ซึ่งกระบวนการที่เกิดขึ้นทำให้แนวทางการแนวทางการออกแบบอาคารประหยัดพลังงานด้วยวิธี Passive Design หลักความคิดของสถาปัตยกรรมสีเขียวเกิดขึ้นได้ไม่ได้เกิดจากเพราะการขาดแคลนพลังงานแต่เป็นเพราะปัญหาการบริโภคพลังงานจากแหล่งพลังงาน เช่น ถ่านหิน หรือน้ำมันดิบก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศโลก ทำให้เกิดปรากฏการณ์โลกร้อน (Global Warming) ปัญหาโลกร้อนจะทำให้เกิดปัญหาตามมามากมาย โดยเฉพาะภาคการเกษตร ส่งผลให้ประเทศไทย ภายในประเทศการเกษตรกรรมอย่างประเทศไทยจะได้รับผลกระทบรุนแรงมาก พบว่า ปัญหาโลกร้อนเป็นปัญหาที่กว้างและซับซ้อนและไม่สามารถแกไขได้ในแต่ละองค์ความรู้ต้องงเริ่มจากจิตสำนึก ทำให้การสร้างสถาปัตยกรรมสีเขียว ต้องใช้การบูรณการของวิชาความรู้ทางสถาปัตยกรรมศาสตร์วิศวกรรมศาสตร์วิทยาศาสตร์อาคาร (Building Science) การวางผังเมือง และการบริหารการก่อสร้าง

สถาปัตยกรรมสมัยใหม่ หรือ Modern Architecture เกิดขึ้น เนื่องจากมนุษย์มีความต้องการอย่างหนึ่งคือความสบาย แต่ในสมัยก่อนปริมาณการปล่อยของเสียมีปริมารที่ไม่มากนัก อดีตและปัจจุบันและไม่สามารถเปรียบเทียบ ซึ่งของเสียเป็นของเสียที่สลายได้เองตามธรรมชาติ ทุกองค์ประกอบของการออกแบบสามารถอธิบายด้วยหลักทางฟิสิกส์ได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์จวบจนหลังเกิดการปฏิวัติอุตสาหกรรมในยุโรปทางด้านอาคารก็มีการออกแบบให้สอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศภูมิอากาศ ตัวอย่างการออกแบบอาคารเพื่อแก้ปัญหาสภาพแวดล้อม เห็นชัดในเขตภูมิอากาศที่รุนแรง เช่น เขตหนาวและเขตทะเลทราย ทำการศึกษาวิเคราะห์เกี่ยวกับสถาปัตยกรรมพื้นถิ่นทั่วโลกอย่าง ลึกซึ้ง พบว่าเป็นนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์ที่สำคัญของมนุษยชาติ รูปแบบสังคมเมืองเริ่มเปลี่ยนไป จากเดิมเกิดชุมชนที่หนาแน่นกับการทำงานในเมือง และการใช้พื้นที่ดินให้เกิดประโยชน์สูงสุดการ

ออกแบบรูปแบบสถาปัตยกรรมสาธารณะขนาดใหญ่ซึ่งแยกออกจากสภาพแวดล้อม เกิดการคิดค้นงานระบบอาคารขึ้นมาปรับรูปแบบการปรับและการระบายอากาศด้วยเครื่องจักรกล อาคารที่สร้างต้องอาศัยพลังงานจากแหล่งพลังงานที่มีบ่อเกิดพลังงานมาจากถ่านหินและน้ำมันดิบ รูปแบบอาคาร และเทคโนโลยีอาคารที่ถูกใช้เพื่อความสะดวกสบายของมนุษย์พัฒนาต่อเนื่อง แต่ยังคงใช้พลังงานจาก แหล่งเดิม รวมทั้งภาคอุตสาหกรรมและภาคขนส่ง ด้านรูปแบบสถาปัตยกรรมเป็นการเปลี่ยนแปลง ให้แก่การออกแบบที่สอดคล้องกับสภาพภูมิอากาศพื้นถิ่นหรือการออกแบบ Bioclimatic Design ไม่ใช้รูปแบบเดิม เพราะอาคารต่างเลือกใช้ระบบเครื่องกลในการปรับสภาวะแวดล้อมภายในให้น่าสบาย โดยไม่สนใจต่อลักษณะอากาศภายนอกว่าจะเป็นเช่นใด รูปแบบและองค์ประกอบอาคารไม่สามารถชี้ชัดได้ว่ามาจากสภาพภูมิอากาศแบบ เริ่มตั้งแต่ปี 1973 เกิดกระแสการประหยัดพลังงานในอาคารมากขึ้น เกิดรูปแบบการออกแบบอาคารที่เรียกว่า Passive Design ซึ่งจะเน้นทางด้านการปรับอากาศและการระบายอากาศโดยไม่ใช้เครื่องจักรกลที่ใช้พลังงาน อาคารเหล่านี้จะเน้นการออกแบบช่องเปิดให้เกิดการระบายอากาศ มีการออกแบบโถงเพื่อใช้เป็น Climate Buffer-zone รวมทั้งปรับปรุงการใช้ฉนวนกันความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ และเริ่มใช้แผงโซลาร์เซลล์เพื่อทำความร้อนให้อาคาร (สถาบันอาคารเขียวไทย, 2556)

2.3.3 การออกแบบให้สอดคล้องกับสภาพอากาศ

ปัจจุบันแร่ยูเรเนี่ยมให้มนุษย์ใช้ผลิตพลังงานนิวเคลียร์อีกจำนวนมหาศาล ปัญหาการขาดแคลน พลังงานจึงไม่มีอีกในช่วงระยะเวลาหนึ่งของชีวิต แต่ผลของการใช้เครื่องปรับอากาศในปี 1987 นักวิทยาศาสตร์พบว่าสาร CFC ในเครื่องปรับอากาศเป็นตัวทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศโลก และต่อมาสรุปได้ว่าอีกตัวการหนึ่ง คือ ก๊าซคาร์บอนไดอ๊อกไซค์ที่ปล่อยมาจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นตัวทำให้โลกร้อนขึ้นตามลำดับ และทำให้น้ำแข็งขั้วโลกละลาย จึงทำให้เริ่มมีแนวคิดให้มีการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติมากขึ้น แต่แม้ว่ายังไม่มีต่อการใช้พลังงานแต่ปัจจุบันมนุษย์ใช้ชีวิตไปพร้อมกับปัญหาสิ่งแวดล้อมเสีย และผลกระทบจะเกิดขึ้นในวันนี้หรือพรุ่งนี้ ทำให้การเปลี่ยนแปลงนั้นเกิดแนวคิด

เกี่ยวกับการพัฒนาแบบยั่งยืน (Sustainable Development) องค์การสหประชาชาติให้ความหมายไว้ว่า“การพัฒนาเพื่อให้โอกาสแก่คนรุ่นปัจจุบันดำรงชีวิตอยู่ได้โดยไม่ไปปิดโอกาสในการดำรงชีวิตของคนรุ่นหลัง” ซึ่งมีส่วนช่วย พลักดันในด้านอุตสาหกรรมการก่อสร้าง ได้เกิดกระแสของ สถาปัตยกรรมยั่งยืน (Sustainable Architecture) ขึ้นมาพร้อมกับค าว่า“Embodied Energy” โดย คำนึงถึงการใช้วัสดุก่อสร้างอาคารที่ใช้พลังงานน้อยโดยการเปรียบเทียบกับพลังงานที่อาคารใช้ตลอด ช่วงอายุการใช้งาน

ปัญหาสิ่งแวดล้อมข้างต้นจึงเกิด คำว่า อาคารสีเขียว ขึ้นโดยได้นำเอาเรื่อง “เทคโนโลยีที่เหมาะสม”(Appropriate Technology) และแนวคิดการออกแบบ Passive Design (ทั้ง Passive Cooling และ Passive Solar Heating) การก่อสร้างประกอบด้วยอย่างชัดเจนโดยความหมายของอาคารสีเขียวนี้ ก็คือ“การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อช่วยให้อาคารสามารถใช้ประโยชน์จากสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติ (แสงแดด, ลม, ดิน, น้ำ, พืชพันธ์, สัตว์) ด้วยวิธี Passive อย่างเต็มที่และใช้วิธี Active เท่าที่จำเป็น”อาคารสีเขียว เป็นเพียงการตั้งเป้าหมายมิใช่แค่การลดการใช้พลังงานในอาคารอย่างเดียว แต่กำหนด เป้าหมายของอาคารสีเขียวที่เพิ่มมาคือการผสมผสานองค์ความรู้จาก Passive Design เข้ากับเทคโนโลยีสมัยใหม่ของศตวรรษที่ 20 ในการที่จะใช้ประโยชน์จากพลังงานธรรมชาติที่สะอาด และไม่มีวันหมด ในอีกความหมายหนึ่งก็คืออาคารสีเขียวจะไม่พยายามเสนอแนะการลดการใช้พลังงานหากพลังงานนั้นมีความจำเป็นต่อการผลิตหรือการอยู่อาศัยของมนุษย์ แต่จะอาคารใช้พลังงานจากแหล่งที่สะอาดไม่เกิดมลภาวะ และไม่มีวันหมดไป (Renewable Energy) อาคารสีเขียวจึงจะต้องประกอบไปด้วยองค์ประกอบต่างมากมายสามารถอธิบายได้เป็นหัวข้อใหญ่ ดังนี้

1. ความสอดคล้องกับสภาพอากาศน้ำมันดิบที่ทำลายสภาพแวดล้อมดังกล่าวแล้ว สถาปัตยกรรมสีเขียวจึงมุ่งส่งเสริมให้เกิดการนำพลังงานจากธรรมชาติแหล่งอื่นๆ มาแทนที่พลังงานสกปรก

2. พลังงานจากดวงอาทิตย์จำนวนมหาศาลได้เข้ามาสะสมบนโลก และรอให้ถูกนำมาใช้เพียงแต่การนำมาใช้อาจจะต้องอาศัยองค์ความรู้มากขึ้นกว่าเดิม

3. พลังงานที่หาทดแทนได้ (Renewable Energy) ซึ่งจะได้แก่

- พลังงานแสงอาทิตย์ : ด้วยการใช้รังสีจากดวงอาทิตย์เพื่อให้ความร้อนและผลิตกระแสไฟฟ้า
- พลังงานจากน้ำ : จากการผลิตกระแสไฟฟ้าและการใช้เป็นแหล่งความร้อน/ความเย็น
- พลังงานจากดิน : จากการสะสมความร้อนในดิน
- พลังงานลม : จากการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยตรงและการเพิ่มสภาวะน่าสบาย
- พลังงานจากพืชพันธ์:จากการกันแดดและการระเหยของน้ำเพื่อสร้างความเย็น
- พลังงานจากสัตว์ : มูลสัตว์

สถาปัตยกรรมการออกแบบให้ตอบสนองต่อสภาพอากาศ (Climate Responsiveness) การสอดคล้องกับสภาพอากาศหมายถึงการออกแบบจัดวางพื้นที่ใช้สอยอาคารตามทิศทางแดด ทิศทางลมธรรมชาติ และการเลือกใช้วัสดุก่อสร้าง ไม่ร้อน ไม่หนาว ไม่ชื้น ไม่แห้งเกินไป ก่อนที่จะเริ่มอาศัยเครื่องจักรกลที่บริโภคพลังงานซึ่งหมายถึงการออกแบบ Passive Design ซึ่ง ปัจจุบันหลักการออกแบบให้ตอบสนองต่อสภาพอากาศในโรงเรียนสถาปัตยกรรมในประเทศไทย การเรียนการสอนเพื่อให้รู้และท่องจำทฤษฎีเท่านั้น ยังไม่ได้เน้นในวิชาปฏิบัติการออกแบบเท่าใดนัก สาเหตุส่วนหนึ่ง คือ การที่ทั้งอาจารย์และนักศึกษาสถาปัตยกรรมไม่มีความรู้ทางวิทยาศาสตร์อย่างเพียงพอที่จะเข้าใจวิธีการออกแบบให้สอดคล้องกับสภาพอากาศ (สถาบัน อาคารเขียวไทย, 2555)

อาคารสำนักงานในปัจจุบันมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเพื่อตอบสนองการขยายตัวทางเศรษฐกิจ โดยอาคารที่ถูกสร้างขึ้นใหม่ไม่ได้คำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือไม่ได้แนวความคิดในการออกแบบอาคารเพื่อพัฒนาเป็นอาคารเขียวทำให้อาคารสำนักงานไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร จากการวิจัยจำลองพลังงานจะพบว่าอาคารทางเลือกที่ใช้การเปลี่ยนระบบปรับอากาศประสิทธิภาพสูงขึ้นจะสามารถลดค่าการใช้พลังงานโดยรวมได้มากกว่าการใช้การเปลี่ยนวัสดุอาคารประสิทธิภาพสูงขึ้น และสามารถนำแสงธรรมชาติมาใช้ได้โดยมีค่าความส่องสว่างผ่านเกณฑ์ที่กำหนดจากการออกแบบอาคารสำนักงานเขียว และนำมาใช้วิเคราะห์เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบ และสามารถประเมินประสิทธิภาพของอาคารเพื่อวัดความเป็นอาคารเขียวในเบื้องต้นได้จากการศึกษา ในงานวิจัยนี้จึงได้ ทการศึกษาแนวทางในการออกแบบอาคารสำนักงานเพื่อให้มีความเป็นอาคารสีเขียวโดยได้ศึกษา และนำเกณฑ์ประเมิน LEED-NC (v.2009) จากการศึกษาวิจัยพบว่าว่ามีหัวข้อที่สามารถนำมาประเมินอาคารได้ในขั้นตอนการออกแบบร่าง โดยส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับการเลือกที่ตั้งโครงการที่มีคะแนนประเมินมากที่สุดและสามารถนำมาใช้ได้ตั้งแต่ขั้นตอนเริ่มต้นโครงการ ส่วนหมวดการใช้พลังงานและบรรยากาศจะเป็นการนำอาคารที่ออกแบบแล้วมาประเมินค่าการใช้พลังงานรวมเทียบกับอาคารอ้างอิง โดยจะจำลองอาคารทางเลือก 4 แบบที่มีการเลือกใช้วัสดุและระบบปรับอากาศที่แตกต่างกัน และหมวดคุณภาพสภาวะแวดล้อมในอาคารจะมีการจำลองแสงธรรมชาติเพื่อลดการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างได้

จากการวิจัยจะพบว่าอาคารที่ออกแบบมีแนวโน้มผ่านเกณฑ์ประเมิน LEED-NC(v.2009) ได้ ในเบื้องต้นทำให้ตลอดกระบวนการออกแบบต้องมีการจำลองอาคารคือ การจำลองพลังงาน การจำลองแสง ซึ่งจะต้องระบุคุณสมบัติของวัสดุอย่างละเอียด จากงานวิจัยได้เสนอแนวคิดของงานวิจัยควรมีการศึกษาวัสดุอาคารเพิ่มเติมเพื่อให้เกิดแนวทางเลือกใช้วัสดุได้อย่างหลากหลายมากยิ่งขึ้น (ยุทธวัชร อภิวาทนสิร, 2558)

2.3.4 มาตรฐาน LEED

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) คือ ระบบที่ถูกนำมา ใช้ประเมินมาตรฐานอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยสภาอาคารสีเขียว สหรัฐอเมริกา หรือ U.S. Green Building Council (USGBC) ได้เป็นผู้กำหนดเกณฑ์ในการประเมิน อาคารต่าง ๆ ทั้งในสหรัฐอเมริกาและประเทศต่างๆ เกือบทั่วโลกมานานกว่า 10 ปี (United States Green Building Council, 2009)

LEED แบ่งมาตรฐานออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. อาคารสร้างใหม่ (New Buildings) มุ่งเน้นเรื่องการออกแบบและการก่อสร้าง เพื่อให้เป็นอาคารที่ประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2. อาคารใช้งาน (Existing Buildings) จะพิจารณาจากประสิทธิภาพประสิทธิผล หรือ Performance ของการใช้อาคาร ซึ่งจะได้จากการวัดผลดำเนินการจริงและมาตรการควบคุมบำรุงรักษาการใช้งานอาคาร

2.3.5 หลักในการพิจารณาเพื่อประเมินระดับการรับรองของ LEED

1. การใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ (Water Efficiency: WE) : ลดความต้องการใช้น้ำประปาใน พื้นที่ด้านสถาปัตยกรรมการออกแบบ ลดความต้องการน้ำประปาในการชำระล้างโถสุขภัณฑ์และโถปัสสาวะ ลดการใช้น้ำโดยรวมภายในอาคาร

2. การใช้ประโยชน์จากสถานที่ตั้งอย่างยั่งยืน (Sustainable Sites: SS) : การสร้างผลกระทบต่อที่ตั้งอาคารต่ำช่วยลดการใช้รถส่วนตัว เพิ่มพื้นที่เปิดโล่งสีเขียว ลดการเกิดน้ำท่วม ลดปรากฏการณ์เมืองร้อนและลดการก่อมลภาวะทางแสง

3. วัสดุและทรัพยากร (Materials and Resources: MR) : การเลือกใช้วัสดุและทรัพยากรในการก่อสร้าง คือ มีการเตรียมพื้นที่คัดแยกขยะเพื่อการรีไซเคิล การนำอาคารหรือองค์ประกอบของอาคารมาใช้ใหม่ การลดขยะจากการก่อสร้าง การใช้วัสดุรีไซเคิล การใช้วัสดุพื้นถิ่น การใช้วัสดุปลูกทดแทนได้เร็ว และการใช้ไม้ที่ผ่านการรับรองว่ามาจากป่าทดแทนที่มีการรับรอง

4. คุณภาพสภาพแวดล้อมภายในอาคาร (Indoor Environmental Quality: IEQ) : การควบคุม สภาวะอากาศภายในอาคารเพื่อสภาวะอยู่สบายและสุขภาพที่ดีของผู้ใช้อาคาร โดยพิจารณาในเรื่อง การระบายอากาศ การดำเนินการจัดการกับมลภาวะทางอากาศ ที่อาจจะเกิดขึ้นทั้งในระหว่างการก่อสร้างและระหว่างการใช้งานอาคาร การเลือกใช้วัสดุที่มีสารระเหยที่เป็นพิษต่ำการส่งเสริมสภาวะอยู่สบาย

ที่ผู้ใช้อาคารสามารถควบคุมได้เอง การใช้แสงธรรมชาติและการออกแบบอาคารให้มองเห็น บรรยากาศภายนอก รวมถึงการป้องกันการเกิดเชื้อราที่อาจจะเกิดขึ้นด้วย

5. พลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere: EA) : การช่วยลดการใช้พลังงานของอาคาร สนับสนุนการใช้พลังงานหมุนเวียน การตรวจสอบการใช้พลังงานของอาคารที่เป็นระบบ สารทำความเย็นที่ส่งผลกระทบต่ำการซื้อพลังงานไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าที่ผ่านการรับรองว่าผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน

6. ลำดับความสำคัญของท้องถิ่น (Regional Priority: RP) : เนื่องจากปัญหาทางสิ่งแวดล้อม อาจแตกต่างกันไปในแต่ละท้องถิ่น จึงต้องมีการเน้นถึงความสำคัญในแต่ละท้องถิ่น โดยการทำคะแนนในหัวข้อนี้ จะได้รับคะแนนทันทีถ้าดำเนินการตามหัวข้อที่กำหนด

7. นวัตกรรมในการออกแบบ (Innovation in Design: ID) : เพื่อเป็นการส่งเสริม ให้เกิดการออกแบบอาคารด้วยรูปแบบใหม่และการมีวิธีการหรือหลักเกณฑ์ใหม่ๆ มาใช้ในการทำอาคารที่ยั่งยืน (Sustainable Building) ทำได้โดยการนำวิธีการ หรือผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีกำหนดในมาตรฐานมาใช้ รวมถึงการทำได้มากกว่าที่เกณฑ์กำหนด

ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะของประเภทของการประเมินอาคารสีเขียวด้านปัจจัยต่างๆ

2.3.6 อาคารสีเขียว

อาคารสำนักงานในปัจจุบันมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเพื่อตอบสนองการขยายตัวทางเศรษฐกิจ โดยอาคารที่ถูกสร้างขึ้นใหม่ไม่ได้คำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือไม่ได้แนวความคิดในการออกแบบอาคารเพื่อพัฒนาเป็นอาคารเขียวทำให้อาคารสำนักงานไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร จากการวิจัยจำลองพลังงานจะพบว่าอาคารทางเลือกที่ใช้การเปลี่ยนระบบปรับอากาศประสิทธิภาพสูงขึ้น

จะสามารถลดค่าการใช้พลังงานโดยรวมได้มากกว่าการใช้การเปลี่ยนวัสดุอาคารประสิทธิภาพสูงขึ้น และสามารถนำแสงธรรมชาติมาใช้ได้โดยมีค่าความส่องสว่างผ่านเกณฑ์ที่กำหนดจากการออกแบบอาคารสำนักงานเขียว และนำมาใช้วิเคราะห์เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบ และสามารถประเมินประสิทธิภาพของอาคารเพื่อวัดความเป็นอาคารเขียวในเบื้องต้นได้จากการศึกษา ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาแนวทางในการออกแบบอาคารสำนักงานเพื่อให้มีความเป็นอาคารสีเขียวโดยได้ศึกษา และนำเกณฑ์ประเมิน LEED-NC (v.2009) จากการศึกษาวิจัยพบว่าว่ามีหัวข้อที่สามารถนำมาประเมินอาคารได้ในขั้นตอนการออกแบบร่าง โดยส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับการเลือกที่ตั้งโครงการที่มีคะแนนประเมินมากที่สุดและสามารถนำมาใช้ได้ตั้งแต่ขั้นตอนเริ่มต้นโครงการ ส่วนหมวดการใช้พลังงานและบรรยากาศจะเป็นการนำอาคารที่ออกแบบแล้วมาประเมินค่าการใช้พลังงานรวมเทียบกับอาคารอ้างอิง โดยจะจำลองอาคารทางเลือก 4 แบบที่มีการเลือกใช้วัสดุและระบบปรับอากาศที่แตกต่างกัน และหมวดคุณภาพสภาวะแวดล้อมในอาคารจะมีการจำลองแสงธรรมชาติเพื่อลดการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างได้

ภาพที่ 2.2 แสดงลักษณะของภาพตัวอย่างอาคารสานักงานเขียวที่ผ่านมาตรฐาน LEED

2.4 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

2.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของผนัง

พลังงานความร้อนจะถ่ายเทอยู่ตลอดเวลา จากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าสู่วัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ทั้งนี้ความร้อนจากภายนอกสามารถถ่ายเทเข้ามาในอาคาร โดยผ่านทางผนังอาคารได้ 3 ทาง คือ

1. การนำความร้อน (Conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนจากโมเลกุลสู่โมเลกุลหรือการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านตัวกลางหรือมวลวัตถุ เช่น การถ่ายเทความร้อนที่ผ่านผนังหรือกำแพง เป็นต้น ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุ โดยการนำความร้อนได้ดีจะมีค่าสภาพนำความร้อนสูง เช่น โลหะ หิน และคอนกรีต เป็นต้น วัสดุที่ช่วยลดการนำความร้อนต้องมีค่าสภาพนำความร้อนต่ำ เช่น ใยแก้วและฉนวนความร้อน เป็นต้น นอกจากนี้การนำความร้อนยังขึ้นกับความหนาแน่นของวัสดุ ความชื้นของวัสดุและแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวทั้ง 2 ด้าน ของวัสดุที่ความร้อนถ่ายเท

2. การถ่ายเทความร้อนโดยการพา (Heat Transfer by Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อน โดยอาศัยการเคลื่อนตัวของอากาศเป็นสื่อกลาง เช่น ภายในอาคารความร้อนจะผ่านผนังเข้ามาโดยการนำ (Conduction) จากนั้น ผิวของผนังด้านในจะร้อนขึ้น ทำให้อากาศรอบๆ กำแพง ด้านในร้อนขึ้น อากาศที่ร้อนจะมีความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบา ก็จะลอยตัวสูงขึ้น อากาศภายในห้องที่อุณหภูมิต่ำกว่าจะหมุนเวียนไปแทนที่ เกิดการถ่ายเทความร้อนแบบการพา

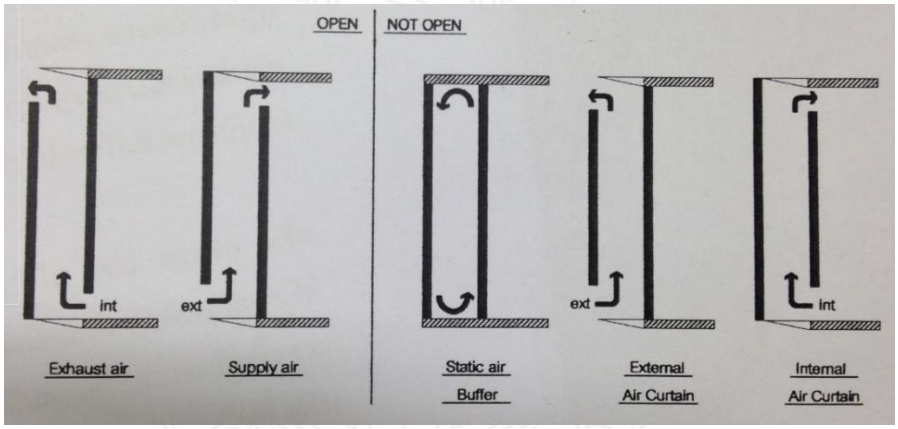
3. การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี (Heat Transfer by Radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อน โดยการแผ่รังสีผ่านอากาศหรือสุญญากาศ ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Waves) เช่น ความร้อนจากดวงอาทิตย์ถ่ายเทผ่านสุญญากาศมายังโลก เป็นต้น อาคารต่างๆ จะได้รับความร้อน โดยการแผ่รังสีทั้งจากรังสีตรงและรังสีกระจาย ซึ่งเป็นรังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ และจากรังสีความร้อนคลื่นยาวที่แผ่มาจากวัตถุ หรืออาคารอื่นรอบๆ

เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) กระทบผิววัตถุทึบแสง บางส่วนจะถูกดูดกลืนและสะท้อนบางส่วนออกมา ส่วนที่ถูกดูดกลืนจะทำให้วัสดุมีอุณหภูมิสูงขึ้น และจะถ่ายเทความร้อนให้แก่สิ่งแวดล้อมโดยการแผ่รังสี การพาความร้อนและถ่ายเทเข้าไปภายในตัวของมันเอง โดยการนำความร้อน (ตรึงใจ บูรณสมภพ 2539 : 31 – 32)

2.4.2 การถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุโปร่งใส ในวัตถุโปร่งใส เช่น กระจก หรือพลาสติกใส จะมีลักษณะที่แตกต่างจากวัตถุทั่วไป คือ ที่วัตถุโปร่งใส ซึ่งจะมีคุณสมบัติพิเศษที่ยอมให้รังสีคลื่นสั้นส่องผ่านไปได้ แต่จะมีสภาพทึบต่อรังสีคลื่นยาว โดยรังสีคลื่นยาวดังกล่าวจะเกิดขึ้นจากการแผ่รังสีกลับ (Re-radiation) ของวัตถุที่ถูกรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบ เมื่อพื้นผิวภายในที่ได้รับการแผ่รังสีคลื่นสั้นและดูดซึมไว้ตามคุณสมบัติของวัสดุ และดูดกลืนเอาไปไว้ในโมเลกุลของผิวด้านนอกของกระจกและถ่ายเทไปยังโมเลกุลที่อยู่ถัดไปข้างใน โดยการนำความร้อนจนกระทั่งถึงผิวด้านในของกระจกจากนั้นความร้อนจะถูกส่งไปภายในอาคารก็จะแปรสภาพรังสีดังกล่าวเป็นพลังงานความร้อนในรูปของรังสีคลื่นยาว และแผ่รังสีกลับสู่สภาพแวดล้อมภายนอก ดังนั้นเมื่อสิ่งที่กั้นแบ่งระหว่างสภาพแวดล้อมภายในและภายนอกเป็นวัสดุโปร่งใส เช่น กระจกจากคุณสมบัติดังกล่าว ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นภายในก็จะถูกเก็บกักไว้ภายในโดยจะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์จะตกกระทบที่ผิวกระจกด้านนอก ความร้อนบางส่วนจะสะสมส่งผ่านและสะท้อนกลับออกไปยังสู่บรรยากาศภายนอก (Lechenr,N.1991.)

2.4.3 การไหลของอากาศในช่องผนัง (Air flow concept) การไหลของอากาศในช่องผนังของ double skin façade สามารถแบ่งได้เป็น 2 ระบบใหญ่ๆ คือ

1. ระบบที่มีการเปิดผนังของช่องอากาศระหว่างภายในกับภายนอกอาคารเชื่อมกัน (open cavity) ระบบนี้ยังแบ่งเป็น
   - การใช้ช่องผนังเป็นช่องระบายอากาศของอาคาร (exhaust air)
   - การใช้ช่องผนังเป็นช่องนำอากาศเข้าอาคาร (supply air)
2. ระบบที่ไม่มีการเปิดผนังของช่องอากาศระหว่างภายในกับภายนอกอาคารให้เชื่อมกัน (non-open cavity) ระบบนี้ยังแบ่งเป็น
   - ช่องผนังปิดตายไม่มีช่องเปิดทั้งผนังภายนอกและภายใน (static air buffer)
   - ช่องผนังที่ติดภายนอกเปิดเป็นช่องระบายอากาศไหลเวียนเข้าและออกผนังชั้นในติดตาย (external air curtain)
   - ช่องผนังที่ติดภายในอาคารเปิดเป็นช่องระบายอากาศไหลเวียนเข้าและออกผนังภายนอกติดตาย (internal air curtain)



ภาพที่ 2.3 แสดงรูปแบบการไหลเวียนอากาศของ double skin façade
ที่มา : คัดลอกจาก http://www.tamu.edu (Texas A&M University), March 25, 2011.

2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับการระบายอากาศ

การระบายอากาศ (Ventilation) คือ การถ่ายเทอากาศภายในห้องออกไปโดยให้อากาศใหม่ซึ่งสดชื่นกว่าเข้ามาแทนที่ ในการออกแบบอาคารในเขตร้อนชื้นโดยคำนึงถึงการถ่ายเทอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ และทำให้มีลมพัดผ่านเข้ามาในห้องโดยรอบร่างกายของผู้ที่อยู่อาศัยเพื่อเพิ่มความความสบายให้แก่ร่างกาย ทำให้ได้รับอากาศบริสุทธิ์จากภายในห้อง ช่วยลดความร้อนและความชื้น ซึ่งประเทศในเขต

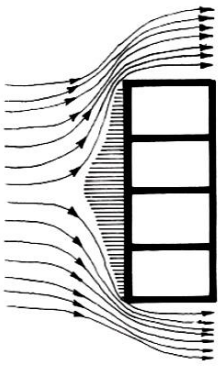
ร้อนชื้นนี้ส่วนใหญ่ต้องการลมตลอดทั้งปี แม้แต่ประเทศในเขตอบอุ่นก็ต้องการกระแสลมในหน้าร้อนหรือการถ่ายเทอากาศในฤดูอื่นๆเช่นเดียวกัน ดังนั้นการออกแบบช่องเปิดในตัวอาคารจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการที่จะทำให้ผู้อยู่อาศัยได้รับความสบาย (ตรึงใจ บูรณสมภพ, 2539)

2.5.1 กระแสลม

- การเกิดกระแสลมหรือการเคลื่อนไหวของอากาศเกิดได้จาก
- ความแตกต่างของความกดอากาศ
- ความแตกต่างของอุณหภูมิ

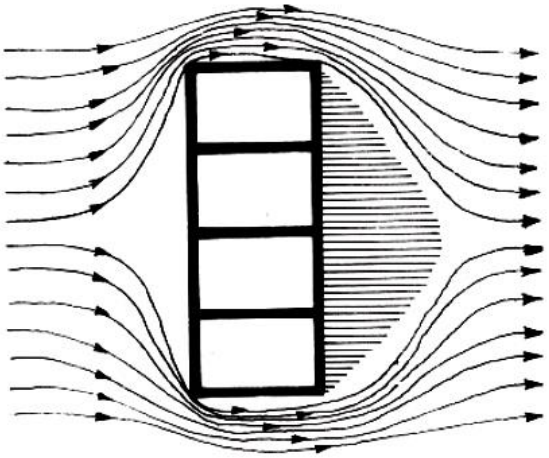
เมื่อลมพัดผ่านอาคารจะพัดโอบรอบอาคารทำให้เกิดความกดอากาศสูงคือส่วนที่มาปะทะผนัง ส่วนที่มีความกดอากาศต่ำคือลมในเขตด้านหลังอาคาร ลมที่พัดผ่านห้องเกิดจากอากาศที่ถูกบังคับให้ผ่านช่องเปิดด้วยความกดสูงและผ่านช่องเปิดอีกด้านสู่ความกดที่ต่ำกว่าซึ่งเหมือนกันกับลมทั่วๆไป และอากาศภายในอาคารก็เป็นเช่นเดียวกัน ความแตกต่างของอุณหภูมิ เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของอากาศหรือลมเช่นกัน แต่ตามธรรมชาติแล้วจะเกิดเป็นส่วนน้อย กระแสลมตามธรรมชาติโดยมากจะเกิดจากความกดอากาศที่ต่างกันมากกว่าอุณหภูมิที่ต่างกัน หากมีช่องทางเข้าของลมอยู่ด้านหน้าเดียวของห้องในทิศทางที่รับลมก็จะไม่เกิดผลอันใด เพราะผนังด้านตรงข้ามกับหน้าต่างทางลมเข้านั้นเป็นเหมือนเขื่อนบังลมซึ่งจะทำให้เกิดบริเวณความกดอากาศสูงในอาคาร แต่ถ้าในห้องนั้นอยู่ตรงกันข้ามกับด้านที่รับลมก็จะเกิดความกดอากาศต่ำ

เพื่อให้เกิดการถ่ายเทของอากาศต้องออกแบบให้เกิดบริเวณความกดอากาศสูงและความกดอากาศต่ำต่อเนื่องกัน ที่สำคัญต้องมีช่องทางเข้าด้านบริเวณความกดอากาศสูงและช่องทางออกด้านความกดอากาศต่ำ ดังนั้นหากทำช่องเปิดบนผนังด้านที่ติดกับบริเวณความกดอากาศสูงเพื่อให้ลมเข้าและบนผนังด้านที่มีความกดอากาศต่ำเพื่อให้ลมออก ก็จะเกิดเป็นกระแสลมพัดผ่านห้องเพื่อถ่ายเทและระบายอากาศได้ตามธรรมชาติ



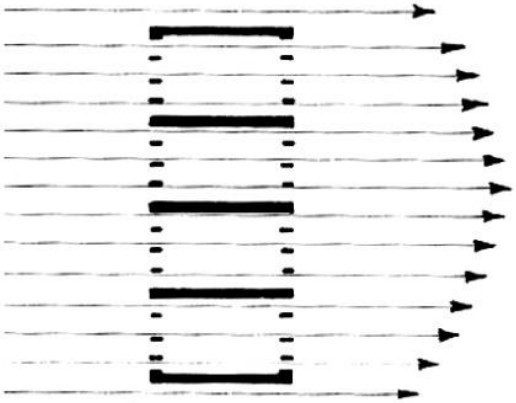
ภาพที่ 2.4 แสดงบริเวณความกดอากาศสูงโดยทั่วไปเกิดบริเวณใกล้ฝาผนังของอาคารที่ถูกลมปะทะหรือผนังอาคารด้านที่บังกระแสลม

ที่มา : ตรึงใจ บูรณสมภพ, การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในด้านการประหยัดพลังงาน (กรุงเทพฯ : บริษัทอัมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน), 2539), 67.



ภาพที่ 2.5 แสดงลมที่พัดผ่านด้านข้างหรือเหนืออาคารซึ่งทำให้เกิดบริเวณความกดอากาศต่ำ

ที่มา : ตรึงใจ บูรณสมภพ, การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในด้านการประหยัดพลังงาน (กรุงเทพฯ : บริษัทอัมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน), 2539), 67.



ภาพที่ 2.6 แสดงกระแสลมพัดผ่านห้อง

ที่มา : ตรึงใจ บูรณสมภพ, การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในด้านการประหยัดพลังงาน (กรุงเทพฯ : บริษัทอัมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน), 2539), 68.

อัตราความเร็วลมที่พัดผ่านร่างกาย

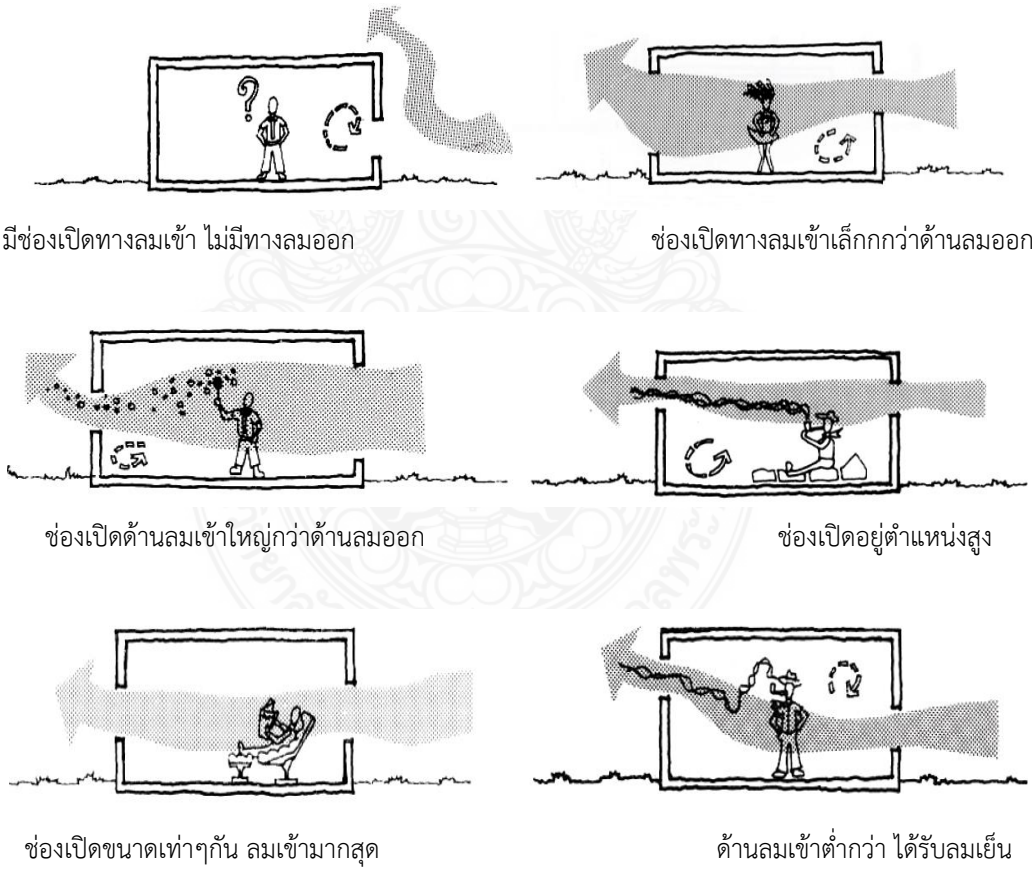
0.25 เมตรต่อวินาที ไม่รู้สึก

0.25 – 0.5 เมตรต่อวินาที รู้สึกสบายโดยไม่รู้ส่ามีลมมาปะทะ

0.50 – 1 เมตรต่อวินาที รู้สึกสบายโดยรู้ว่ามีลม

2.5.2 ลักษณะของช่องเปิด

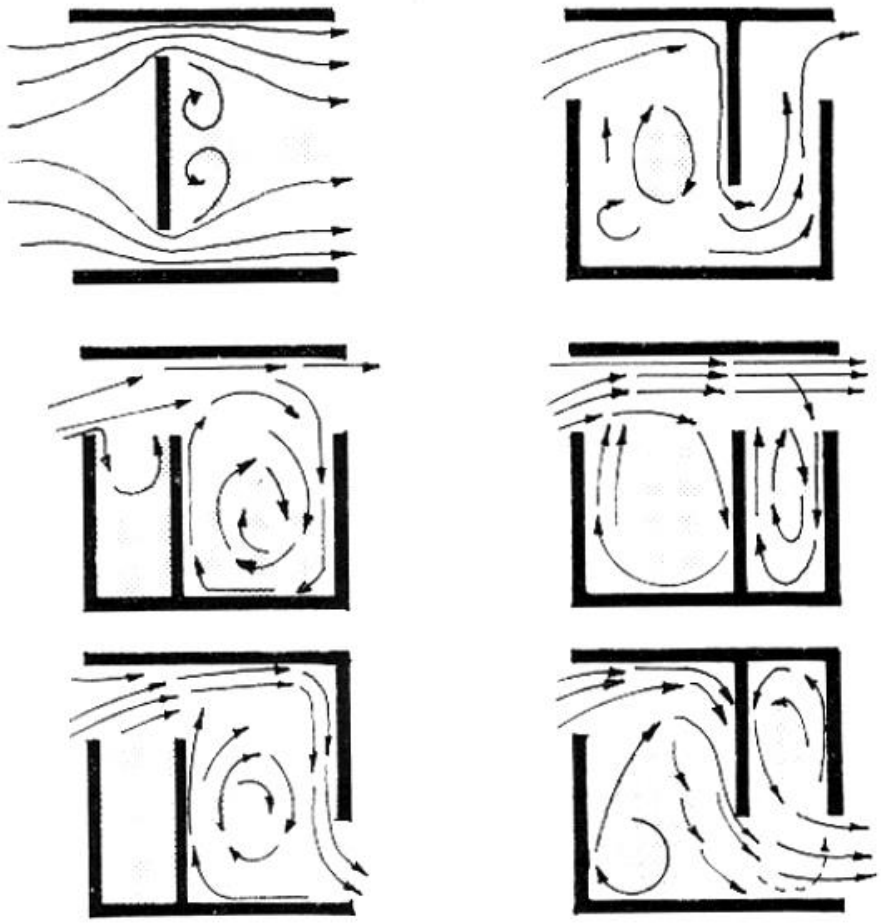
ลักษณะของช่องเปิด ขนาดและตำแหน่งของช่องเปิดที่ผนังมีอิทธิผลต่อทิศทางปริมาณและความเร็วของกระแสลมที่พัดผ่านห้องต่างๆ ภายในอาคารเป็นอย่างมาก การระบายอากาศโดยวิธีทางธรรมชาตินั้นนอกจากจะต้องคำนึงถึงช่องเปิดให้ลมเข้าแล้วยังจำเป็นต้องคำนึงถึงช่องเปิดเพื่อให้ลมออกด้วยถึงจะมีทิศทางปริมาณและความเร็วลมที่พอเหมาะพอดีกับพื้นที่ภายในอาคารในแต่ละพื้นที่ เช่นหากต้องการให้มีลมผ่านเข้ามามากที่สุดต้องทำให้ช่องเปิดทางเข้าและทางออกมีขนาดเท่าๆ กัน แต่หากต้องการให้ลมผ่านเข้ามาด้วยความเร็วสูงก็จำเป็นต้องทำให้ช่องลมปิดทางออกเล็กกว่าทางเข้า โดยมีแนวทางของหลักการเปิดเพื่อลักษณะของลมภายในแต่ละประเภทดังนี้



ภาพที่ 2.7 แสดงลักษณะช่องเปิดแบบต่างๆ

ที่มา : ตรึงใจ บูรณสมภพ, การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในด้านการประหยัดพลังงาน (กรุงเทพฯ : บริษัทอัมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน), 2539), 69 – 70.

ผนัง partition ตู้ ฯลฯ เป็นสิ่งที่มีส่วนในการเปลี่ยนการไหลของกระแสลมและลดปริมาณและแรงลม ส่วนที่ไม่ได้ลมจะร้อนและอับ ดังนั้นผนังกั้นห้องจึงควรมีบานเปิด เช่นประตูบานเกล็ด โดยจะมีแรงลมมากที่สุดเมื่อช่องเปิดลมเข้าและออกอยู่ตรงกัน ทั้งนี้ต้องไม่มีเครื่องกีดขวาง อาคารที่มีลักษณธแคบตื้นจะมีการระบายอากาศที่ดีกว่าอาคารที่มีลักษณะลึก



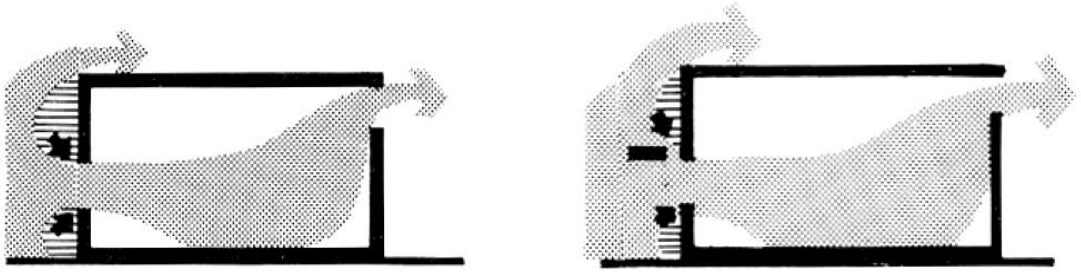
ภาพที่ 2.8 แสดงการไหลของกระแสลมเมื่อมีผนังภายในห้อง

ที่มา : ตรึงใจ บูรณสมภพ, <u>การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในด้านการประหยัดพลังงาน</u> (กรุงเทพฯ : บริษัทอัมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน), 2539), 71.

เราจะรู้สึกเย็นสบายเมื่อมีลมพัดผ่านรอบๆตัว แต่บางเวลาการบังคับทิศทางลมตามต้องการก็เป็นไปได้ยาก ชนิดของบานหน้าต่างมีผลต่อการบังคับทิศทางลมเช่นกัน อย่างเช่นหน้าต่างบานพลิกจะทำให้ลมพัดผ่านสูงเหนือศีรษะซึ่งจะไม่ทำให้เกิดภาวะน่าสบาย

2.5.3 รูปแบบการไหลของกระแสลม (Air flow pattern)

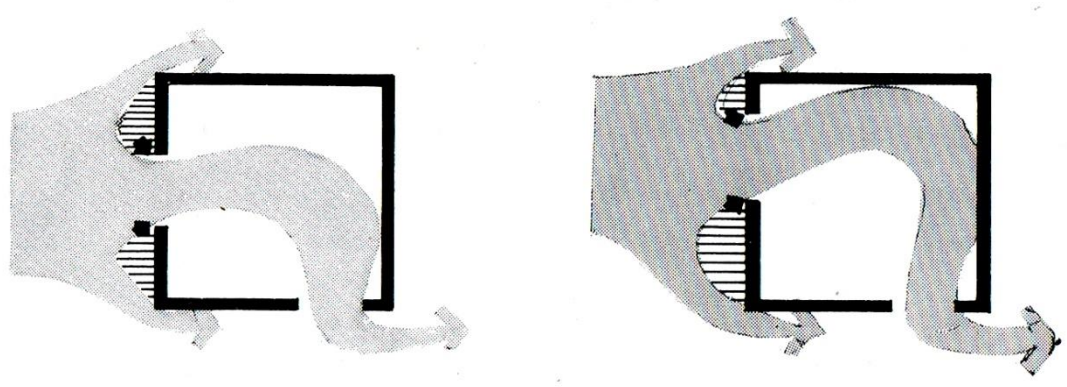
รูปแบบการไหลของกระแสลมมีผลอย่างมากต่อภาวะน่าสบายและการระบายอากาศด้วยวิธีตามธรรมชาติ เช่น ในฤดูหนาวที่พัดขึ้นเพดานจะดีกว่าลมที่พัดผ่านร่างกายโดยตรงในหน้าร้อน เนื่องเพราะจะทำให้กระแสลมเย็นและบริสุทธิ์เข้ามาผสมกับอากาศภายในห้องก่อนจะวกลงมาข้างล่าง เป็นต้น โดยเราสามารถออกแบบเพื่อบังคับการไหลของกระแสลมภายในห้องด้วยวิธีต่างๆ ได้



ภาพที่ 2.9 แสดงการเปิดช่องเปิดเพื่อให้รับลมผ่านในระดับความสูงร่างกาย

ที่มา : ตรึงใจ บูรณสมภพ, การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในด้านการประหยัดพลังงาน (กรุงเทพฯ : บริษัทอัมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน), 2539), 72.

การดัดแปลงแก้ไขการไหลของกระแสลมให้อยู่ในรูปที่ต้องการได้โดยการกะระยะช่องเปิดบนผนัง การเปิดประตูหน้าต่าง และการทำแผงบังแดด ลมที่ผ่านเข้ามาในห้องจะถูกบังคับโดยความดันของอากาศบริเวณส่วนปิดทึบโดยรอบช่องเปิด



ภาพที่ 2.10 แสดงการไหลของกระแสลมจากการบังคับช่องเปิด

ที่มา : ตรึงใจ บูรณสมภพ, การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในด้านการประหยัดพลังงาน (กรุงเทพฯ : บริษัทอัมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน), 2539), 73.

2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับผนัง 2 ชั้นที่มีช่องอากาศ

ผนัง 2 ชั้นเป็นกลยุทธ์หนึ่งในระบบป้องกันรังสีความร้อน (Radiant Barrier System) ซึ่งประกอบไปด้วยช่องว่างอากาศ ซึ่งด้านหนึ่งของช่องว่างหรือมากกว่าหนึ่งด้าน ทำหน้าที่เป็นตัวสกัดกั้นรังสีที่ส่งผ่านระหว่างพื้นผิวที่แผ่รังสีความร้อนออกมา ประโยชน์ที่ได้รับจากการติดตั้งระบบป้องกันรังสีความร้อนนอกจากจะลดค่าไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเครื่องปรับอากาศแล้วยังช่วยสร้างสภาวะน่าสบาย (Comfort Zone) ด้วย

การใช้ระบบผนัง 2 ชั้นในเขตภูมิอากาศร้อนชื้นและร้อนแห้ง เป็นแนวคิดหนึ่งในการปรับอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ (Passive) เป็นการลดความร้อนจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ โดยให้ผนังชั้นนอกเป็นร่มเงาแก่ผนังชั้นใน จากการวิจัยเรื่อง Thermal Performance of Double shell System in Hot-humid and Hot-dry Climates โดย (Shaaban : 1981) ได้ทดสอบประสิทธิภาพในการลดความร้อนของระบบ Double Shell ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ร่วมการทดสอบด้วยหุ่นจำลอง ได้ชี้ให้เห็นว่ารังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ได้ถูกกำบังไว้ด้วยผนังชั้นนอก (Outel Shell) ได้ทั้งหมด ซึ่งดูได้จากการลดภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ของเครื่องปรับอากาศ

การระบายอากาศในช่องว่างระหว่างผนังหลักการระบายอากาศในช่องว่างระหว่างผนังชั้นนอกกับผนังชั้นในเริ่มต้นมีใช้กันตั้งแต่ราวทศวรรษที่ 1930 ในประเทศฝรั่งเศส ซึ่งเป็นการระบายอากาศระหว่างผนังกระจกซึ่งเรียกว่า ระบบผนัง 2 ชั้น (Double Facades System, Ventilated Façade) หรือผนังกระจก 2 ชั้น (Double Glazed System) มีหลักการ คือ แสงอาทิตย์จะส่องผ่านผนังชั้นนอก ซึ่งเป็นกระจกและเกิดการสะสมความร้อนภายในช่องอากาศทำให้อากาศร้อนลอยตัวสูงขึ้นและไหลออกทางช่องเปิดส่วนอากาศที่เย็นกว่าจะไหลเข้ามาแทนที่ แต่ในระยะแรกแนวความคิดนี้ยังไม่ได้แพร่หลายนัยต่อมาผนังระบบนี้ถูกนำมาใช้กับอากาศสำนักงานในประเทศสหรัฐอเมริกาในราวทศวรรษที่ 1980 และได้แพร่หลายไปยังทวีปยุโรป (Shang – shiouLi : 2001) [Online]

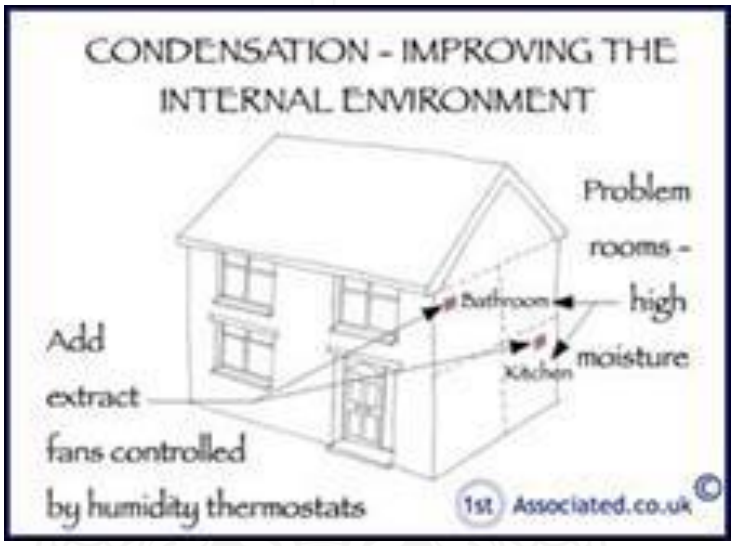
จากการศึกษาคุณสมบัติของผนัง 2 ชั้น (Double Façade System) ในรายงานเรื่อง Thermal performance of a supply-air window ของ S.A Barak at พบว่าการระบายอากาศนี้สามารถลดปริมาณความร้อนในช่องว่างอากาศได้ถึง 50% โดยประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้

- การระบายอากาศ โดยวิธีธรรมชาติ หรือใช้เครื่องกลช่วย
- เป็นอาคารชั้นเดียว หรือมีหลายชั้น
- คุณสมบัติของกระจกที่ใช้
- ความกว้างของช่องอากาศ
- ตำแหน่งและลักษณะของแผงบังแดด (Poisrazis,H.2004)

ความร้อนสามารถ่ายเทเข้าสู่อาคารได้ด้วยวิธีต่างๆ 3 ทาง คือ การนำ การพา และการแผ่รังสี ความร้อนจะส่งผ่านจากที่ซึ่งมีอุณหภูมิที่สูงกว่าไปสู่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า เนื่องจากอากาศเป็นตัวนำความ

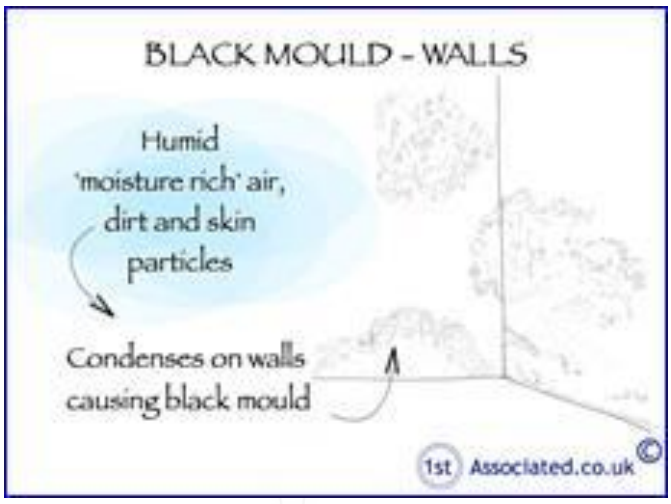
ร้อนที่ไม่ดี การนำและการพาความร้อนต้องอาศัยการส่งผ่าน โดยตัวกลางเท่านั้น ซึ่งการแผ่รังสีมีความแตกต่างจากการนำและการพาคือ ไม่ขึ้นอยู่กับตัวกลางแต่สามารถส่งผ่านสุญญากาศได้เมื่ออุณหภูมิที่แตกต่างกัน รังสีจะเดินทางเป็นเส้นตรงผ่านที่ว่าง ซึ่งเป็นอากาศถูกดูดซึม โดยอุณหภูมิที่ต่ำกว่า การใช้ประโยชน์จากช่องว่างอากาศเป็นการถ่ายเทความร้อน โดยการพา เพื่อให้เกิดการหมุนเวียนอากาศเป็นการลดความร้อนที่จะถ่ายเทเข้าสู่อาคาร การไหลของอากาศในช่องว่างอากาศกลางคืนจะไหลขึ้นส่วนในเวลากลางวันจะไหลลง

2.7 วิธีการที่ความชื้นผ่านระบบกรอบอาคาร



ภาพที่ 2.11 แสดงลักษณะวิธีการที่ความชื้นผ่านระบบกรอบอาคาร
ที่มา : http://www.1stassociated.co.uk

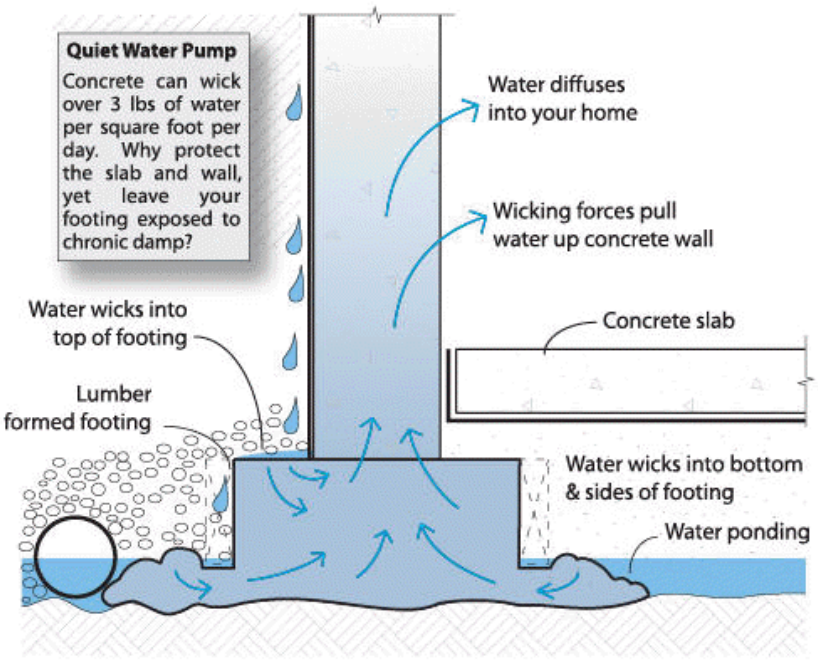
2.7.1 Liquid Flow ความชื้นในสภาวะของเหลวที่เข้ามาในอาคาร เช่น น้ำฝนที่มาจากรางระบายน้ำฝนที่อุดตันและไหลล้นเข้ามาในอาคาร การเดินท่อน้ำในผนังและเกิดปัญหาท่อชำรุดทำให้น้ำซึมผ่านผนังเข้าในอาคาร ตลอดจนสภาวะน้ำท่วม เป็นต้น



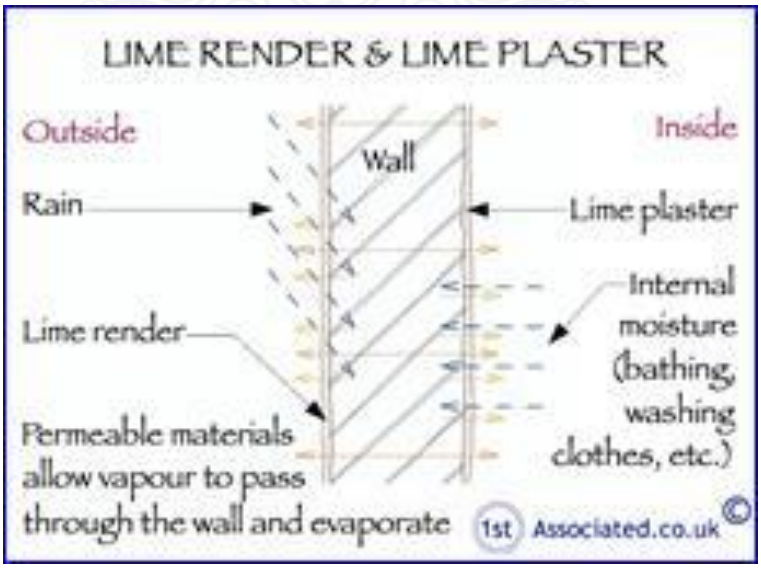
ภาพที่ 2.12 แสดงลักษณะความชื้นในสภาวะของเหลวที่เข้ามาในอาคาร
ที่มา : http://www.1stassociated.co.uk

ภาพที่ 2.13 แสดงลักษณะความเสียหายที่เกิดจากน้ำซึมผ่านผนังเข้าในอาคาร
ที่มา : http://www.1stassociated.co.uk

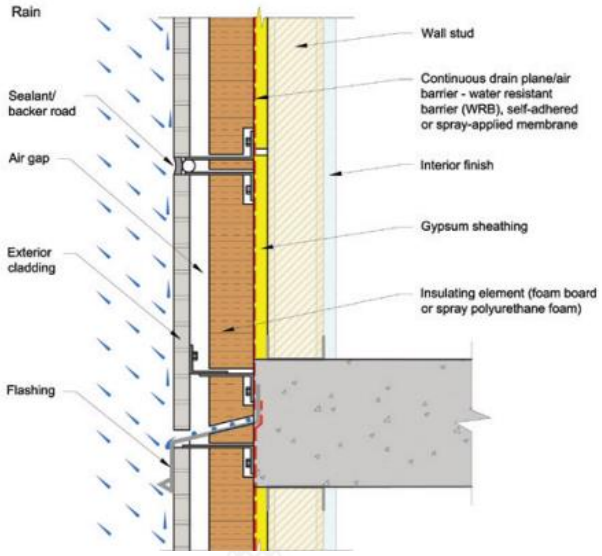
2. Capillary Suction เช่น การดูดซึมน้ำผ่านรูพรุนเล็กๆ ที่อยู่ในวัสดุที่ใช้ทำเป็นผนังหรือพื้นอาคารส่วนที่สัมผัสกับดินที่ชุ่มน้ำ ที่เรียกว่า "Rising Damp" และการดูดซึมน้ำบริเวณชิ้นไม้ของผนังที่ซ้อนทับกัน เป็นต้น



ภาพที่ 2.14 แสดงลักษณะของการดูดซึมน้ำผ่านผนังหรือพื้นอาคาร
ที่มา : www. buildblock.com



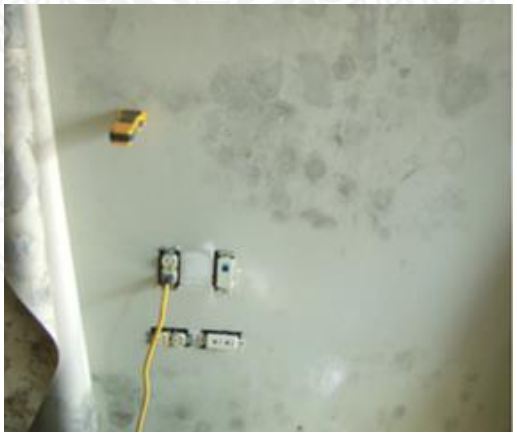
ภาพที่ 2.15 แสดงลักษณะการดูดซึมน้ำบริเวณชิ้นไม้ ของผนังที่ซ้อนทับกัน
ที่มา : http://www.1stassociated.co.uk



ภาพที่ 2.16 แสดงลักษณะการดูดซึมน้ำของผนังที่ซ้อนทับกัน

ที่มา : https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-08/documents/moisture-control.pdf

3. Air movement เช่น อากาศที่รั่วซึมผ่านบริเวณรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนของผนังที่ไม่ได้มีการใช้วัสดุอุดปิดอย่างเหมาะสม ช่องเจาะที่บริเวณผนัง เช่น ปลั๊กไฟ และ รอยต่อระหว่างผนังกับวัสดุมุงหลังคา



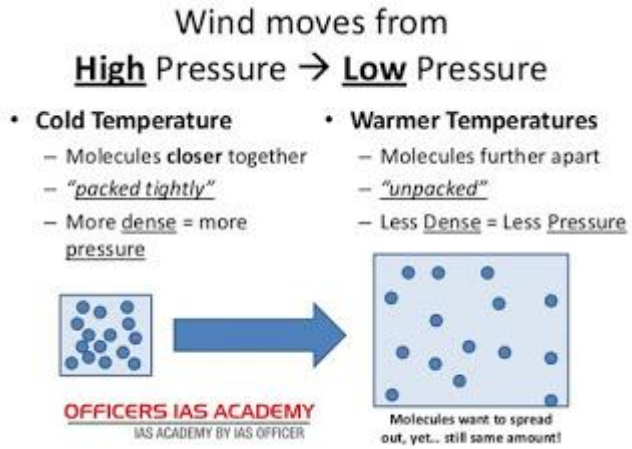
ภาพที่ 2.17 แสดงลักษณะของผนังที่ไม่ได้มีการใช้วัสดุอุดปิดอย่างเหมาะสม

ที่มา : https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-08/documents/moisture-control.pdf

4. Vapor Diffusion การแพร่ของความชื้นที่ผ่านวัสดุกรอบอาคาร โดยการแพร่ของไอน้ำซึ่งแพร่จากบริเวณที่ความดันไอสูง (High Vapor Pressure) ไปยังบริเวณที่มีความดันไอน้ำที่ต่ำ (Low Vapor Pressure)

2.7.2 คุณสมบัติในการให้ไอน้ำแพร่ผ่านได้ของวัสดุ

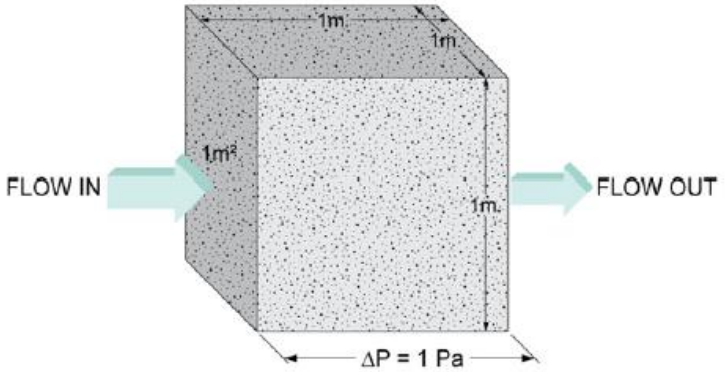
ในอากาศที่มีความชื้นจะมีความดันไอน้ำที่มากกว่าอากาศที่แห้ง การแพร่ผ่านของไอน้ำที่ผ่านวัสดุจะแพร่จากบริเวณที่มีความดันไอน้ำสูงไปยังบริเวณที่มีความดันไอน้ำต่ำกว่า นอกจากนี้การแพร่ยังมีทิศทางจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า



ภาพที่ 2.18 แสดงลักษณะการแพร่ของไอน้ำซึ่งแพร่จากบริเวณที่ความดันไอสูง (High Vapor Pressure) ไปยังบริเวณที่มีความดันไอน้ำที่ต่ำ (Low Vapor Pressure)
ที่มา : http://officersiasacademy.blogspot.com

คุณสมบัติของวัสดุในการให้ไอน้ำแพร่ผ่านได้มากหรือน้อย

1. Water Vapor Permeability (δ) คือ ปริมาณไอน้ำ [ng] ที่ผ่านวัสดุที่มีพื้นที่ หนึ่งหน่วย [m^2] และมีความหนาหนึ่งหน่วย [m] ในช่วงเวลาหนึ่งหน่วย [s] ซึ่งเกิดขึ้นจากความแตกต่างของความดันไอน้ำที่ผิวของวัสดุทั้งสองด้านที่มีค่าหนึ่งหน่วย [Pa] ภายใต้อุณหภูมิและความชื้นที่กำหนดไว้ มีหน่วยเป็น [ng/Pa·s·m] ค่านี้เป็นคุณสมบัติของวัสดุ ค่าที่สูงแสดงว่าไอน้ำสามารถผ่านวัสดุนั้นได้ดีกวาค่าที่ต่ำ



ภาพที่ 2.19 แสดงลักษณะของค่า Water Vapor Permeability

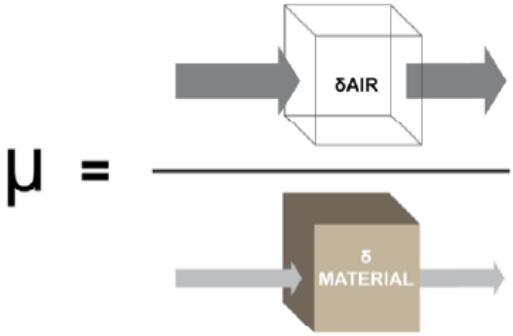
ที่มา : ปรีชญา มหัทธนทวี และ ทยากร จารุชัยมนตรี, การศึกษาเปรียบเทียบสภาพความชื้นและการใช้พลังงานของอาคารปรับอากาศที่ใช้ผนังภายนอกแบบต่างๆ โดยการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์, สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557. 10

2. Water Vapor Permeace มีค่าเท่ากับค่า Water Vapor Permeability หารด้วยความหนาของวัสดุ ค่า Vapor Permeace มีหน่วยเป็น [ng/Pa·s·m^2] ค่า Water Vapor Permeance จะลดลงเมื่อเพิ่มความหนาของวัสดุ วัสดุที่มีค่านี้สูงแสดงว่าไอน้ำสามารถแพร่ผ่านวัสดุนั้นได้ดีกว่าวัสดุที่มีค่านี้ต่ำ กรณีที่ค่านี้ใช้หน่วยเป็น IP-Unit คือ "perm" โดย 1 perm คือ ปริมาณน้ำ [grain] ที่แพร่ผ่านวัสดุที่มีพื้นที่หนึ่งตารางฟุต โดยมีค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำเท่ากับหนึ่งนิ้วปรอทในช่วงเวลาหนึ่งชั่วโมง [1 perm = 1 gr/hr·ft^2 ·in.Hg] โดย perm = 57.2 ng/Pa·s·m^2 การแปลงค่าตามสมการนี้ใช้ได้เฉพาะในกรณีอุณหภูมิอากาศเท่ากับ 0°C

3. Water Vapor Resistivity มีค่าเท่ากับส่วนกลับของค่า Water Vapor Permeability มีหน่วยเป็น [Pa·s·m/ng]

4. Water Vapor Resistance ค่าการต้านทานการแพร่ไอน้ำของวัสดุ มีค่าเท่ากับส่วนกลับของค่า Water Vapor Permeace มีหน่วยเป็น[Pa·s·m^2 /ng]

5. The Resistance to Water Vapor Diffusion Factor (μ-value) คือ อัตราส่วนระหว่างค่า Water Vapor Permeability ของอากาศนิ่ง กับค่า Water Vapor Permeability ของวัสดุ [ไม่มีหน่วย] ค่านี้บ่งบอกถึงความสามารถในการต้านทานการแพร่ไอน้ำของวัสดุนั้นๆ ว่ามีค่าเป็นกี่เท่าเมื่อเทียบกับค่าการต้านทานการแพร่ของไอน้ำของอากาศนิ่งที่มีความหนาเท่ากัน วัสดุชนิดเดียวกันจะมีค่า **μ-value** ที่เท่ากัน วัสดุที่มีค่านี้สูงแสดงว่าวัสดุนั้นมีความสามารถในการต้านทานการแพร่ของไอน้ำได้ดีกว่าวัสดุที่มีค่านี้ต่ำ



ภาพที่ 2.20 แสดงลักษณะของค่า The Resistance to Water Vapor Diffusion Factor (μ-value)
ที่มา : ปรีชญา มหัทธนทวี และ ทยากร จารุชัยมนตรี, การศึกษาเปรียบเทียบสภาพความชื้นและการใช้พลังงานของอาคารปรับอากาศที่ใช้ผนังภายนอกแบบต่างๆ โดยการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์, สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557. 11

6. Diffusion-equivalent Air Layer Thickness (Sd-value) คือ ค่าความหนาของอากาศที่นิ่ง (Motionless Air Layer) ที่สามารถต้านทานการแพร่ของไอน้ำได้เท่ากับค่าการต้านทานการแพร่ของไอน้ำของวัสดุที่มีความหนา d และมีค่า Resistance to Water Vapor Diffusion Factor เท่ากับ μ โดย Sd-Value มีค่าเท่ากับ μ คูณกับความหนา (d) ของวัสดุ (Sd-value = μ x d) มีหน่วยเป็น [m] วัสดุชนิดเดียวกันที่มีความหนาที่ต่างกันจะมีค่า Sd-value ที่ต่างกัน

ตารางที่ 2.1 แสดงค่า Vapor Permeance ของวัสดุอาคารและฟิล์ม (Building Materials and Films)

Material	Thickness	Thickness	Permeance	Permeance
	in	mm	gr/hr·ft^2 ·in.Hg.	ng/Pa·s·m^2
Concrete	8.000	203	0.40	23
Brick masonry	4.000	100	0.80	46
Concrete block, hollow	8.000	203	2.40	137
Gypsum wallboard	0.375	10	50.00	2860
Hardboard (Tempered)	0.125	3	5.00	286
Wood, sugar pine	1.000	25	0.4 to 5.4	23 to 309

ตารางที่ (ต่อ)

Material	Thickness	Thickness	Permeance	Permeance
	in	mm	gr/hr·ft^2 ·in.Hg.	ng/Pa·s·m^2
Plywood (Douglas fir, exterior glue	0.250	6	0.70	40
Plywood (Douglas fir, interior glue	0.250	6	1.90	109
Sheet, glass fiber with acylic resin	0.056	1	0.12	6.9
Sheet, glass fiber with polyester resin	0.480	12	0.05	2.9
Aluminum foil (Thick)	0.0010	0.03	0	0
Aluminum foil (Thin)	0.0004	0.01	0.05	2.9
Polyethelene (6 mil)	0.0060	0.15	0.06	3.4
Polyethelene (8 mil)	0.0080	0.20	0.04	2.3
Polyethelene (10 mil)	0.0100	0.25	0.03	1.7
Polyvinylchloride (PVC)	0.0040	0.10	0.8 to 1.4	46 to 80
Polyester	0.0076	0.19	0.08	4.6
Cellulose Acetate	0.0100	0.25	4.6	263
Vapor retarder paint	0.0031	0.08	0.45	26
Primer seater	0.0012	0.03	6.28	360
Vinyl-acrylic primer	0.0016	0.04	8.62	493
Semi-gloss, vinyl- acrylic enamel	0.0240	0.61	6.61	378
Exterior acylic hoouse and trim	0.0017	0.04	5.47	313
Flat paint (2 coats) on insulation board	-	-	4.00	229
Two coats of enamel on amooth plaster	-	-	0.5 to 1.5	29 to 86
Primers + sealer, on insulation board	-	-	0.9 to 2.1	51 to 120
Primers + flat oil paint on plaster	-	-	1.6 to 3.0	91 to 172

ที่มา : Harriman et al, 2008 : 177

2.7.3 การหน่วงการแพร่ของไอน้ำ (Vapor Retarder) ผ่านวัสดุ

การหน่วงการแพร่ของไอน้ำผ่านวัสดุ มีคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องสองคำ ได้แก่ "Vapor Retarder" และ "Vapor Barrier" โดยมีคำจำกัดความ ดังนี้

" Vapor Retarder " คือ วัตถุ (Element) ที่ออกแบบและติดตั้งในองค์อาคาร (Assembly) เพื่อหน่วงการเคลื่อนที่ของน้ำโดยการแพร่ของไอน้ำ โดยแบ่ง Vapor Retarder ได้เป็น 3 Class ดังนี้ คือ

Class I Vapor Retarder : 0.1 perm or less

Class II Vapor Retarder : 1.0 perm or less and greater than 0.1 perm

Class III Vapor Retarder : 1.0 perm or less and greater than 1.0 perm

"Vapor Barrier" คือ Vapor Retarder ที่จัดอยู่ในกลุ่ม Class I

Lstiburek (2006) ได้แบ่งวัสดุตามค่า "Water Vapor Permeance เป็น 4 ระดับ (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าการหน่วงการแพร่ของไอน้ำ

ระดับ (Class)	ค่า Water Vapor Permeance (a) [perm]	ตัวอย่างวัสดุ
Vapor impermeable ไอน้ำผ่านไม่ได้	$a \leq 0.1$	Rubber membranes, polyethylene film, glass, aluminum foil, sheet metal, oil-based paints, vinyl wall coverings, and foil-facer insulating sheathings
Vapor semi-impermeable กึ่งไอน้ำผ่านไม่ได้	$0.1 < a \leq 0.1$	
Vapor semi-permeable กึ่งไอน้ำผ่านได้	$1.0 < a \leq 10$	Plywood, OSB, unfaced expanded polystyrene (EPS), fiberfaced isocyanurate, heavy asphalt impregnated building papers, the paper and bitumen facing on most fiberglass batt insulation and most latex-based paints.
Vapor permeable ไอน้ำผ่านได้	$a > 10$	Unpainted gypsum board and plaster, unfaced fiberglass insulation, cellulose insulation, unpainted stucco, lightweight asphalt impregnated building papers, asphalt impregnated building fiber board, exterior gypsum sheathings, cement sheathings

ที่มา : Lstiburek 2006 : 4 ; Lstiburek 2002 : 40

วัสดุที่เมื่อเกิดรูรั่วจะทำให้ความสามารถในการต้านทานการแพร่ไอน้ำของวัสดุนั้นลดลงไปได้ ตัวอย่างเช่น Bitumen Membrane ที่มีความหนา 2.7 มม. ถ้าไม่มีรูเจาะมีค่า Sd-value โดยเฉลี่ยเท่ากับ 137.1 m เมื่อมีขนาดรูเจาะ (Percentage of perforation) 0.0476% ค่า Sd- value โดยเฉลี่ยจะลดลงเหลือเพียง 41.4 m

ปริมาณความชื้นที่แพร่ผ่านวัสดุในช่วงเวลาหนึ่ง สามารถคำนวนได้ตามสมการนี้

W_{vp} = A x Perm x (Ph - Pd) [ng/s]

W_{vp} = Vapor Permeance Load [ng/s]

Perm = Water Vapor Permeance [ng/s·m^2· Pa]

A = พื้นที่ผิวของวัสดุ [m^2]

Ph = แรงดันไอน้ำทางด้านที่มีความชื้น [Pa]

Pd = แรงดันไอน้ำทางด้านที่แห้ง [Pa]

2.7.4 Moisture Storage

วัสดุที่เป็น Hygroscopic Material เช่น ไม้ แผ่นยิปซัม สามารถดูดซับความชื้นที่มีอยู่ในอากาศได้ โดยวัสดุจะดูดซับความชื้นจนเกิดสมดุลความชื้น (Moisture Equilibrium) ซึ่งขึ้นกับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในขณะนั้น โดยปริมาณความชื้นในวัสดุ (Moisture Content) จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มสูงขึ้น การเกิดความชื้นในวัสดุ (Moisture region) สามารถแบ่งได้เป็น 3 ช่วง คือ

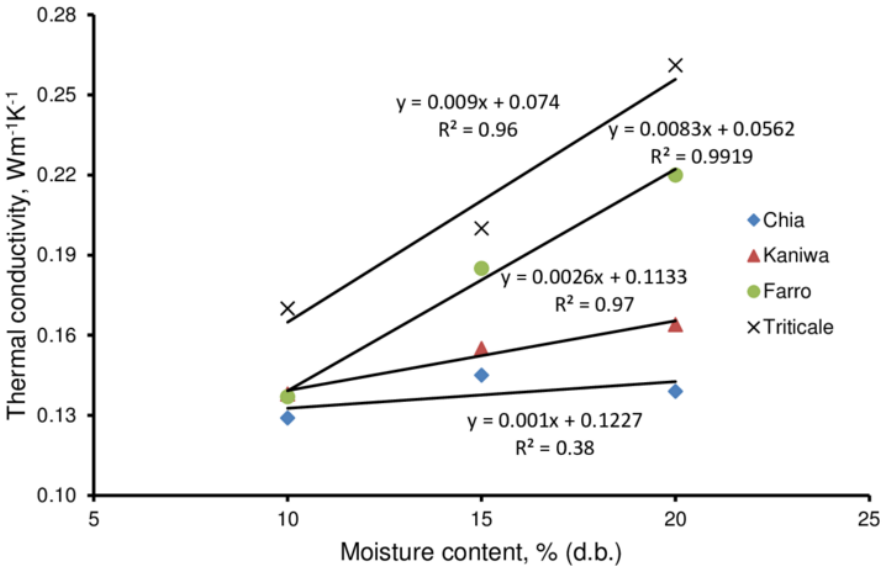
1. Sorption Moisture (or Hygroscopic) Region ช่วงนี้จะเริ่มต้นตั้งแต่สภาวะที่แห้ง (Dry State) ไปจนถึงสภาวะสมดุลของความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 95%

2. Capillary Water Region ช่วงนี้จะต่อเนื่องจากช่วงท้ายของ Sorption Region ไปจนถึงการอิ่มตัวของน้ำ (Free Water Saturate) ในช่วงนี้รูพรุนของวัสดุที่มีขนาดใหญ่จะถูกเติมเต็มด้วยน้ำจนถึงจุดอิ่มตัว

3. Super Saturated Region ช่วงนี้จะต่อเนื่องจากช่วงอิ่มตัวของน้ำ ไปจนถึงช่องว่างภายในวัสดุทั้งหมดเต็มไปด้วยน้ำ ในช่วงนี้ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะเท่ากับ 100% เสมอ

2.7.5 ความชื้นในวัสดุที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

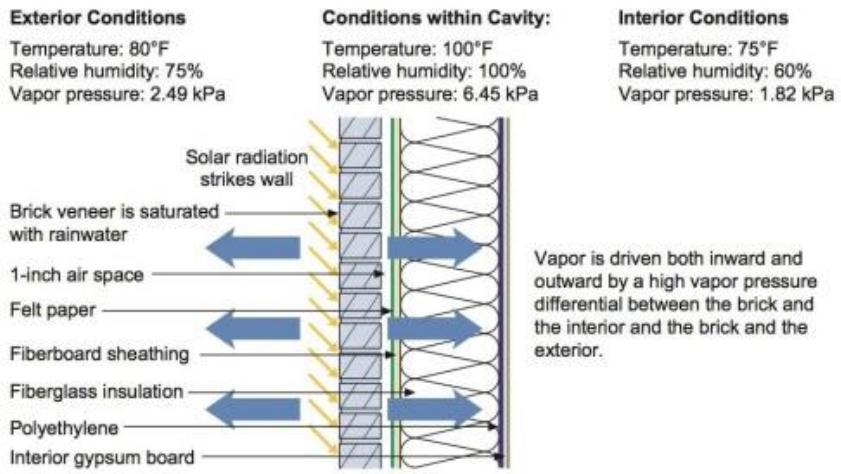
ความชื้นในวัสดุที่มีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) ของวัสดุเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ เนื่องมาจากน้ำที่อยู่ในวัสดุนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่สูงกว่าอากาศที่แทรกอยู่ในช่องว่างของวัสดุ



ภาพที่ 2.21 แสดงลักษณะของค่า Thermal Conductivity ที่เปลี่ยนไปตามปริมาณความชื้นในวัสดุ
ที่มา : https://www.researchgate.net

2.7.6 การแพร่ของไอน้ำที่ผนังภายนอกเมื่อได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์

ผนังภายนอกที่มีวัสดุชั้นนอกสุดเป็นวัสดุที่มีรูพรุน เชิน อิฐ เมื่อถูกฝนวัสดุจะดูดซับน้ำไว้ภายในหลังจากนั้นถ้าผนังส่วนนี้ได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ น้ำที่ดูดซับไว้ก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นและมีความดันไอน้ำที่สูงกว่าบริเวณที่อยู่โดยรอบ จึงทำให้เกิดการแพร่กระจายของไอน้ำจากวัสดุผนังส่วนนี้ไปยังบริเวณที่ติดกัน ซึ่งมีอุณหภูมิและความดันไอน้ำที่ต่ำกว่า โดยทิศทางการแพร่กระจายของไอน้ำเกิดขึ้นได้สองทิศทาง คือ แพร่ออกไปที่อากาศภายนอก และแพร่เข้าไปในช่องว่างอากาศภายในผนังหรือวัสดุที่อยู่ชั้นถัดไป ในกรณีของห้องปรับอากาศซึ่งมีอุณหภูมิผิวภายในที่ต่ำ ถ้ามีการติดตั้งแผ่นวัสดุป้อ งกันไอน้ำ เช่น แผ่นPolyethylene ที่ด้านหลังของแผ่นยิปซัมทำให้ไอน้ำไม่สามารถแพร่ผ่านไปยังแผ่นยิปซัมซึ่งอยู่ติดกับอากาศภายในห้องได้สะดวก ไอน้ำส่วนนี้จะเกิดการสะสมควบแน่นเป็นหยดน้ำที่บริเวณแผ่นป้องกันไอน้ำภายในผนัง ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาเชื้อราขึ้นในผนังได้



ภาพที่ 2.22 แสดงลักษณะการแพร่ของไอน้ำที่ผนังภายนอกเมื่อได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์
ที่มา : https://buildingscience.com

2.7.7 การหน่วงความชื้นของวัสดุ (Moisture Buffering of Material)

วัสดุที่เป็น Hygroscopic Material ที่อยู่ภายในอาคารสามารถดูดซับความชื้นจากอากาศ และคายความชื้นออกสู่อากาศที่อยู่แวดล้อมวัสดุนั้นได้ โดยการดูดซับและการคายความชื้นนี้มีผลให้เกิดการหน่วงความชื้นของอากาศภายในห้อง ทำให้ความชื้นภายในอาคารไม่แตกต่างกันมากในแต่ละช่วงเวลา Steeman et al. (2010) ได้อธิบายพฤติกรรมการหน่วงความชื้นของวัสดุ (Moisture Buffering of Material) ไว้ดังนี้ เมื่ออุณหภูมิของอากาศภายในห้องสูงขึ้น (ความชื้นสัมพัทธ์ลดลง) อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุจะเพิ่มสูงขึ้นด้วย ไอน้ำจากในวัสดุจะแพร่ออกมาสู่ภายในห้อง ในทางกลับกันเมื่ออุณหภูมิภายในห้องต่ำลง (ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น) ไอน้ำภายในอากาศจะถูกดูดซับเข้าไปในวัสดุ จึงทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องมีค่าค่อนข้างคงที่ นอกจากนี้ ในขณะที่วัสดุคายไอน้ำออกมานั้น จะเกิดการดึงเอาความร้อนแฝงที่อยู่ในอากาศ และเมื่อวัสดุดูดซับความชื้นจะมีการปล่อยความร้อนออกมาสู่อากาศภายในห้อง ซึ่งมีผลทำให้อุณหภูมิในห้องมีค่าที่ค่อนข้างคงที่กว่าการที่ไม่มีวัสดุที่เป็น Hygroscopic Material อยู่ภายในห้อง

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อความสามารถในการหน่วงความชื้นของวัสดุคือ ค่าการดูดซับ (Sorption) ความชื้นของวัสดุ และ ค่า Vapor Permeability ซึ่งค่าดังกล่าวนี้ โดยทั่วไปจะไม่คงที่ แต่จะเปลี่ยนไปตามค่าชื้นสัมพัทธ์

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการผลิต และสมบัติของแผ่นฝ้าและผนังกันความร้อนจากพืชในเขตพื้นที่ ประเทศไทย ซึ่งมีวัตถุประสงค์วิจัย 2 ประการ คือ 1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของเส้นใยพืชในเขตพื้นที่ประเทศไทย ที่เหมาะสมใน การพัฒนาและกระบวนการผลิตด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การขึ้นรูปวัสดุจากพืชเป็นแผ่นฝ้าและผนังฉนวนกันความร้อน 2. เพื่อ พัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นฝ้าและผนังฉนวนกันความร้อนจากพืช โดยให้ความสำคัญกับการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม ผลการวิจัยพบว่า 1. ด้านการศึกษาคุณลักษณะของเส้นใย พบว่า หญ้าค้า ธูปฤาษีและกระถินยักษ์ มีความเหนียวอยู่ในตัวมีความเหมาะสมที่จะพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เช่นทำสี ทำกลิ่น และนำไปผลิตเป็นของตกแต่งบ้าน ด้วย วิธีการถักทอ การอัดเป็นแผ่น ปั้นและการหล่อขึ้นรูป 2. ด้านการพัฒนาแผ่นฝ้าและฉนวนกันความร้อน พบว่า ตัวประสานที่เหมาะสม คือ กาวลาเท็กซ์ น้ำยางพารา ยูรีเทน ถือเป็นวัสดุประสานที่มีความโปร่งใส มีน้ำหนักเบา กันน้ำ กันแมลง ส่วนกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสมควรใช้การอัดเป็นแผ่น และ การหล่อขึ้นรูป สำหรับแผ่นฝ้าและฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยพืชที่ได้จากการทดลองจัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ดีประเภทหนึ่ง โดย การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติของวัสดุต้านแรงดึงสูงสุด พบว่า วัสดุ Sample 1 (A) มีค่าเฉลี่ยความต้านแรงดึงสูงสุด 0.84 เมกะพาสคัล (กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) และมีค่าเฉลี่ยการยืดตัว ณ จุดขาดร้อยละ 3.36 Sample 2 (B) มีค่าเฉลี่ย ความต้านแรงดึงสูงสุด 1.00 เมกะพาสคัล (กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) และมีค่าเฉลี่ยการยืดตัว ณ จุดขาดร้อยละ 5.22 Sample 3 (C) มีค่าเฉลี่ยความต้านแรงดึงสูงสุด 1.06 เมกะพาสคัล (กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) และมีค่าเฉลี่ยการยืด ตัว ณ จุดขาดร้อยละ 6.50 และการวิเคราะห์และทดสอบสมบัติของวัสดุสภาพนำความร้อน พบว่า วัสดุ มีค่าเฉลี่ยสภาพนำความ ร้อนอุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส ในช่วง 23.56 (วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน) และมีค่าเฉลี่ยสภาพนำความร้อน ณ อุณหภูมิร้อยละ 0.043 หลังจากนั้น ผู้วิจัยได้แบ่งการพัฒนาผลิตภัณฑ์ออกเป็น 2 แบบ คือ แผ่นฝ้าและฉนวนกันความร้อน โดยนำวัสดุแผ่นเส้นใย พืช+ตัวประสาน ในสัดส่วน 70: 30 และยังได้นำวัสดุที่ได้จากการทดลองมาทดลองผลิตเป็นของใช้ และของตกแต่งบ้านเพิ่มเติม ทั้งนี้ผู้วิจัยจากการประเมินความคิดเห็นของกลุ่มผู้ผลิต จำหน่ายผลิตภัณฑ์ และผู้บริโภคในภาพรวม พบว่า เห็นด้วยในระดับมาก ที่สุด

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของฉนวนความร้อนที่ผลิต จากใบยางพารากับฉนวนความร้อนที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป การศึกษาดำเนินการโดยใช้ห้องทดลองขนาดกว้าง 3.50 ม. ยาว 5.00 ม. สูง 2.50 ม. ภายในแบ่งเป็นห้องทดลองขนาด 1.00 x 2.00 ม. จำนวน 4 ห้องทดลอง ห้องทดลองถูกป้องกันความร้อนด้านทิศเหนือ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก โดยด้านทิศใต้เป็นเพียงด้านเดียว ที่ติดตั้งวัสดุทดลอง ห้องทดลองมีสภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงกันและไม่มีการปรับอากาศ ห้องทดลองที่ 1 ติดตั้ง ฉนวนใบยางพาราหนา 1 นิ้ว และอีก 3 ห้องทดลองติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว ฉนวนใยเซลโลกรีตหนา 1 นิ้ว และฉนวนโพลียูรีเทนโฟมหนา 1 นิ้ว ตามลำดับ การเก็บ

ข้อมูลใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ เก็บข้อมูลทุกๆ 2 นาที เป็นเวลา 2 วัน หรือ 48 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่า ฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากใบยางพารา มีประสิทธิภาพในการ ป้องกันการถ่ายเทความร้อนได้ใกล้เคียงกับฉนวนใยแก้วที่ความหนา 2 นิ้ว จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ ใช้เป็นแนวทางในการผลิตและพัฒนาฉนวนความร้อนจากใบยางพาราหรือวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรอื่นๆ เพื่อการประหยัดพลังงานภายในอาคารโดยที่เกษตรกร และประชาชนโดยทั่วไปที่สนใจสามารถผลิตขึ้นใช้ได้เอง

บทความวิจัยนี้กล่าวถึง การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติความเป็นฉนวนของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรระหว่างฉนวน ที่ผลิตจากซังข้าวโพดกับฉนวนที่ผลิตจากต้นมันสำปะหลัง ในระดับความหนาแน่นที่ต่างกัน เพื่อหาความหนาแน่นที่สามารถ ลดการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด ซึ่งพบว่าฉนวนที่มีความหนาแน่นน้อยจะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำกว่าฉนวนชนิด เดียวกันที่มีความหนาแน่นมาก โดยฉนวนต้นมันสำปะหลังความหนาแน่น 200 กก./ ลบ.ม. หนา 10 มม. จะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำ ความร้อนเท่ากับ 0.059 วัตต์/ เมตร เคลวินซึ่งสามารถลดอุณหภูมิภายในให้ต่ำลงประมาณ 2.3 องศาเซลเซียส จึงมีความเป็นไปได้ ในการนำมาใช้เป็นฉนวนอาคาร โดยเฉพาะบ้านเรือนในชนบท เนื่องจากมีต้นทุนต่ำและใช้วัสดุในท้องถิ่น นอกจากนี้เมื่อนำแผ่นที่ทำจากต้นมันสำปะหลังความหนาแน่น 800 กก./ ลบ.มหนา 10 มม. มาทำแผ่นผนังภายในแทน การใช้ไม้อัด พบว่าสามารถลดความร้อนเข้าสู่อาคารได้ดีกว่าไม้อัด 3.03 องศาเซลเซียส และมีต้นทุนวัสดุที่ถูกกว่ามาก อย่างไรก็ตาม ฉนวนและแผ่นผนังที่ทำจากต้นมันสำปะหลังยังต้องได้รับการพัฒนาในเรื่องคุณสมบัติทางกายภาพ การป้องกันแมลง การควบคุมการผลิต รวมไปถึงการพัฒนาจากการศึกษาวิจัยไปสู่การใช้งานจริง ซึ่งปัจจุบันมีฉนวนจากวัสดุ เหลือใช้ทางการเกษตรอีกมากที่มีการศึกษาวิจัย เช่น ฟางข้าว หญ้าแฝก เป็นต้น ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณค่าแก่วัสดุเหลือใช้เพราะ สามารถลดปริมาณขยะ ลดมลพิษอันเกิดจากการเผาทำลาย สร้างรายได้ให้กับชุมชนและยังสะท้อนอัตลักษณ์ทางสถาปัตยกรรม พื้นถิ่นได้อีกด้วย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยปอกับฉนวนความร้อน ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป การศึกษาดำเนินการโดยใช้บ้านทดลองขนาดกว้าง 3.0 เมตร ยาว 3.0 เมตร สูง 2.5 เมตร ภายในแบ่งเป็นห้องทดลองขนาด 2.0 x 2.0 x 2.0 เมตร จำนวน 2 บ้านทดลองมีสภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงกัน และ ไม่มีการปรับอากาศ บ้านทดลองที่ 1 ติดตั้งฉนวนเส้นใยปอหนา 1 นิ้ว และบ้านทดลองที่ 2 ติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว การเก็บข้อมูลใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ เก็บข้อมูลทุกๆ 2 นาที เป็นเวลา 2 วัน หรือ 48 ชั่วโมง จากการทดลอง พบว่า ฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยปอ มีประสิทธิภาพในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนได้ใกล้เคียงกับ ฉนวนใยแก้วที่ความหนา 1 นิ้ว จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการผลิต และพัฒนาฉนวน ความร้อนจากเส้นใยปอหรือวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรอื่นๆ เพื่อการประหยัดพลังงาน และเน้นใช้วัสดุธรรมชาติ ซึ่งเป็นอันตรายน้อยกว่าฉนวนใยแก้ว คาร์บอนโฟม เป็นวัสดุคาร์บอนรูพรุนอีกชนิดหนึ่งที่มีลักษณะคล้ายโฟมทำ

จากเทอร์โมพลาสติก เช่น พอลียูรีเทน พอลิสไตรีน พอลิเอทธิลีน ใช้เป็นวัสดุฉนวนกันความร้อนในผลิตภัณฑ์ต่างๆ อาทิ ตู้เย็น ตู้แช่ กล่องน้ำแข็ง วัสดุสำหรับอาคารบ้านเรือน วัสดุทำหลังคาหรือผนังโกดังเก็บของเย็น และส่วนต่างๆ ของรถยนต์ ผลงานวิจัยได้คิดค้นกรรมวิธีผลิตคาร์บอนโฟมซึ่งมีความทนทานต่อสารเคมีและการติดไฟ รวมทั้งมีความแข็งแรงสูง โดยใช้สารตั้งต้นใน กระบวนการผลิตชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติพิเศษเหนือสารฟีนอลิกที่ใช้อยู่เดิม แต่ราคาไม่แพง สามารถควบคุมและกำหนดขนาดรูพรุนของคาร์บอนโฟม ได้ตามต้องการ ลดการใช้เครื่องมือและสารเคมีที่ไม่จำเป็นและมีความซับซ้อน ทำให้การผลิตในระดับอุตสาหกรรมเป็นไปได้ง่ายและ ประหยัดค่าใช้จ่าย

ฉนวนใยเซลลูโลสที่อัดโดยเครื่องอัดแผ่นแบบไฮดรอลิกส์ พบว่า

1. วัสดุฉนวนที่มาจากผักตบชวา โดยจะมีค่าการนำความร้อนต่ำ และต้านการถ่ายเทความร้อนสูงสุด ส่วนชานอ้อยและซังข้าวโพด มีค่ารองลงมาตามลำดับ เนื่องจากขนาดของเส้นใยของผักตบชวามีขนาดเล็ก มีลักษณะอ่อนนิ่มและละเอียดมากกว่า จึงประสานตัวกับวัสดุประสานได้ดี ทำให้ค่าความหนาแน่นสูง จึงสามารถกันความร้อนไม่ให้ผ่านออกมาอีกด้านได้

2. ฉนวนใยเซลลูโลสที่ระดับความหนา 2.54 เซนติเมตร มีค่าการนำความร้อนต่ำ ต้านการถ่ายเทความร้อนสูง และมีความหนาแน่นสูงกว่าอีก 2 ระดับ คือ 5.08 และ 7.62 เซนติเมตร หากความหนาแน่นมากกว่านี้ประสิทธิภาพ ของการเป็นฉนวน จะยิ่งดีมากขึ้น

3. กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เป็นวัสดุประสาน ที่ดีกว่าแป้งมัน เนื่องจากการผสมที่ 0.5 กิโลกรัมเท่ากัน การประสานของวัสดุที่ใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ จะประสานกันดีกว่า และทนความร้อนได้สูงกว่า จึงทำให้มีค่าการนำความร้อนต่ำ และต้านการถ่ายเทความร้อนสูงกว่า

4. ในการผสมพาราฟินจะพบว่า สามารถจะลดการดูดซึมน้ำของฉนวนใยเซลลูโลสได้ เนื่องจากพาราฟินมีคุณสมบัติในการเคลือบวัสดุ จึงทำให้ลดการดูดซึมน้ำได้ดีกว่าการไม่ผสม

จากการทดสอบพบว่า การเลือกใช้ผักตบชวาที่มีความหนาแน่น ที่ความหนา 2.54 เซนติเมตร ที่ใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นวัสดุประสานและผสมพาราฟิน เป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี จึงสามารถต้านทานความร้อน และป้องกันการดูดซึมน้ำได้ โดยที่ได้ค่าการนำความร้อน และค่าต้านทานความร้อน ที่ทำการเทียบค่ามาตรฐาน ISO8301 และ ASTMC177 เท่ากับ 0.0142 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน และ 70.42 เมตร.เคลวินต่อวัตต์ ตามลำดับ และมีค่าความหนาแน่น 669.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าการดูดซึมน้ำ 12.75 เปอร์เซ็นต์ของมาตรฐานแห้ง

งานวิจัยฉนวนกันความร้อนจากใบสักต้องการทำผลิตภัณฑ์ที่ปลอดจากส่วนผสมของสารเคมี ทำมาจากวัสดุธรรมชาติที่ไม่ปล่อยสารพิษออกมาสู่ผู้พักอาศัยในระยะยาว โดยใช้ใบสักมาผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปใช้วัสดุประสานจากธรรมชาติจากภูมิปัญญาโบราณที่มีความเหนียวและแข็งเมื่อเซ็ตตัวเช่น ยาง ครั่ง ข้าว ฯลฯ หรือวัสดุที่เหมาะสม สามารถผลิตได้เองในครอบครัวเป็นส่วนที่จะเชื่อม

ความสัมพันธ์ภายในครอบครัวหรือชุมชนหรืออาจจะพัฒนาเป็นระบบอุตสาหกรรมการส่งออกวัสดุอุปกรณ์ก่อสร้างบ้านแบบ (Green Architecture) เพื่อเพิ่มรายได้ให้กับชุมชนและนำเงินเข้าประเทศ

ขัติยา ฉัตรเพชร (2552) พัฒนาหน้าต่างกระจกสองชั้นพร้อมเกล็ดปรับแสงแนวตั้งชนิดใหม่ เพื่อการประหยัดพลังงานที่มีราคาถูก ซึ่งประสิทธิภาพของหน้าต่างชนิดใหม่เปรียบเทียบกับหน้าต่างกระจกใสชั้นเดียว หนา 6 มม. และหน้าต่างกระจกใสชั้นเดียว หนา 6 มม. พร้อมม่านปรับแสงภายในทางทิศตะวันตก โดยแบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ 1) เปิดเกล็ดปรับแสงและม่านปรับแสงเต็มที่ (90 องศา) 2) ปิดเกล็ดปรับแสงและม่านปรับแสงทั้งหมด (0 องศา) และ 3) เปิดเกล็ดปรับแสงและม่านปรับแสงครึ่งหนึ่ง (45 องศา) ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพด้านการส่งผ่านความร้อนของหน้าต่างชนิดใหม่นี้ เมื่อปิดหรือเปิดเกล็ดปรับแสง 45 องศาจะเทียบเท่ากัน แต่เมื่อเปิดเกล็ดปรับแสง 45 องศานั้น ผู้ใช้งานยังคงมองเห็นทัศนียภาพภายนอกได้ หน้าต่างที่ติดม่านปรับแสงสามารถลดอุณหภูมิภายในได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อเทียบกับหน้าต่างที่ติดม่านปรับแสงมากที่สุดประมาณ 3 องศา

ดนุชา หลักทอง (2552) ศึกษาการป้องกันความร้อนให้อาคารสามารถทำได้ โดยไม่ให้ช่องแสงกระจกได้รับแสงอาทิตย์ได้โดยตรงเน้นที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันรังสีดวงอาทิตย์ให้กับกระจกอาคาร เพื่อช่วยลดอุณหภูมิอากาศภายในอาคารที่ใช้กระจกใสชั้นเดียว โดยการศึกษาได้จัดทำและออกแบบอุปกรณ์บังแดดที่สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบต่างๆ ประกอบด้วย แผ่นโพรี่คาร์บอเนตและประกอบกับฟิล์มฉาบปรอท โดยการทดลองชุดต่างๆ จะทำการเปรียบเทียบกับตัวอย่างธรรมดาที่ไม่ติดอุปกรณ์หรือเปรียบเทียบกันระหว่างอุปกรณ์ และทดลองปรับเปลี่ยนเป็นแผงบังแดดเปรียบเทียบกับช่องกระจกที่ไม่ติดอุปกรณ์และติดสลับซ้ายขวา อุปกรณ์ไม่ใส่เกล็ดฟิล์มฉาบปรอทเปรียบเทียบกับที่มีเกล็ดฟิล์ม โดยเปรียบเทียบรูปแบบที่มีประสิทธิภาพที่สุดจากการทดลองและนำมาวิเคราะห์ผล รูปแบบการใช้งาน การทดลองสรุปได้ว่าเมื่อปรับเปลี่ยนเป็นอุปกรณ์บังแดดสามารถลดอุณหภูมิได้ 6-7 องศา โดยเปรียบเทียบกับที่ไม่ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด และรูปแบบที่ต่างกัน โดยการปรับเปลี่ยนของอุปกรณ์ทำให้ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนต่างกัน รูปแบบการปรับเปลี่ยนของอุปกรณ์บังแดดตามสภาพภูมิอากาศจะมีความสำคัญในการช่วยลดหรือหน่วงอุณหภูมิอากาศภายในอาคารได้มากกว่าที่ไม่ติดตั้งอุปกรณ์

ทรงเกียรติ เที้ยธิทรัพย์ (2549) ศึกษาในเรื่องเทคโนโลยีที่เหมาะสม โดยกล่าวสรุปไว้ว่าเกณฑ์การเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมได้ดังนี้ 1. ต้องเป็นเทคโนโลยีที่เข้ากับสภาพภูมิประเทศภูมิอากาศในท้องถิ่นนั้น 2. ต้องเป็นเทคโนโลยีที่สามารถใช้แรงงานคนเป็นผู้ควบคุม เน้นแรงงานในท้องถิ่นเป็นหลัก เพื่อให้เกิดการสร้างงานในท้องถิ่นนั้น 3. ต้องเป็นเทคโนโลยีที่สามารถเรียนรู้ได้ง่ายไม่สลับซับซ้อน ฝึกฝนและอบรมได้ในท้องถิ่น 4. ต้องเป็นเทคโนโลยีที่ใช้เงินลงทุนต่ำ มีความเสี่ยงต่ำในการลงทุน และสามารถเป็นเจ้าของได้จากคนส่วนใหญ่ในชุมชน 5. ต้องเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ทรัพยากร วัสดุใน

ท้องถิ่น และใช้พลังงานในการผลิตต่ำ 6. ต้องเป็นเทคโนโลยีที่ปลอดภัยกับผู้ใช้งานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม 7. ต้องเป็นเทคโนโลยีที่มีความทนทาน มีอายุการใช้งานสูงและบางโอกาสสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ การเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับสภาวการณ์ทางเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อมของแต่ละท้องถิ่น ทำให้การเลือกใช้เทคโนโลยีในแต่ละท้องที่มีความแตกต่างกัน เกณฑ์การเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมจึงสามารถปรับเปลี่ยนได้แล้วแต่กรณี

พัชรดา โสมดี (2546) ได้ศึกษาลักษณะแสงในพื้นที่อยู่อาศัยไทยในอดีต โดยกล่าวสรุปว่าในสถาปัตยกรรมประเภทที่อยู่อาศัยในอดีต แสงธรรมชาติเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการดำเนินชีวิต ดังจะเห็นได้จากการออกแบบช่องแสงในลักษณะต่างๆ แสงที่เกิดขึ้นใสนบ้านเรือนไทยในอดีตจึงไม่ต้องการนำแสงเข้ามาภายในมากนัก การใช้แสงแต่น้อยทำให้บ้านมีความเย็นสบายได้ ซึ่งธรรมชาติของแสงอาทิตย์ในปริมาณแสงที่มากจะก่อให้เกิดความร้อนที่มากเกินความจำเป็น โดยลักษณะของแสงสลัวนั้นเกิดขึ้นจากปัจจัย คือ 1. การควบคุมแสง โดยการใช้ช่องเปิดที่มีขนาดเล็กพอเหมาะ 2. การเจาะลายฉลุลายของไม้ การซ้อนเหลื่อมกันของไม้ ลักษณะผนังที่ทำจากไม้สาน 3. การใช้ไม้ซึ่งเป็นวัสดุที่มีสีเข้มมีการสะท้อนของแสงน้อยทำให้เกิดความมืดภายใน คือ แสงจะค่อยๆ ลดลงจากข้างนอกสุดไปสู่ข้างในสุด ส่วนลักษณะแสงภายในพื้นที่อยู่อาศัยปัจจุบันเน้นการใช้งานที่มีความส่วนตัว

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็นประโยชน์ ส่วนที่ 1 เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการลดความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยการพัฒนาประสิทธิภาพของช่องแสงอาคารเป็นประโยชน์สำหรับเป็นแนวทางการทดลอง ส่วนที่ 2 เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากไม้ไผ่และเทคโนโลยีที่เหมาะสมใช้เป็นแนวทางสำหรับการออกแบบและทำชิ้นงานตัวอย่าง ส่วนที่ 3 เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับแสงสำหรับที่พักอาศัยเป็นประโยชน์สำหรับการออกแบบ เพื่อให้ตอบสนองพฤติกรรมการอยู่อาศัยของมนุษย์

ทรงเกียรติ เที้ยธิทรัพย์ (2545) ได้ศึกษาเทคนิคการก่อสร้างอาคารด้วยไม้ไผ่ : การออกแบบและก่อสร้างอาคารตัวอย่าง ณ โครงการพัฒนาดอยตุง อ.แม่ฟ้าหลวง จ.เชียงราย ทำการวิเคราะห์ข้อดี ข้อเสีย สรุปปัญหาและเสนอแนวทางแก้ไขปัญหาในการก่อสร้างด้วยไม้ไผ่ในองค์ประกอบอาคารนั้นๆ และทำทดลองสร้างอาคารตัวอย่าง พบว่า 1. ไม้ไผ่สามารถนำมาใช้ในการก่อสร้างอาคารที่อยู่อาศัยให้คงทนถาวรได้ถ้าได้รับการถนอมรักษาอย่างถูกวิธี 2. การผสานวัสดุอื่นๆ กับไม้ไผ่สามารถทำได้และได้ผลดี 3. แรงงานที่มีทักษะการก่อสร้างต่ำสามารถพัฒนาจนสามารถสร้างอาคารอย่างง่ายได้ถ้าได้รับการถ่ายทอดเทคนิคการก่อสร้างจากผู้ชำนาญการ 4. การใช้ระบบประสานทางพิกัดและการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูป โดยใช้ไม้ไผ่เป็นวัสดุหลักสามารถทำได้ 5. การเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมสามารถก่อสร้างอาคารในราคาประหยัดและไม่ทำร้ายสภาพแวดล้อม

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

ปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาแผ่นกรุผนังเพื่อลดภาระการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศภายในอาคารเพื่อต่อยอดเชิงพาณิชย์ มีขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

3.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาแผ่นกรุผนังเพื่อลดภาระการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศภายในอาคารเพื่อต่อยอดเชิงพาณิชย์ โดยได้ทำการศึกษาข้อมูลต่างๆ โดยแบ่งเป็นประเภท ดังนี้

1. การศึกษาภาคเอกสาร แบ่งเป็น 3 ลักษณะ คือ

1.1 ศึกษาข้อมูลจากหนังสือทางวิชาการและหนังสืออ้างอิงงานวิจัย ได้แก่ ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเครื่องปรับอากาศเพื่อที่อยู่อาศัย ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน ทฤษฎีเกี่ยวกับการระบายอากาศ ทฤษฎีเกี่ยวกับผนัง 2 ชั้นที่มีช่องอากาศ วิธีการที่ความชื้นผ่านระบบกรอบอาคาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีแหล่งที่ทำการศึกษาข้อมูล คือ ห้องสมุดต่างๆ และเอกสารการสอนจากแหล่งหนังสือทั่วไป

1.2 ศึกษาข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

1.3 ศึกษาข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้ที่มีความเชี่ยวชาญ

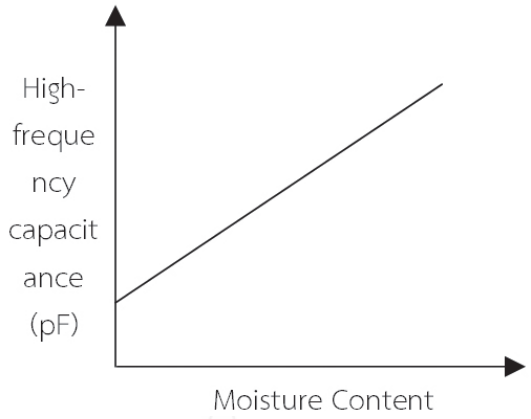
3.2 รูปแบบการเก็บข้อมูล

3.2.1 การวิจัยเป็นการวิจัยเชิงปริมาณ การเก็บข้อมูลแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลทางกายภาพจากการลงพื้นที่จริง ซึ่งประกอบด้วยที่ตั้งอาคาร ลักษณะการใช้สอย จำนวนพื้นที่ใช้สอยที่มีการปรับอากาศ (ตารางเมตร) และข้อการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือน (กิโลวัตต์ชั่วโมง) ครบรอบ 6 เดือนปฏิทินจากการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานและวิธี การจัดการพลังงานจากอาคารที่ได้รับรองมาตรฐานอาคารสีเขียว โดยกำหนดใช้ที่เป็นลักษณะอาคารสำนักงาน จำนวน 3 แห่ง และอาคารสำนักงานที่ยังไม่ได้รับรองมาตรฐานอีก 2 แห่ง

3.2.2 การศึกษาครั้งนี้เป็นการตรวจวัดปริมาณความชื้นในผนังที่มาจากการดูดความชื้นขึ้นจากดินแบบแคพิลลารี (Capillary suction) และเนื่องด้วยข้อจำกัดของเครื่องมือวัดปริมาณความชื้นแบบไม่ทำลายพื้นผิว ที่ต้องทำการทาบเครื่องวัดกับผนังที่มีพื้นผิวเรียบเท่านั้น

3.2.3 เครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณความชื้นภายในวัสดุผนัง อาคาร อุปกรณ์วัดปริมาณความชื้นในผนังที่ใช้คือเครื่องวัด Concrete and Mortar Moisture Tester HI-520-2 เป็นเครื่องมือวัดความชื้นโดยอาศัยคลื่นไฟฟ้าความถี่สูง (high-frequency capacitance) ตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในวัสดุที่ความลึก 2 ระดับคือ 10 มิลลิเมตรและ 40 มิลลิเมตร จากนั้นนำมาสร้างความสัมพันธ์และแสดงออกมาเป็นค่าปริมาณความชื้นภายในวัสดุ (moisture content) ซึ่งมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ของน้ำหนักน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ (กรัม) ต่อน้ำหนักวัสดุที่แห้ง(กรัม) จากค่าตั้งต้นของเครื่องมือ สามารถเลือกประเภทวัสดุที่จะวัดได้ 6 ประเภท โดยการวิจัยครั้งนี้ใช้การวัดค่าปริมาณความชื้นภายในวัสดุอิฐ จากการวัดสอบเทียบ(calibration) โดยผู้วิจัย การใช้งานทำโดยการทาบเครื่องมือไปบนผิววัสดุที่เรียบและมีขนาดพื้นที่ไม่เล็กกว่าพื้นที่หน้าทาบของเครื่องมือ

ภาพที่ 3.1 แสดงลักษณะของ เครื่องวัด Concrete and Mortar Moisture Tester HI-520-2



ภาพที่ 3.2 แสดงลักษณะของหลักการของเครื่องมือในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณความชื้นในวัสดุ

3.2.4 การวิเคราะห์สรุปผลข้อมูลโดยการใช้ข้อมูลทางสถิติร่วมกับแนวคิดจากเอกสารวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนาข้อมูลมากำหนดดัชนีการใช้พลังงานรวมต่อปีและเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารสำนักงานที่ผ่านการรับรองมาตรฐานและที่ยังไม่ผ่านการรับรอง

3.3 ขั้นตอนและวิธีการในการวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลการสำรวจได้ถูกนำมาวิเคราะห์ใน 4 รูปแบบดังนี้

3.3.1 การเก็บข้อมูลวิจัยด้านการใช้พลังงาน การเก็บข้อมูลนี้จะประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลทางการภาพของอาคารและข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารทั้งนี้ สาหรับข้อมูลทางกายภาพ ผู้วิจัยดาเนินการเก็บข้อมูลที่ตั้งอาคาร จำนวนพื้นที่ใช้สอยที่มีการปรับอากาศ (ตารางเมตร) สำหรับข้อมูลการใช้พลังงาน ผู้วิจัยดาเนินการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง) ในรอบ 6 เดือน ไม่รวมถึงพลังงานความร้อนอื่นๆ

1. วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สมการถดถอย (Regression Analysis) หาความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานของอาคารรวมต่อปีและพื้นที่ใช้สอยปรับอากาศ เพื่อกาหนดวิธีการคำนวณดัชนีการใช้พลังงานรวมต่อปี และ เปรียบเทียบดัชนีการใช้พลังงานรวมต่อปีของกลุ่มตัวอย่างอาคารสำนักงานกับผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อยืนยันการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารกลุ่มตัวอย่างสามารถใช้ในการกำหนดเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารที่เหมาะสม ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างที่มีแนวโน้มใช้พลังงานไฟฟ้ามากหรือน้อยผิดปกติ

หลังจากนั้นจึงดำเนินการศึกษาความสัมพันธ์ของข้อมูลจำนวนพื้นที่มีการปรับอากาศและข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร เพื่อกำหนดดัชนีการใช้พลังงานในอาคาร (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี) ข้อมูลดัชนีการใช้พลังงานในอาคารทั้งหมด

จะถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติและเปรียบเทียบกับดัชนีพลังงานในอาคารประเภทเดียวกันและอาคารที่ยังไม่ได้รับรองมาตรฐาน เพื่อกำหนดเกณฑ์การใช้พลังงานของอาคารสำนักงานและแนวทางการประยุกต์ใช้ดัชนีพลังงานเพื่อพัฒนาเป็นอาคารสีเขียว

3.3.2 วิธีการประเมินผลความชื้นจากการสังเกตด้วยสายตา วิธีนี้จะนำไปใช้ประเมินความเสียหายของผิวผนังภายในอาคาร โดยแบ่งความเสียหายเป็น 3 ระดับ ได้แก่

ระดับที่ 1 ผิวผนังไม่พบเห็นความเสียหาย

ระดับที่ 2 ผิวผนังเกิดการพองของสี

ระดับที่ 3 ผิวผนังเกิดการพองและหลุดลอกของสี

3.3.3 ประเมินผลโดยใช้วิธีการทางสถิติ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS โดยเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย 3 กลุ่มขึ้นไป โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นที่ระดับความสูงและทิศทางต่างๆ กัน โดยตัวแปรด้านความสูงจัดเป็นกลุ่มข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีลำดับ (ordinal) ส่วนตัวแปรด้านทิศทางของผนังถูกจัดว่าเป็นกลุ่มข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันอย่างไม่มีลำดับ (nominal)

3.3.4 ประเมินผลโดยการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณความชื้นต่อพื้นที่ภายใน

ประเมินผลโดยการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณความชื้นต่อพื้นที่ภายใน ณ จุดที่วัดความชื้น และการสร้างแผนภูมิเชิงเส้นแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นภายในวัสดุผนังที่ระดับความสูงที่แตกต่างกันและความเสียหายของผิวผนังภายในที่ระดับความสูงที่
แตกต่างกัน

3.4 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล ปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาแผ่นกรุผนังเพื่อลดภาระการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศภายในอาคารเพื่อต่อยอดเชิงพาณิชย์ ในการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมต่อปี หลังจากนำข้อมูลที่รวบรวมได้จากการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมต่อปีและพื้นที่ปรับอากาศของกลุ่มตัวอย่างจะถูกนามาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้สมการการถดถอย (Regression Analysis) เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปร และค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมต่อปี จากกนั้นนาค่าดัชนีของกลุ่มตัวอย่างไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานอื่น และจัดเรียงค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมต่อปี โดยใช้หลักการคานวณทางสถิติ เพื่อกำหนดเกณฑ์การใช้พลังงาน และแนวทางการประยุกต์ใช้เพื่อการบริหารจัดการพลังงานต่อไป

3.4.1 สมการการคำนวณดัชนีการใช้พลังงานของอาคาร

$$x = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับอากาศต่อปี } (KWh/year)}{\text{พื้นใช้สอย } (m^2)}$$

$$y = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบแสงสว่างต่อปี } (KWh/year)}{\text{พื้นที่ใช้สอย } (m^2)}$$

z = ค่าอาคารสีเขียว z = 1 (green building)

= 0 (non- green building)

$$E = \frac{\text{การใช้พลังงานของอาคารต่อปี } (KWh/year)}{\text{พื้นที่ใช้สอย } (m^2)}$$

T = A + x + y + z

เมื่อ x คือ ดัชนีพลังงานในระบบปรับอากาศ

y คือ ดัชนีพลังงานในระบบแสงสว่าง

z คือ ค่าอาคารสีเขียว

T คือ ดัชนีรวมการใช้ไฟฟ้า

A คือ ค่าสัมประสิทธ์ของสมการ

E คือ ค่าดัชนีพลังงานรวมในอาคาร

3.4.2 สถิติในการวิจัยใช้รูปแบบการจัดลำดับคุณภาพค่าคะแนน (Rating Scale)

ค่าเฉลี่ย (Mean)

เกณฑ์การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย

ค่าเฉลี่ย 4.50 – 5.00 หมายถึง ระดับความเห็นพึงพอใจมากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 3.50 – 4.49 หมายถึง ระดับความเห็นพึงพอใจมาก

ค่าเฉลี่ย 2.50 – 3.49 หมายถึง ระดับความเห็นพึงพอใจปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.50 – 2.49 หมายถึง ระดับความเห็นพึงพอใจน้อย

ค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.49 หมายถึง ระดับความเห็นพึงพอใจน้อยที่สุด

วิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงบรรยาย

3.4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) เพื่อทดสอบความแตกต่างในการตัดสินใจซื้อเครื่องปรับอากาศของกลุ่มตัวอย่างที่มีลักษณะทางด้าน ประชากรศาสตร์ ที่แตกต่างกัน

3.5 สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการวิจัยและจัดทำเล่มวิจัยฉบับสมบูรณ์

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาแผ่นกรุผนังเพื่อลดภาระการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศภายในอาคารเพื่อต่อยอดเชิงพาณิชย์ มีผลการวิเคราะห์ ดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ด้านการใช้พลังงานของอาคาร

ข้อมูลทางด้านกายภาพ อาคารกลุ่มต่างๆ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มอาคารสีเขียว และกลุ่มที่อาคารไม่ใช่สีเขียว โดยศึกษาแนวคิดการออกแบบการก่อสร้างอาคาร

1. **กลุ่มอาคารสีเขียว**

1.1 อาคาร A ที่ตั้ง เขตสาธร กรุงเทพมหานคร มีพื้นที่ใช้สอย 74,600 ตารางเมตร ลักษณะเป็นอาคารสำนักงาน จำนวน ชั้น 21 ชั้น อาคาร A เป็นอาคารสำนักงานประเภทอาคารสร้างใหม่ (The Leadership in Energy and Environmental Design for Building Design and Construction: LEED BD+C) ระดับสูงสุด LEED Platinum จากสภาอาคารเขียวสหรัฐอเมริกา (U.S. Green Building Council: USGBC) จึงให้ความสำคัญกับการบริหารจัดการเพื่อพัฒนาอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม หรือ Green Building และคำนึงถึงการพัฒนาคุณภาพชีวิตพนักงานให้อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ดี มีความสุขกับการทำงาน อาคารสีเขียวให้ความสำคัญกับทุกองค์ประกอบตั้งแต่การก่อสร้างที่คำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ทำงานและใช้งาน การควบคุมการก่อสร้างและการเลือกวิธีก่อสร้างที่ส่งผลต่อสภาพแวดล้อมและชุมชนน้อยที่สุด

แนวคิดการออกแบบการก่อสร้างอาคาร A

- อาคาร A ตัวโครงสร้างอาคารสร้างเป็นการออกแบบให้มีส่วนโค้งเว้า
- กรอบรอบตัวอาคารโดยรอบ ใช้กระจกแบบ Laminated Glass 2 ชั้น ทำให้เกิดช่องว่างที่เป็นฉนวนกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร และเคลือบสารการสะท้อนต่ำ เพื่อป้องกันการสะท้อนของแสงแยงสายตาผู้อยู่อาศัยโดยรอบอาคาร

- โครงสร้างภายนอกอาคาร ล้อมรอบด้วยระเบียงที่เป็นส่วนโค้งเว้ายื่นออกมาจากตัวอาคารเพื่อเป็นที่กันแดดให้ตัวอาคาร

- พื้นที่รอบนอกอาคารกำหนดให้เป็นพื้นที่สีเขียวร้อยละ 50 ของพื้นที่เปิดโล่ง และปลูกต้นไม้เพื่อเป็น Green Roof เพื่อช่วยลดพลังงานความร้อนที่จะเข้าสู่อาคาร

- วัสดุก่อสร้างทั้งภายในและภายนอกอาคารเลือกใช้วัสดุที่ผลิตจากวัตถุดับที่ใช้แล้วนากลับมาใช้ใหม่ หรือ Eco-friendly เช่น กระเบื้องที่ผลิตจากวัสดุรีไซเคิล

- ขั้นตอนและวิธีการก่อสร้าง เลือกการใช้วัสดุภายในท้องถิ่นเพื่อลดการขนส่งเป็นการช่วยลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิง และการจัดการของเสียที่เกิดจากการก่อสร้าง ใช้ของเสียที่เกิดขึ้นสามารถนากลับมาใช้ใหม่ได้ร้อยละ91

1.2 อาคาร B ที่ตั้ง เขตดอนเมือง กรุงเทพมหานคร มีพื้นที่ใช้สอย 56,000 ตารางเมตร ลักษณะเป็นอาคารสำนักงาน จำนวนชั้น 36 ชั้น เป็นอาคารสำนักงาน ที่ได้รับรองมาตรฐาน ระดับสูงสุด LEED Platinum จากสภาอาคารเขียวสหรัฐอเมริกา (U.S. Green Building Council: USG) การก่อสร้างอาคารให้ความสำคัญกับสิ่งปลูกสร้างที่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมละช่วยในการอนุรักษ์พลังงาน รวมไปถึงการออกแบบอาคารที่ใช้ในระยะยาวเพื่อให้เกิดความยั่งยืน ส่งผลดีต่ออาคารในอนาคตในเรื่องของค่าใช้จ่ายที่ลดลงจากการใช้ระบบและวัสดุต่างที่ช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร

แนวคิดการออกแบบการก่อสร้างอาคารสีเขียว อาคาร B

- อาคาร B ตัวอาคารโครงสร้างรูปหยดน้ำปลายแหลมพุ่งขึ้น กรอบด้วยกระจกผิวโค้งรอบอาคารตามหลักอากาศพลศาสตร์ ซึ่งช่วยลดความร้อนด้านนอกอาคาร และระหว่างก่อสร้างอาคารวัสดุที่นำมาก่อสร้างอาคาร 44 % มาจากวัสดุที่นากลับมาใช้ใหม่

- ออกแบบก่อสร้างอาคารโดยโครงสร้างอาคารสามารถรองรับแผ่นดินไหวขนาด 7.2 ริกเตอร์สเกลจากจุดศูนย์กลางของแผ่นดินไหวบริเวณรอยเลื่อนที่จังหวัดกาญจนบุรี

- รูปแบบการก่อสร้างที่ใช้นวัตกรรมการออกแบบการใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์โดยออกแบบให้อาคารB มีพื้นที่โล่งและพื้นที่สีเขียวสูงกว่าที่กำหนด

- โครงสร้างหลังคาประยุกต์ใช้เป็นการปลูกต้นไม้ซึ่งเป็นฉนวนกันความร้อนธรรมชาติช่วยสร้างอากาศบริสุทธิ์ให้กับอาคารสำนักงาน

- ระบบปรับอากาศภายในอาคารใช้ระบบระบบแลกเปลี่ยนความร้อนจากอากาศที่ใช้แล้วจากอากาศสู่อากาศ (Air to-Air Heat Exchanger) เป็นการช่วยลดปริมาณการติดตั้งเครื่องปรับอากาศภายในอาคารและลดการใช้พลังงานและขนาดของเครื่องปรับอากาศ

2. กลุ่มอาคารไม่ใช่สีเขียว

2.1 อาคาร D-1 ที่ตั้ง เขตสวนหลวง กรุงเทพมหานคร มีพื้นที่ใช้สอย 60,500 ตารางเมตร ลักษณะเป็นอาคารสานักงาน จานวนชั้น 42 ชั้น อาคาร D เป็นอาคารสำนักงาน โครงสร้างทั่วไปยังคงรูปแบบการก่อสร้างอาคารแบบดั้งเดิม กรอบอาคารใช้วัสดุประเภท คอนกรีต และ หุ้มตัวอาคารด้วยกระจกบางส่วน โดยรอบอาคารมีพื้นที่สีเขียวค่อนข้างน้อยประกอบกับอาคารเป็นอาคารที่สร้างและใช้งานหลายปีทาให้สภาพอาคาร โดยรวมยังไม่ได้รับการออกแบบเพื่อรองรับการรับรองมาตรฐาน LEED

แนวคิดการพัฒนาอาคาร D-1

- พัฒนาพื้นที่ ของอาคารให้เกิดพื้นที่สีเขียวเพิ่มขึ้น ร้อยละ 25
- ปรับปรุงการใช้ระบบลิฟต์ภายในอาคาร ระบบขนส่งในแนวดิ่งเป็น Smart Elevator ช่วยขนส่งคนได้เร็ว ให้ประหยัดขึ้นกว่า 30%
- ปรับเปลี่ยนกระจกภายนอกอาคาร โดยใช้กระจก ที่มีคุณสมบัติสะท้อนความร้อน เพื่อลดความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร เป็นการช่วยลดการใช้เครื่องปรับอากาศภายในอาคาร
- การพัฒนาพื้นที่โล่งและหลังคาอาคาร การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) ซึ่งมีกาลังการผลิตที่ช่วยให้ผลิตกระแสไฟฟ้าทดแทน

2.2 อาคาร D-2 ที่ตั้ง เขตสีลม กรุงเทพมหานคร มีพื้นที่ใช้สอย 34,600 ตารางเมตรลักษณะอาคารสานักงาน จำนวนชั้น 29 ชั้น เป็นอาคารสำนักงาน ทีมีรูปแบบการก่อสร้างอาคารสร้างด้วยคอนกรีต และประกอบด้วยโครงสร้างกระจกในบางส่วนของอาคาร สภาพแวดล้อมโดยรอบ ล้อมไปด้วยอาคารสำนักงาน ทาให้อาคารมีพื้นที่สีเขียวได้ยากเนื่องจากมีพื้นที่ที่ข้อนข้างจำกัด ระบบปรับอากาศยังคงเป็นลักษณะการใช้เครื่องปรับอากาศในส่วนหลักและกระจายการใช้งานไปตามชั้นต่างๆของอาคาร

แนวคิดการพัฒนาอาคาร D-2

- การวางผังอาคารจัดให้พื้นที่สานักงานได้รับแสงสว่างธรรมชาติอย่างเต็มที่ ตั้งใจจัด Open-plan Office ที่ไม่มีผนังกั้นห้องภายในที่กีดขวางการนาแสงสว่างธรรมชาติจากด้านนอก พยายามจัดผังอาคารที่คำนึงถึงทิศทางแดด
- ปรับเปลี่ยนกระจกของอาคาร ให้มีคุณสมบัติ สามารถป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารและสะท้อนที่ไม่รบการอาคารโดยรอบ และ ให้สามารถส่องผ่านเข้าถึงพื้นที่ภายในได้ ช่วยลดปริมาณการใช้แสงไฟภายในอาคาร
- การพัฒนาการปรับรูปแบบหลังคาอาคาร ให้มีการใช้นวัตกรรมพลังงานทดแทน (Solar Cell)
- การออกแบบการจัดสวนแนวตั้ง เพื่อเพิ่มพื้นที่สีเขียว และช่วยลดอุณหภูมิภายในตัวอาคารรวมถึงการเลือกใช้วัสดุในการปรับปรุงอาคาร ควรเลือกใช้ วัสดุบางอย่างผลิตมาจากแหล่งทรัพยากรที่สามารถทดแทนได้

4.1.2 การศึกษาเกณฑ์การออกแบบอาคารประหยัดพลังงานได้มีการเปรียบเทียบกลุ่มอาคารสีเขียวและอาคารไม่ใช่สีเขียว

ข้อมูลตารางที่ 4.1 พบว่าอาคารที่ได้มาตรฐานอาคารสีเขียวเช่น อาคาร A และ B มีการก่อสร้างที่คำนึงความสะอาดสูงสุด และการออกแบบให้อาคารได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอ ส่วนที่มีการใช้งานตลอดทั้งวันลดการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งการใช้พลังงานทดแทนโดยการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้า ทาให้ทั้ง 3 อาคารเป็นอาคารสีเขียวที่ได้มาตรฐาน ส่วนอาคาร D-1 และ D-2 พบว่ายังขาดปัจจัยด้านการออกแบบให้อาคารได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอ และ ยังไม่มีการใช้พลังงานทดแทนรวมไปถึงการพัฒนาอาคารโดยมีนโยบายการจัดการอาคารของผู้บริหารแต่ยังไม่ได้นำไปปรับปรุงเพื่อพัฒนาให้ได้มาตรฐานอาคารสีเขียว

ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบวิธีการออกแบบอาคารประหยัดพลังงานกลุ่มอาคารสีเขียวและอาคารไม่ใช่สีเขียว

ปัจจัยการออกแบบอาคารสีเขียว	อาคารตัวอย่าง			
	อาคาร A	อาคาร B	อาคาร D-1	อาคาร D-2
1. การก่อสร้างที่คำนึงความสะอาดสูงสุด	Y	Y	N	N
2. การออกแบบให้อาคารได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอ ส่วนที่มีการใช้งานตลอดทั้งวันลดการใช้พลังงานไฟฟ้า	Y	Y	N	N
3. การลดพลังงานด้วยระบบปรับอากาศและแสงสว่างที่ทันสมัย	Y	Y	Y	Y
4. นโยบายด้านอาคารสีเขียว	Y	Y	N	N

4.1.3 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม

ผู้วิจัยทาการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าย้อนหลัง 6 เดือนทั้งนี้ไม่รวมถึงพลังงานความร้อนอื่นๆ นำมาคำนวณหาค่าดัชนีการใช้พลังงาน จำนวน 2 กลุ่มอาคาร ซึ่งเมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติแล้ว พบว่า ข้อมูลการใช้พลังงานรวมต่อปีของอาคารสีเขียวกลุ่มตัวอย่างและอาคารไม่ใช่สีเขียว

ตารางที่ 4.2 ตารางเปรียบเทียบการใช้พลังงาน

ค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง)				
เดือน	**อาคาร A**	**อาคาร B**	**อาคาร D-1**	**อาคาร D-2**
1	513,200	522,700	621,350	670,850
2	535,650	550,400	675,840	685,370
3	528,800	538,780	678,920	657,400
4	511,800	548,350	665,730	679,540
5	521,370	534,840	645,680	684,320
6	524,480	528,300	672,560	660,800

จากตารางที่ 4.2 พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าอาคารที่เป็นอาคารสีเขียว พบว่า ข้อมูลการใช้พลังงานรวมต่อเดือนของอาคารสีเขียวกลุ่มตัวอย่าง มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 511,800 กิโลวัตต์ชั่วโมง มีค่าสูงสุดเท่ากับ 550,400 กิโลวัตต์ชั่วโมง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 531,100 กิโลวัตต์ชั่วโมง ในขณะที่อาคารที่ไม่ใช่อาคารสีเขียวนั้นมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 621,350 กิโลวัตต์ชั่วโมง มีค่าสูงสุดเท่ากับ 685,370 กิโลวัตต์ชั่วโมง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 653,360 กิโลวัตต์ชั่วโมง

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยการใช้พลังงาน

ค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง)				
เดือน	**อาคาร A**	**อาคาร B**	**อาคาร D-1**	**อาคาร D-2**
1	513,200	522,700	621,350	670,850
2	535,650	550,400	675,840	685,370
3	528,800	538,780	678,920	657,400
4	511,800	548,350	665,730	679,540
5	521,370	534,840	645,680	684,320
6	524,480	528,300	672,560	660,800
ค่าเฉลี่ย	522,550	537,228	660,013	673,047

จากตารางที่ 4.3 พบว่า อาคาร A มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานน้อยที่สุดอยู่ที่ 522,550 กิโลวัตต์ชั่วโมง รองลงมาคือ อาคาร B มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานอยู่ที่ 537,228 กิโลวัตต์ชั่วโมง ตามมาด้วย

อาคาร D-1 มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานอยู่ที่ 660,013 กิโลวัตต์ชั่วโมง โดยอาคาร D-2 มีการใช้พลังงานมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานอยู่ที่ 673,047 กิโลวัตต์ชั่วโมง

ตารางที่ 4.4 ตารางสรุปดัชนีรวมการใช้พลังงานต่อตารางเมตร

ค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร)				
เดือน	**อาคาร A**	**อาคาร B**	**อาคาร D-1**	**อาคาร D-2**
1	5.13	5.23	6.21	6.71
2	5.36	5.50	6.76	6.85
3	5.29	5.39	6.79	6.57
4	5.12	5.48	6.66	6.80
5	5.21	5.35	6.46	6.84
6	5.25	5.28	6.73	6.61

จากตารางที่ 4.4 พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าอาคารที่เป็นอาคารสีเขียว พบว่า ข้อมูลการใช้พลังงานรวมต่อเดือนของอาคารสีเขียวกลุ่มตัวอย่าง มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 5.12 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร มีค่าสูงสุดเท่ากับ 5.50 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.31 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร ในขณะที่อาคารที่ไม่ใช่อาคารสีเขียวนั้นมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 6.21 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร มีค่าสูงสุดเท่ากับ 6.85 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.53 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร

ตารางที่ 4.5 ตารางสรุปดัชนีรวมเฉลี่ยการใช้พลังงานต่อตารางเมตรแต่ละอาคาร

ค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร)				
เดือน	**อาคาร A**	**อาคาร B**	**อาคาร D-1**	**อาคาร D-2**
1	5.13	5.23	6.21	6.71
2	5.36	5.50	6.76	6.85
3	5.29	5.39	6.79	6.57
4	5.12	5.48	6.66	6.80
5	5.21	5.35	6.46	6.84
6	5.25	5.28	6.73	6.61
ค่าเฉลี่ย	5.17	5.37	6.6	6.73

จากตารางที่ 4.5 พบว่า อาคาร A มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานน้อยที่สุดอยู่ที่ 5.17 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร รองลงมาคือ อาคาร B มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานอยู่ที่ 5.37 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร ตามมาด้วยอาคาร D-1 มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานอยู่ที่ 6.60 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร โดยอาคาร D-2 มีการใช้พลังงานมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานอยู่ที่ 6.73 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร

4.1.2 การประเมินความเสียหายที่เกิดจากความชื้นในอาคาร

การประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้นในวัสดุผนังภายในของอาคาร ทำโดยการเก็บข้อมูลความเสียหายของผนังภายในอาคาร ด้วยการสังเกตและการบันทึกภาพถ่าย จากนั้นนำมาวิเคราะห์และประเมินผลความเสียหายที่เกิดขึ้นเป็น3 ระดับ ได้แก่

ระดับที่ 1 ผิวผนังไม่พบเห็นความเสียหายชัดเจน

ระดับที่ 2 ผิวผนังเกิดการพองของสี

ระดับที่ 3 ผิวผนังเกิดการพองและหลุดลอกของสี

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าระดับความเสียหายส่วนใหญ่อยู่ในระดับที่ 1 คือ ผิวผนังไม่พบเห็นความเสียหายชัดเจน โดยเฉพาะ ณ ความสูงที่ 4 และ 5 คือ 1.55 เมตร และ 1.85 เมตร จากระดับพื้นภายในอาคาร ความเสียหายระดับที่ 3 พบมากที่ระดับความสูงที่ 3 ที่ความสูง 1.00 เมตร จากระดับพื้นภายในอาคาร และเมื่อพิจารณาตามลำดับของผนัง จะพบเห็นความเสียหายมากในผนังที่ 1 (ผนังทิศตะวันตก) ที่ช่วงล่างของผนัง อีกทั้งเมื่อพิจารณาในลักษณะภาพรวมของแนวโน้มความเสียหาย พบว่าระดับความเสียหายจะไล่จากมากไปหาน้อยในผนังที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

4.2 การตรวจวัดปริมาณความชื้นที่เกิดขึ้นในวัสดุผนังภายในอาคาร

4.2.1 ความแตกต่างของปริมาณความชื้นในผนังที่ความสูงต่างๆ

จากผลการเก็บข้อมูลปริมาณความชื้นในผิววัสดุผนังภายนอกอาคาร และนำมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของแต่ละระดับความสูง 5 ระดับ ได้แก่ 0.55 เมตร 0.75 เมตร 0.95 เมตร 1.55 เมตร และ 1.85 เมตรพบว่า อาคารมีปริมาณความชื้นในผนังแต่ละระดับความสูงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 2 พร้อมกับแสดงข้อมูลสถิติเชิงบรรยาย (descriptive statistics) ในตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลสถิติของการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในวัสดุ ที่แต่ละระดับความสูงของอาคาร

	จำนวนข้อมูล	Mean (%)	Std. Deviation (%)	Minimum (%)	Maximum (%)
ระดับความสูงที่ 1	16	27.854	14.328	12.45	75.40
ระดับความสูงที่ 2	16	34.748	17.584	13.10	75.50
ระดับความสูงที่ 3	16	45.744	22.421	18.42	98.30
ระดับความสูงที่ 4	24	17.482	6.874	9.40	25.80
ระดับความสูงที่ 5	24	12.425	2.526	8.50	18.60
รวม	96	26.325	17.547	8.50	98.40

ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์ข้อมูล ความแตกต่างของปริมาณความชื้นในวัสดุ ณ ตำแหน่งในการวัดที่แต่ละระดับความสูงของอาคาร โดยใช้วิธี ANOVA

	F	Sig
ความแตกต่างของปริมาณความชื้นในวัสดุ ณ แต่ละระดับความสูง	21.038	0.000

4.2.2 ความแตกต่างของปริมาณความชื้นในแต่ละช่วงผนัง

จากผลการเก็บข้อมูลปริมาณความชื้นในผิววัสดุผนังภายนอกอาคาร และนำมาวิเคราะห์ผลค่าเฉลี่ยตามตำแหน่งแต่ละช่วงผนัง ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศตะวันออกเฉียงใต้ พบว่า มีปริมาณความชื้นเฉลี่ยในผนังแต่ละช่วงผนังแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลสถิติของการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในวัสดุ

	จำนวนข้อมูล	Mean (%)	Std. Deviation (%)	Minimum (%)	Maximum (%)
ผนัง 1	24	32.2375	26.616	9.70	96.20
ผนัง 2	24	21.2500	14.133	9.40	60.90
ผนัง 3	24	21.6433	12.745	8.40	47.90
ผนัง 4	24	18.7508	8.221	7.80	37.40
รวม	96	24.3574	18.203	7.8	96.20

ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์ข้อมูล ความแตกต่างของปริมาณความชื้นในวัสดุ ณ ตำแหน่งในการวัดที่แต่ละระดับความสูงของอาคาร โดยใช้วิธี ANOVA

	F	Sig
ความแตกต่างของปริมาณความชื้นในวัสดุ ณ แต่ละระดับความสูง	4.739	0.004

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายที่เกิดขึ้นกับปริมาณความชื้นที่ตรวจพบ

4.3.1 การประเมินผลโดยใช้การเปรียบเทียบปริมาณความชื้นต่อพื้นที่ภายในของผนัง จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ระดับความเสียหายมากที่สุดหรือระดับที่ 3 พบมากในผนังที่ 1 ซึ่งอยู่ ณ ระดับความสูงที่ 2 และ 3 โดยวัดปริมาณความชื้นได้ 46.4%,47.9%, 56.8%, 95.8%, และ 97.4% จะเห็นได้ว่าความเสียหายเกิดขึ้นได้ในระดับปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงประมาณ 48%-98% และความเสียหายรองลงมาหรือระดับที่ 2 พบมากในผนังที่ 1 และ 2 ซึ่งอยู่ ณ ระดับความสูงที่ 1-2 และ 2-3 ตามลำดับ พบว่าวัดความชื้นได้ 17%-75% และความเสียหายต่ำสุดหรือระดับที่ 1 พบมากในผนังที่ 3 และ 4 ซึ่งอยู่ ณ ระดับความสูงที่ 1-2 พบว่าวัดความชื้นได้ 13%-51% อีกทั้งยังพบความเสียหายระดับนี้ที่ความสูง 1.55 เมตร และ 1.85 เมตร ในทุกผนัง โดยค่าเฉลี่ย ณ แต่ละระดับความสูงของแต่ละผนังมีแนวโน้มลดลง

4.3.2 การประเมินผลด้วยแผนภูมิเชิงเส้นแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นภายในวัสดุผนังที่ระดับความสูงที่แตกต่างกัน และความเสียหายของผิวผนังจากแผนภูมิเชิงเส้นแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นที่ความสูงต่างๆ และความเสียหายที่เกิดขึ้น พบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นกับระดับความเสียหายของผนังที่ 4 มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด รองลงมาคือผนังที่ 1 ซึ่งจะพบความแตกต่างของแนวโน้ม ณ ระดับความสูงที่ 2 (ระดับ 0.80 เมตรจากพื้นภายในอาคาร) ส่วนในผนังที่ 2 และ 3 มีความแตกต่างระหว่างแนวโน้มของปริมาณความชื้นและระดับความเสียหายอย่างชัดเจนที่ระดับความสูงที่ 2 และ 3 (ระดับ 0.80 และ 1.00 เมตรจากพื้นภายในอาคาร ตามลำดับ) โดยผนังที่ 2 มีปริมาณความชื้นสูงสุดที่ระดับความสูงที่ 2 แต่ระดับความเสียหายอยู่ในระดับต่ำสุด (ระดับที่ 1) และผนังที่ 3 มีปริมาณความชื้นสูงสุด ณ ระดับความสูงที่ 3 แต่ระดับความเสียหายอยู่ในระดับเดียวกันกับระดับความสูงที่ 2

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 ข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารสีเขียวได้มีการพัฒนาแบบจาลองสมการสำหรับคำนวณดัชนีอาคารสีเขียว การวิเคราะห์ค่าดัชนีการใช้ไฟฟ้าด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณของอาคารสีเขียวได้สมการดังนี้

5.1.2 แบบจำลองสมการการใช้พลังงานได้ทดสอบความถูกต้องกับอาคารอื่นๆที่เป็นอาคารสีเขียวและอาคารไม่ใช่สีเขียวได้อย่างถูกต้อง การทดสอบดัชนีอาคารสีเขียวและอาคารไม่ใช่สีเขียว พบว่าอาคาร A ซึ่งเป็นอาคารสีเขียวมีค่าดัชนีอาคารสีเขียวน้อยกว่าดัชนีอาคารสีเขียวของสมการทดสอบ และ อาคาร D-1 และ D-2 คือ อาคารไม่ใช่สีเขียว มีค่าดัชนีอาคารสีเขียวเฉลี่ย 5.50 มีค่าดัชนีอาคารไม่ใช่สีเขียวเฉลี่ย 5.53 ค่าดัชนีดังกล่าวมีค่ามากกว่าดัชนีอาคารสีเขียวทดสอบ

5.13 แบบจำลองสมการดัชนีอาคารสีเขียวนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับอาคารอื่นๆ เพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานและได้มาตรฐานตามแบบอาคารสีเขียว จากสมการทดสอบสามารถคาดการณ์ปริมาณการใช้ฟ้าด้วยดัชนีการใช้ไฟฟ้าและออกแบบการจัดการพลังงานในอาคารได้อย่างเป็นระบบ

5.1.4 ความเสียหายมากที่สุดระดับ 3 พบมากที่ระดับความสูงที่ 3 คือที่ระดับความสูง 0.80 เมตร จากระดับพื้นภายในอาคาร และเมื่อพิจารณาตามลำดับของผนัง จะพบความเสียหายมากที่สุดในผนังที่ 1 (ผนังทิศตะวันตกเฉียงเหนือ) ที่มาของความชื้นที่เกิดขึ้นอาจมาจากหลายสาเหตุ ได้แก่ เกิดการรั่วซึมจากหน้าต่างหรือหลังคาเป็นต้น ซึ่งควรมีการศึกษาต่อไปในอนาคต

5.1.5 บริเวณที่มีความเสียหายมากที่สุดจะพบปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 47%-98% และความเสียหายรองลงมาหรือระดับ 2 พบมากในผนังที่ 1 และ 2 ซึ่งอยู่ ณ ระดับความสูงที่ 1-2 และ 2-3 ตามลำดับ จะพบว่ามีปริมาณความชื้นที่วัดได้อยู่ในช่วงประมาณ 18%-76% และความเสียหายต่ำสุดหรือระดับที่ 1 พบมากในผนังที่ 3 และ 4 (ผนังทิศตะวันออกเฉียงใต้) ซึ่งอยู่ ณ ระดับความสูงที่ 1-2 จะพบว่ามีปริมาณความชื้นที่วัดได้อยู่ในช่วงประมาณ 14%-51%

5.1.6 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเสียหายกับปริมาณความชื้นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันอย่างชัดเจน ในระดับของลวดลายช่วงบนผนังทั้งสี่ ได้แก่ที่ความสูง 1.55 เมตร และ 1.85 เมตร แต่สำหรับระดับลวดลายช่วงล่างของผนัง ได้แก่ที่ความสูง 0.55 เมตร 0.75 เมตรและ 0.95 เมตร

แนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายที่เกิดขึ้นบริเวณผิวผนังภายในอาคารกับปริมาณความชื้นที่เกิดขึ้นมีความตรงกันข้าม โดยเฉพาะในผนังที่ 2 และ 3 คือ ณ ตำแหน่งที่มีปริมาณความชื้นต่ำกลับพบความเสียหายมากและ ณ ตำแหน่งที่มีปริมาณความชื้นสูงกลับพบความเสียหายน้อย จากข้อสรุปดังกล่าวควรมีการศึกษาต่อไปในอนาคตถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดขึ้น

5.1.7 แบบจำลองสมการดัชนีอาคารสีเขียวนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับอาคารอื่นๆ เพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานและได้มาตรฐานตามแบบอาคารสีเขียว จากสมการทดสอบสามารถคาดการณ์ปริมาณการใช้ฟ้าด้วยดัชนีการใช้ไฟฟ้าและออกแบบการจัดการพลังงานในอาคารได้อย่างเป็นระบบ

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงาน โดยแบบจำลองสมการการใช้พลังงานไฟฟ้าควรถูกปรับปรุงและทดสอบให้ทันสมัยและสอดคล้องกับการใช้งานจริงอยู่เสมอและ พบว่า สามารถผนวกแนวความคิดการเลือกใช้วัสดุอาคารต่างๆ ร่วมกับการศึกษาความคุ้มค่าโดยสามารถนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบเพื่อให้ได้ทางเลือกที่มีความคุ่มค่าและตรงตามเป้าหมายการประหยัดพลังงาน นำไปสู่การบริหารจัดการพลังงานอย่างมีระบบและยั่งยืนในอนาคต และเสนอแนวทางการก่อสร้างอาคารสีเขียวเพื่อนำไปพัฒนาอาคารที่ยังไม่เป็นอาคารสีเขียวจากผลการวิจัยอาคารที่เป็นอาคารสีเขียวมีนโยบายการจัดการพลังงานที่เป็นไปตามรูปแบบมาตรฐานเดียวกันกับอาคารตัวอย่างอาคารสีเขียวเป็นผลให้ ดัชนีอาคารสีเขียวมีค่าใกล้เคียงกัน เปรียบเทียบกับอาคารไม่ใช่สีเขียวค่าดัชนีอาคารเขียวมีความแตกต่างกันมาก เนื่องจากอาคารดังกล่าวยังไม่มีนโยบายในการจัดการพลังงานภายในอาคารที่ชัดเจนจากผลการวิจัยสาเหตุหลักมาจากการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ การใช้วัสดุในการก่อสร้างอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานในอาคาร ควรมีข้อควรพิจารณาเพิ่มเติม ดังนี้

5.2.1 ระบบปรับอากาศ ออกแบบให้เกิดการไหลเวียนอากาศภายนอกสู่ภายใน ผสานระบบเครื่องปรับอากาศ

5.2.2 กระจกกรอบตัวอาคารเป็น Insulated Laminate ป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารและตัดแสงสะท้อนได้

5.2.3 กรอบอาคาร ใช้ฉนวนใยแก้วหุ้มด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ ทำให้การถ่ายเทความร้อนลดลง

5.2.4 การวัดปริมาณความชื้นของอาคารกรณีศึกษาควรทำเพิ่มเติมในช่วงเวลาอื่นของวัน เนื่องด้วยระยะเวลาที่ต่างไป ส่งผลให้ปริมาณความชื้นเปลี่ยนไปได้

5.2.5 เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือที่การวัดความชื้นต้องทำกับผนังที่มีความเรียบ จึงควรวัดในแต่ละตำแหน่งหลายครั้งเพื่อมาหาค่าเฉลี่ย หรือเลือกค่าที่เป็นไปได้มากที่สุด เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของการวัด

5.2.6 ควรวัดปริมาณความชื้นในผนังทุกด้านและในระยะความสูงที่เพิ่มมากขึ้น เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นในแต่ละระยะความสูงได้ชัดเจนมากขึ้นอีกทั้งยังสามารถนำไปสู่การหาสาเหตุและที่มาของความชื้นที่อาจเกิดจากปัจจัยด้านอื่นได้

5.2.7 การเพิ่มจำนวนจุดที่วัดปริมาณความชื้นในแต่ละด้านของผนังให้เพิ่มมากขึ้น จะช่วยให้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

คอลัมน์. **ส่องโลกพลังงาน**. หนังสือพิมพ์ไทยนิวส์. (2548 : เวปไซต์)

มาลินีชัยศุภกิจสินธ์ สิรินันท์วิริยะสุนทร และสุพรรณษาออกสุข. (2547). **แผ่นใยไม้อัดชนิดใหม่ จากเส้นใยชานอ้อย ผสม โฟมพอลิสไตรีน**. วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อมจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, 26(1), 99-106.

มาลินีชัยศุภกิจสินธ์วรางคณา วงศ์สิโรจน์กุล อภิสรา เรืองกุลและอรนลิน ศิริวรรณ. (2550). **แผ่นดูดซึมเสียงจากวัสดุ ประกอบเส้นใยมะพร้าวผสมโฟมพอลิสไตรีน**. วารสารวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี(ภาษาไทย) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 15(2), 54-60.

ประภาพรรณ หมั่นทา อรพิม กาญจนรัตน์และรชตะละม้ายอินทร์. (2549). **โครงงานพิเศษระดับปริญญาตรีการศึกษา สมบัติ การกั้นเสียง สมบัติเชิงกล และสมบัติทางกายภาพของแผ่นใยไม้อัดจากใบสับปะรด และโฟมพอลิสไตรีน**. คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

อัญชลีแท่นนิล อัญชิสา วงศ์ศิลารัตน์และโสภณา อภิชิตสกุลชัย. (2550). **โครงงานพิเศษระดับปริญญาตรีการเตรียม แผ่นใย ไม้อัดจากเส้นใยกาบกล้วยน้ำว้าผสมโฟมพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วโดยใช้กาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์**. คณะวิทยาศาสตร์สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. (25 ธันวาคม 2548).

ศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย.ที่มา:http://www.dede.go.th/dede /index.php?id=437 [2]

วรธรรม อุ่นจิตติชัย. (ตุลาคม 2548). นักวิชาการป่าไม้ระดับ 8 หัวหน้ากลุ่มงานพัฒนาอุตสาหกรรมไม้และป้องกัน รักษาเนื้อไม้สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้กรมป่าไม้. วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. (2543).

การใช้ฉนวน. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์คอมฟอร์ม.

ตระการ ก้าวกสิกรรม. (2537). **คู่มือฉนวนความร้อน**. กรุงเทพมหานคร: นำอักษรการพิมพ์.

กิตติศักดิ์ บัวศรี. (2544). **การผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากฟางข้าว**. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานและวัสดุมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พลังงาน, กระทรวง. (2547). **แนวทางการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างและฉนวนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน**. กรุงเทพมหานคร: บริษัท แกรนด์ เพรส แอนด์แพคกิ้ง จำกัด.

Japanese Standards Association. (1994). Fibreboards JIS A 5905-1994. Japanese Industrial Standard. Tokyo: Hohbunsha Co., Ltd.

Stein, B., & Reynolds, J. (2001). Mechanical and electrical equipment for buildings. New York:John Wiley & Sons.

Givoni, B. (1998). Climate consideration in building and urban design. New York: John Wiley & Sons.

Dunnett, N. (2004). Planting green roofs and living walls. Portland, OR: Timber Press.

The American Society of Heating Refrigerating and Air-condition Engineers. (2001). ASHRAE Handbook Fundamentals (SI): Air Contaminants. Atlanta, GA: ASHRAE.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ภาคผนวก ก. ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ประวัติคณะผู้วิจัย

1) ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายศรัณยู สว่างเมฆ
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Saranyoo Sawangmake
2) เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 355990018XXXX
3) ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ (พนักงานมหาวิทยาลัย)
4) หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
168 ถนนศรีอยุธยา แขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300
โทรศัพท์ 0 2281 9231-4ต่อ 6304-5 โทรสาร 0 2282 8572
Mobile : 08-14144972 E-mail : saranyoo_palm@hotmail.com

5) ประวัติการศึกษา

2554 สถ.ม. (นวัตกรรมอาคาร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2550 สถ.บ. (สถาปัตยกรรม) มหาวิทยาลัยศรีปทุม

6) สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

สาขาวิชาการ วัสดุและการก่อสร้าง
กลุ่มวิชา สถาปัตยกรรม

7) ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย

1) ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : -
2) หัวหน้าโครงการวิจัย : -
3) งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : -แนวทางการออกแบบบ้านพักผู้ประสพภัยจากตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้แล้ว

-การศึกษาและออกแบบผนังสองชั้นจากวัสดุธรรมชาติ (ไม้ไผ่)

- แผ่นฉนวนกันความร้อนจากใบสักเพื่อลดความร้อนให้กับอาคาร

-ผนังปลูกพืชจากใบสักเพื่อเป็นฉนวนกันความร้อนให้กับอาคาร

4)งานวิจัยที่กำลังทำ : ปี 2562 หัวหน้าโครงการวิจัย การศึกษาและพัฒนาบูธจำหน่ายสินค้าโอทอปเคลื่อนที่แบบถอดประกอบ สะท้อนอัตลักษณ์ศิลปะล้านนาจากวัสดุธรรมชาติในท้องถิ่นเพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจให้กับผลิตภัณฑ์ในชุมชน กรณีศึกษา : ศูนย์ภูฟ้าพัฒนา จังหวัดน่าน