แนวความคิดในการออกแบบบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็ก ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคาร และค่าใช้จ่ายโดยรวม

นายณรงค์ฤทธิ์ จินต์จันทรวงศ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546
ISBN 974-17-5253-9
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A DESIGN APPROACH TO REDUCE EXTERIOR SURFACE AREA AND TOTAL COST FOR A SMALL-SIZED FAMILY HOME

Mr.Narongrit Jinjantarawong

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture in Architecture

Department of Architecture
Faculty of Architecture
Chulalongkorn University

Academic Year 2003
ISBN 974-17-5253-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แนวความคิดในการออกแบบบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็ก ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคาร และค่าใช้จ่ายโดยรวม
โดย	นายณรงค์ฤทธิ์ จินต์จันทรวงศ์
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.วีระ สัจกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ฉันทวิลาสวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ณรงค์ฤทธิ์ จินต์จันทรวงศ์ : แนวความคิดในการออกแบบบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคาร และค่าใช้จ่ายโดยรวม . (A DESIGN APPROACH TO REDUCE EXTERIOR SURFACE AREA AND TOTAL COST FOR A SMALL-SIZED FAMILY HOME) อ. ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ, 154 หน้า. ISBN 974-17-5253-9.

ปัจจุบันความต้องการบ้านพักอาศัยขนาดเล็กราคาถูกมีมากขึ้น บ้านพักอาศัยส่วนใหญ่ไม่คำนึงถึงคุณภาพชีวิต จากปัญหาและความต้องการดังกล่าว จึงทำการศึกษาบ้านพักอาศัยเพื่อพัฒนาให้มีราคาถูก ก่อสร้างได้ง่าย รวดเร็ว และขยายต่อเติมได้ โดยยังคงคุณภาพชีวิตที่ดี ดังนั้นจึงมุ่งเน้นศึกษาพื้นที่เปลือกอาคารเนื่องจากเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อราคาในการก่อสร้างและคุณภาพชีวิตของบ้านพักอาศัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา และหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อพื้นที่เปลือกอาคาร แล้วนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบบ้านพักอาศัยเพื่อลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม ขั้นตอนในการวิจัยเริ่มจากการศึกษาตัวแปร และอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการลดพื้นที่เปลือกอาคาร ด้วยการคำนวณทางคณิตศาสตร์ จากนั้นจึงนำตัวแปรต่างๆ มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็ก ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม และประเมินราคาค่าใช้จ่าย ระยะเวลาในการก่อสร้าง โดยทำการเปรียบเทียบกับบ้านพักอาศัยขนาดเล็กทั่วไปในปัจจุบัน

จากการวิจัยพบว่า ตัวแปรที่มีผลต่อพื้นที่เปลือกอาคาร ได้แก่ พื้นที่ใช้สอย รูปแบบผังพื้น รูปทรงและความสูงของอาคาร รวมถึงวิธีการก่อสร้างเปลือกอาคารได้ศึกษาผนังฉนวนกันความร้อนภายนอกสำเร็จรูป ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปบุฉนวนกันความร้อนภายใน ผนังโครงเหล็กพ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอกบุฉนวนกันความร้อนภายใน ผนังโครงเหล็กใช้ฉนวนพันรอบพ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอก ผังพื้นของบ้านเป็นรูปวงกลมหรือใกล้เคียงกับวงกลมมากที่สุด ใช้รูปทรงในการออกแบบบ้านพักอาศัยเพื่อลดพื้นที่เปลือกอาคารจากรูปทรงกลม วิธีการก่อสร้างเปลือกอาคารใช้ผนังฉนวนกันความร้อนภายนอกสำเร็จรูปในส่วนของผนังที่มีช่องเปิด และผนังโครงเหล็กพันด้วยฉนวนเส้น พ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอกเพื่อให้ผนังต่อเนื่องกันในการก่อสร้าง ราคาค่าก่อสร้างประมาณ 5,130 บาทต่อตารางเมตร ใช้แรงงานในการก่อสร้าง 6 คน ระยะเวลาในการก่อสร้างแล้วเสร็จเป็นเวลา 6 วัน

ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า บ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็ก ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารสามารถลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและช่วยประหยัดพลังงานได้มาก พื้นที่ใช้สอย 1 ตารางเมตร มีพื้นที่เปลือกอาคาร 2.44 ตารางเมตร ต่ำกว่าบ้านพักอาศัยทั่วไปประมาณ 2 เท่า ใช้พลังงานโดยรวมต่ำกว่าบ้านพักอาศัยทั่วไปประมาณ 2.5 เท่า ใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 0.9 ตัน ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยเดือนละประมาณ 1,750 บาท ในการปรับอากาศทั้งอาคารตลอด 24 ชั่วโมง ต่ำกว่าบ้านพักอาศัยทั่วไปประมาณ 2.4 เท่า ต้องคำนึงถึงวิธีการก่อสร้างเปลือกอาคารที่เหมาะสม สามารถก่อสร้างได้ง่าย รวดเร็ว มีน้ำหนักเบา เหลือเศษวัสดุในการก่อสร้างให้น้อย และป้องกันความร้อน ความชื้นได้เป็นอย่างดี

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2546

#4574124025 : MAJOR ARCHITECTURE
KEY WORD: EXTERIOR SURFACE AREA / TOTAL COST/ SMALL-SIZED FAMILY HOME

NARONGRIT JINJANTARAWONG: A DESIGN APPROACH TO REDUCE EXTERIOR SURFACE AREA AND TOTAL COST FOR A SMALL-SIZED FAMILY HOME. THESIS ADVISOR :PROFESSOR SOONTORN BOONYATIKARN, Ph.D, 154pp. ISBN 974-17-5253-9.

According to business situation now a day, most of family in Thailand generates low income, However, there is still high demand for inexpensive compact house. Due to the stated problem, to develop suitable and inexpensive housing for low-income earners. Moreover, this kind of house must be easy and take short time. This housing project aims to study exterior surface area because its affecting the total cost and quality of life.

The purpose of study is to determine the relationship of variables affecting the exterior surface area and develop a small-sized family home to reduce the exterior surface area and total cost. The study is separated into three parts. Mathematical calculation were used to determine the relationship of variables affecting the exterior surface area, design methods for a proper small-sized family home by taking those variables into consideration and study evaluates the building expenditure, calculates the timeframe for building this house by comparing it to other small-size family homes.

It is found that the variables, which affect the exterior surface area, are useable areas, floor plan, shape, height the construction of the exterior surface area. The exterior surface area includes a Exterior Insulation and Finished System, a ready-made reinforcement concrete wall, an interior insulated wall, a wall with iron frame, the coating of exterior concrete wall, an interior insulated wall with iron frame, and a wall with insulator wrapped around. The design should have floor plan and form in a semi - circular or almost circular shape, the exterior surface area is constructed by using Exterior Insulation and Finished System and using walls with an iron frame wrapped with insulator or coated concrete on the outside. The construction cost is approximately 5,130 Baht per square meter by six construction workers during six days period.

As conclusion, a small-sized family house to reduce the exterior surface area and total cost can be reduced the cost and energy. The exterior surface area ratio is 2.44. If this house is air-conditioned by a 0.9 Ton air-conditioner all day, the cost of power used is about 1,750 Baht per month. This is considered 2.4 times lower than that of the general housing. Appropriate construction of the exterior surface should also be taken into consideration besides being easy and quick to build. In addition, this house should resist heat and moisture.

Department architecture — Student's signature .....
Field of study architecture — Advisor's signature .....
Academic year 2003

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จของการจัดทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ เป็นผลมาจากความกรุณาอนุเคราะห์ช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการดำเนินการต่างๆ จากผู้ที่เกี่ยวข้องมากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ ที่กรุณาถ่ายทอดองค์ความรู้ทางวิชาการ พร้อมทั้งให้คำปรึกษา แนะนำในทุกๆ ส่วนของวิทยานิพนธ์นี้ ในฐานะที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ฉันทวิลาสวงศ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์ และอาจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร ที่กรุณาสละเวลามาร่วมเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำแนะนำต่างๆ เพื่อปรับปรุงแก้ไขในบางประเด็น ทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้โอกาสผู้วิจัยในการทำการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณคณาจารย์และบุคลากรต่างๆ ในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างสูงในการจัดทำวิทยานิพนธ์ เพื่อให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ต้องขอขอบคุณ นายกิติศักดิ์ อนันต์พูนผล นายสาธิต กิจการนนท์ นายนัฐพล จิรัฐติกาลกิจ และนางสาวนฤมล ศุภเอม ที่คอยเป็นแรงผลักดัน ในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จรุร่วงไปด้วยดี รวมถึง พี่ๆ เพื่อนๆ สาขาเทคโนโลยีอาคารทุกคนผู้ร่วมในชะตากรรมเดียวกัน ซึ่งให้การสนับสนุนเป็นกำลังใจให้กันเสมอมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่ น้อง ผู้มีพระคุณอีกหลายท่าน ที่ให้การสนับสนุนทั้งกำลังกาย กำลังใจ แก่ผู้วิจัยจนกระทั่งสำเร็จบรรลุตามเป้าหมายในชีวิต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญรูป ..... ฎ
สารบัญแผนภูมิ ..... ฑ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 8
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 8
1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย 9
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 10
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย 11
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 12
2.1 ความต้องการของมนุษย์ในยุคปัจจุบัน 12
2.1.1 ความต้องการพื้นฐานของมนุษย์ 12
2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบสถาปัตยกรรมในปัจจุบัน 13
2.2 การเลือกรูปทรงที่เหมาะสม 16
2.2.1 การใช้รูปทรงที่มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยต่ำ 16
2.2.2 การใช้รูปทรงที่มีการรั่วซึมของอากาศต่ำ 17
2.2.3 การทำให้เกิดกระแสลมโดยอาศัยผลของความแตกต่างของอุณหภูมิ 18
2.3 การปรุงแต่งสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการประหยัดพลังงาน 19
2.3.1 การใช้ประโยชน์จากต้นไม้ใหญ่และพืชคลุมดิน 19
2.3.2 การใช้ประโยชน์จากดิน 22
2.3.3 การใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำ 24
2.4 การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร 26
2.4.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร 26

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคาร 30
2.4.3 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม 32
2.4.4 ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด 38
2.5 ระบบและวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอาคาร 42
2.5.1 ระบบโครงสร้างอาคาร 42
2.5.2 ข้อต่อหรือรอยต่อของโครงสร้าง 45
2.5.3 วัสดุเปลือกอาคาร 47
2.5.4 คุณสมบัติของฉนวนประเภทต่างๆ 50
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 52
3.1 ศึกษาตัวแปร และอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการออกแบบบ้านพักอาศัย ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม 52
3.1.1 ศึกษาขนาดและรูปแบบของผังพื้นบ้านพักอาศัย 52
3.1.2 ศึกษารูปทรง และความสูงของบ้านพักอาศัย 53
3.1.3 ศึกษาวิธีการก่อสร้างระบบเปลือกอาคารที่เหมาะสม 58
3.2 การประยุกต์ใช้ตัวแปรต่างๆ ในการออกแบบบ้านพักอาศัย ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคาร และค่าใช้จ่ายโดยรวม 65
3.2.1 ขนาดและรูปแบบของผังพื้นบ้านพักอาศัย 65
3.2.2 รูปทรง และความสูงของบ้านพักอาศัย 67
3.2.3 วิธีการก่อสร้างระบบเปลือกอาคารที่เหมาะสม 69
3.2.4 การขยายต่อเติม และขนาดของที่ดิน 69
3.3 ประเมินค่าใช้จ่าย และระยะเวลาในการก่อสร้างโดยรวมของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ 69
3.3.1 ปริมาณและราคาวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง 70
3.3.2 ระยะเวลาในการก่อสร้าง 70
3.4 ประเมินศักยภาพในการประหยัดพลังงานของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ 71
3.4.1 อัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอย 71
3.4.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเปลือกอาคาร 72
3.4.3 ภาระในการปรับอากาศและการใช้พลังงานโดยรวม 73

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 75

4.1 ผลการศึกษาตัวแปร และอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการออกแบบบ้านพักอาศัย ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม 75

4.1.1 รูปแบบของผังพื้นบ้านพักอาศัย 75

4.1.2 รูปทรงของบ้านพักอาศัย 78

4.1.3 วิธีการก่อสร้างระบบเปลือกอาคารที่เหมาะสม 82

4.2 ผลการประยุกต์ใช้ตัวแปรต่างๆ ในการออกแบบบ้านพักอาศัย ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคาร และค่าใช้จ่ายโดยรวม 87

4.2.1 ขนาดของผังพื้นบ้านพักอาศัย 87

4.2.2 ขนาดรูปทรงของบ้านพักอาศัย 91

4.2.3 วิธีการก่อสร้างระบบเปลือกอาคารที่เหมาะสม 95

4.2.4 การขยายต่อเติม และขนาดของที่ดิน 98

4.3 ผลการประเมินค่าใช้จ่าย และระยะเวลาในการก่อสร้างโดยรวมของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ 100

4.3.1 ปริมาณและราคาวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง 100

4.3.2 ระยะเวลาในการก่อสร้าง 103

4.4 ผลการประเมินศักยภาพในการประหยัดพลังงานของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ 104

4.4.1 อัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอย 105

4.4.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเปลือกอาคาร 106

4.4.3 ภาระในการปรับอากาศและการใช้พลังงานโดยรวม 107

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 114

5.1 สรุปผลการวิจัย 114

5.1.1 ตัวแปร และอิทธิพลของตัวแปรที่มีผล ต่อการออกแบบบ้านพักอาศัย ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม 114

5.1.2 การประยุกต์ใช้ตัวแปรต่างๆ ในการออกแบบบ้านพักอาศัย ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคาร และค่าใช้จ่ายโดยรวม 115

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1.3 ค่าใช้จ่าย และระยะเวลาในการก่อสร้างโดยรวม รวมถึงศักยภาพในการประหยัดพลังงานของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคาร สำหรับครอบครัวขนาดเล็ก 116
5.2 อภิปรายผล 117
5.3 ข้อเสนอแนะ 118
รายการอ้างอิง 119
ภาคผนวก 121
ภาคผนวก ก การคำนวณหาพื้นที่รูปเรขาคณิต 122
ภาคผนวก ข รูปทรงเรขาคณิต 132
ภาคผนวก ค ราคาค่าก่อสร้างบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ 140
ภาคผนวก ง สถิติความสามารถในการทำงานต่อวัน 144
ภาคผนวก จ การใช้พลังงานของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ 149
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 154

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1-1 แสดง โครงสร้างประชากรไทย พ.ศ.2527-2562 1

ตารางที่ 1-2 แสดง จำนวน และร้อยละของครัวเรือนส่วนบุคคล จำแนกตามประเภทของที่อยู่อาศัย การครอบครองที่อยู่อาศัย พ.ศ. 2543 2

ตารางที่ 1-3 รายได้ ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อเดือนของครัวเรือน และหนี้สินเฉลี่ยต่อครัวเรือน จำแนกตามสถานะทางเศรษฐสังคมของครัวเรือน พ.ศ. 2542 2543 2544 และ 2545 3

ตารางที่ 1-4 จำนวน และร้อยละของครัวเรือนและขนาดของครัวเรือนโดยเฉลี่ย จำแนกตาม สถานะทางเศรษฐสังคมของครัวเรือน พ.ศ. 2542 2543 2544 และ 2545 4

ตารางที่ 2-1 แสดงค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) สำหรับผนังที่มีความหนาแน่นเชิงมวล และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ต่างๆ กัน 27

ตารางที่ 2-2 แสดงรายการวัสดุ และสีทาผนังหรือหลังคาแยกตามระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ 28

ตารางที่ 2-3 แสดงค่าตัวประกอบแก้ 29

ตารางที่ 2-4 แสดงค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) สำหรับหลังคาที่มีความหนาแน่นเชิงมวล และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ต่างๆ กัน 31

ตารางที่ 2-5 แสดงค่าตัวประกอบแก้สำหรับหลังคา 32

ตารางที่ 2-6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และความหนาแน่นของวัสดุต่างๆ 36

ตารางที่ 3-1 แสดงรายละเอียดปริมาณงานที่ทำได้ต่อจำนวนคนงานต่อวัน 58

ตารางที่ 4-1 แสดงรายละเอียดของระยะเวลาในการทำงานต่อปริมาณงาน 1 ตารางเมตรต่อคน 83

ตารางที่ 4-2 แสดงรายละเอียดราคาของผนังฉนวนกันความร้อนภายนอกสำเร็จรูป 83

ตารางที่ 4-3 แสดงรายละเอียดราคาของผนังคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป บุฉนวนกันความร้อนภายใน 84

ตารางที่ 4-4 แสดงรายละเอียดราคาของผนังโครงเหล็ก พ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอก บุฉนวนกันความร้อนภายใน 85

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4-5 แสดงรายละเอียดราคาของผนังผนังโครงเหล็ก ใช้ฉนวนพันรอบ พ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอก 86

ตารางที่ 4-6 แสดงพื้นที่ใช้สอยในส่วนต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบบ้านพักอาศัย โดยแบ่งเป็น 3 รูปแบบ 87

ตารางที่ 4-7 แสดงพื้นที่ของรูปหลายเหลี่ยมด้านเท่าต่างๆ โดยแบ่งตามความยาวด้านของรูปเหลี่ยม 88

ตารางที่ 4-8 แสดงรายละเอียดของวิธีการก่อสร้างระบบเปลือกอาคารต่างๆ เมื่อใช้ก่อสร้างบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม 100

ตารางที่ 4-9 แสดงรายละเอียดที่ใช้คำนวณอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ กับบ้านเอื้ออาทร 105

ตารางที่ 5-1 แสดงรายละเอียดของวิธีการก่อสร้างเปลือกอาคารต่างๆ โดยเปรียบเทียบกับพื้นที่เปลือกอาคาร 1 ตารางเมตร 115

ตารางที่ 5-2 แสดงรายละเอียดของวิธีการก่อสร้างเปลือกอาคารต่างๆ เมื่อใช้ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคาร 116

ตารางที่ ค-1 แสดงสรุปราคาค่าก่อสร้างบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ 140

ตารางที่ ค-2 แสดงรายละเอียดราคาค่าก่อสร้างบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ 141

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1-1	แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้รับจากการออกแบบทั่วไป ที่ไม่เน้นการประหยัดพลังงาน	7
รูปที่ 2-1	แสดงองค์ประกอบของปรัชญาในการอยู่อาศัย ในยุคปัจจุบันในทรรศนะของ ศ.ดร.สุนทร บุญญาธิการ	15
รูปที่ 2-2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการออกแบบ เพื่อให้อาคารมีค่าอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร โดยมีความมุ่งหมายเพื่อให้สัดส่วนนี้มีค่าน้อยที่สุด	16
รูปที่ 2-3	แสดงรูปทรงอาคารประเภทต่างๆ รูปทรงที่ก่อให้เกิดความแตกต่างของแรงดันอากาศมากจะส่งผลให้เกิดการรั่วซึมของอากาศมาก	17
รูปที่ 2-4	แสดงตัวอย่างการใช้ต้นไม้ เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่เย็น	20
รูปที่ 2-5	แสดงสภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน n ชนิด	34
รูปที่ 2-6	แสดงสภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารซึ่งมีโครงสร้างประกอบด้วยวัสดุ n ชนิด และ มีช่องว่างอากาศภายใน	35
รูปที่ 2-7	แสดงลักษณะเชิงกายภาพของอุปกรณ์บังแดดชนิดแนวนอน	40
รูปที่ 2-8	แสดงลักษณะเชิงกายภาพของอุปกรณ์บังแดดชนิดแนวตั้ง	41
รูปที่ 2-9	แสดงลักษณะเชิงกายภาพของอุปกรณ์บังแดดแนวตั้งและแนวนอนติดตั้งร่วมกัน	41
รูปที่ 2-10	แสดงลักษณะของโครงสร้างแบบต่างๆ	43
รูปที่ 2-11	แสดงลักษณะของโครงสร้างพิเศษแบบต่างๆ	44
รูปที่ 2-12	แสดงข้อต่อและรอยต่อแบบต่างๆ ของโครงสร้าง	46
รูปที่ 2-13	แสดงองค์ประกอบของรังสีดวงอาทิตย์ทั้งหมด	48
รูปที่ 2-14	แสดงภาพกระจกชนิดที่นำมาพิจารณาในการวิจัย	49
รูปที่ 3-1	แสดงขนาดของรูปเรขาคณิตรูปแบบต่างๆ เมื่อกำหนดให้พื้นที่ภายในเท่ากัน คือเท่ากับ 1 ตารางหน่วย	53
รูปที่ 3-2	แสดงลักษณะของรูปทรงต่างๆ ที่มีพื้นที่ภายในเท่ากัน แต่มีความสูงแตกต่างกัน	55

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3-3 แสดงลักษณะของรูปทรงต่างๆ ที่มีพื้นที่ฐานเท่ากัน แต่มีความสูงแตกต่างกันตามจำนวนชั้น โดยแต่ละชั้นจะมีความสูง 1 หน่วย 56

รูปที่ 3-4 แสดงลักษณะของรูปทรงต่างๆ ที่มีพื้นที่ฐานเท่ากัน มีจำนวนชั้นต่างกัน โดยแต่ละรูปทรงจะมีความสูงเท่ากัน 57

รูปที่ 3-5 แสดงส่วนประกอบของผนังฉนวนกันความร้อนภายนอกสำเร็จรูป 59

รูปที่ 3-6 แสดงส่วนประกอบของผนังคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป บุฉนวนกันความร้อนภายใน 60

รูปที่ 3-7 แสดงส่วนประกอบของผนังโครงเหล็ก พ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอก บุฉนวนกันความร้อนภายใน 62

รูปที่ 3-8 แสดงส่วนประกอบของผนังโครงเหล็ก ใช้ฉนวนพันรอบ พ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอก 63

รูปที่ 3-9 แสดงลักษณะต่างๆ ทางเรขาคณิต ของรูป 10, 12 และ16 เหลี่ยมด้านเท่า 67

รูปที่ 3-10 แสดงลักษณะของลูกฟุตบอลเมื่อปรับพื้นผิวให้เรียบ เพื่อศึกษาชิ้นส่วนประกอบเปลือกอาคารให้เป็นรูปทรงกลม 68

รูปที่ 3-11 แสดงผังพื้นของบ้านเดี่ยวสูง 2 ชั้น ของโครงการบ้านเอื้ออาทร 71

รูปที่ 4-1 แสดงความยาวเส้นรอบรูป (หน่วย) ของรูปเรขาคณิตรูปแบบต่างๆ เมื่อกำหนดให้พื้นที่ภายในเท่ากัน คือ 1 ตารางหน่วย 76

รูปที่ 4-2 แสดงผังพื้นชั้นที่ 1 ของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบสำหรับครอบครัวขนาดเล็ก ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารละค่าใช้จ่ายโดยรวม 89

รูปที่ 4-3 แสดงผังพื้นชั้นที่ 2 ของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบสำหรับครอบครัวขนาดเล็ก ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารละค่าใช้จ่ายโดยรวม 90

รูปที่ 4-4 แสดงผังหลังคาของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารละค่าใช้จ่ายโดยรวม 90

รูปที่ 4-5 แสดงรูปทรงที่มีผิวหน้าเป็นรูปหลายเหลี่ยมด้านเท่าเท่ากันทุกหน้า 91

รูปที่ 4-6 แสดงโครงสร้างของรูปทรงกลม ที่เกิดจากรูปทรงที่มีผิวหน้าเป็นรูปสามเหลี่ยม มีผิวหน้า 20 หน้า จุดยอดมุม 12 มุม เส้นขอบ 30 เส้น (Icosahedron,3 Frequencies) 92

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4-7 แสดงหุ่นจำลองลักษณะของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ ให้ใกล้เคียงรูปทรงกลม โดยขึ้นรูปทรงจากรูป Icosahedron, 2 Frequencies 92

รูปที่ 4-8 แสดงสัดส่วนของบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารละค่าใช้จ่ายโดยรวม 93

รูปที่ 4-9 แสดงรูปตัดของบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารละค่าใช้จ่ายโดยรวม 93

รูปที่ 4-10 แสดงรูปด้านหน้าของบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารละค่าใช้จ่ายโดยรวม 94

รูปที่ 4-11 แสดงหุ่นจำลองลักษณะของบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารละค่าใช้จ่ายโดยรวม 94

รูปที่ 4-12 แสดงหุ่นจำลองลักษณะของบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารละค่าใช้จ่ายโดยรวม ที่ประกอบจากชิ้นส่วนสำเร็จรูป 95

รูปที่ 4-13 แสดงขนาดของชิ้นส่วนประกอบเปลือกอาคาร ของบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคาร ละค่าใช้จ่ายโดยรวม โครงประกอบบ้านออกแบบเพื่อให้เหลือเศษวัสดุให้น้อยที่สุด จากความยาวเหล็ก 6 เมตร 96

รูปที่ 4-14 แสดงชิ้นส่วนประกอบเปลือกอาคารของบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารละค่าใช้จ่ายโดยรวม 96

รูปที่ 4-15 แสดงหุ่นจำลองลักษณะของบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารละค่าใช้จ่ายโดยรวม เมื่อใช้วิธีการก่อสร้างด้วยผนังฉนวนกันความร้อนภายนอกสำเร็จรูปในส่วนของผนังที่มีช่องเปิด รวมกับผนังโครงเหล็ก ใช้ฉนวนพันรอบ พ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอกในส่วนของผนังทึบที่ต่อเนื่องกัน 97

รูปที่ 4-16 แสดงหุ่นจำลองลักษณะของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารละค่าใช้จ่ายโดยรวม 97

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4-17 แสดงรูปตัดบริเวณที่ออกแบบเพื่อการขยายต่อเติมในอนาคต ของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารละค่าใช้จ่ายโดยรวม ---- 98

รูปที่ 4-18 แสดงหุ่นจำลองการขยายต่อเติมในอนาคต ของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารละค่าใช้จ่ายโดยรวมที่ออกแบบ ---- 98

รูปที่ 4-19 แสดงขนาดที่ดินที่เล็กที่สุด สำหรับก่อสร้างบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ ---- 99

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 2-1 แสดงอุณหภูมิผิวหญ้าเปียกในร่ม (ใต้ต้นไม้) และอุณหภูมิกระเปาะเปียก เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศ 21
แผนภูมิที่ 2-2 แสดงอุณหภูมิดินและผิวดินแห้ง เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิกระเปาะเปียก 23
แผนภูมิที่ 2-3 แสดงอุณหภูมิน้ำลึก 1 เมตรเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศ 25
แผนภูมิที่ 2-4 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อน (R) ของวัสดุต่างๆ ที่ความหนา 1 นิ้ว 51
แผนภูมิที่ 4-1 แสดงการเปรียบเทียบ ความยาวของเส้นรอบรูปของผังพื้นรูปแบบต่างๆ เมื่อมีขนาดพื้นที่ใช้สอยภายในเพิ่มขึ้น 77
แผนภูมิที่ 4-2 แสดงการเปรียบเทียบ อัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยภายในของรูปทรงต่างๆ ที่มีพื้นที่ภายในเท่ากัน แต่มีความสูงแตกต่างกัน 79
แผนภูมิที่ 4-3 แสดงการเปรียบเทียบ อัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยภายในของรูปทรงต่างๆ ที่มีพื้นที่ฐานเท่ากัน แต่มีความสูงแตกต่างกันตามจำนวนชั้น 80
แผนภูมิที่ 4-4 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยภายในของรูปทรงต่างๆ ที่มีพื้นที่ฐานเท่ากัน มีจำนวนชั้นต่างกัน โดยแต่ละรูปทรงจะมีความสูงเท่ากัน 81
แผนภูมิที่ 4-5 แสดงพื้นที่ภายในชั้นที่ 1 ที่เหมาะสมสำหรับใช้ออกแบบบ้านพักอาศัยขนาดเล็ก เปรียบเทียบกับรูปหลายเหลี่ยมด้านเท่า 88
แผนภูมิที่ 4-6 แสดงการเปรียบเทียบ ราคาค่าวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม 101
แผนภูมิที่ 4-7 แสดงการเปรียบเทียบ สัดส่วนราคาค่าวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม 102
แผนภูมิที่ 4-8 แสดงเปรียบเทียบ สัดส่วนราคาค่าวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างบ้านเอื้ออาทร 102

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 4-9 แสดงการเปรียบเทียบพื้นที่เปลือกอาคาร (ไม่รวมเปลือกอาคารระนาบนอน และเปลือกอาคารที่อยู่ใต้ดิน) ในแต่ละทิศระหว่างบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม กับบ้านเอื้ออาทร 104
แผนภูมิที่ 4-10 แสดงการเปรียบเทียบ อัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยระหว่างบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม กับบ้านเอื้ออาทร 105
แผนภูมิที่ 4-11 แสดงการเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวม ผ่านเปลือกอาคารบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวมบ้านเอื้ออาทร กับอาคารเก่า และอาคารใหม่ ตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 106
แผนภูมิที่ 4-12 แสดงสัดส่วนของภาระในการปรับอากาศ ของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม 107
แผนภูมิที่ 4-13 แสดงสัดส่วนของภาระในการปรับอากาศ ของบ้านเอื้ออาทร 107
แผนภูมิที่ 4-14 แสดงการเปรียบเทียบภาระทั้งหมดของระบบปรับอากาศ ระหว่างบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม กับบ้านเอื้ออาทร 108
แผนภูมิที่ 4-15 แสดงการเปรียบเทียบภาระจากเปลือกอาคาร ในระบบปรับอากาศระหว่าง บ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม กับบ้านเอื้ออาทร 109
แผนภูมิที่ 4-16 แสดงแสดงสัดส่วนการใช้พลังงานโดยรวมในการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม 110
แผนภูมิที่ 4-17 แสดงแสดงสัดส่วนการใช้พลังงานโดยรวมในการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ของบ้านเอื้ออาทร 110

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 4-18 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานโดยรวมในการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ในวันที่มีการใช้พลังงานสูงสุด ของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม กับบ้านเอื้ออาทร 111
แผนภูมิที่ 4-19 แสดงแสดงการเปรียบเทียบขนาดของเครื่องปรับอากาศ ในการปรับอากาศทั้งอาคาร ของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม กับบ้านเอื้ออาทร ในวันที่มีการใช้พลังงานสูงสุด 112
แผนภูมิที่ จ-1 แสดงค่าการใช้พลังงานสูงสุดของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม ในแต่ละเดือน 150
แผนภูมิที่ จ-2 แสดงค่าการใช้พลังงานสูงสุดของบ้านเอื้ออาทร ในแต่ละเดือน 151
แผนภูมิที่ จ-3 แสดงค่าไฟฟ้าทั้งหมดของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม ในแต่ละเดือน 152
แผนภูมิที่ จ-4 แสดงค่าไฟฟ้าทั้งหมดของบ้านเอื้ออาทร ในแต่ละเดือน 153

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปี พ.ศ. 2546 ประเทศไทยมีจำนวนประชากรทั้งสิ้นประมาณ 64 ล้านคน ในปี พ.ศ. 2543 ได้มีการสำรวจสำมะโนประชากรและเคหะ ซึ่งประเทศไทยมีจำนวนครัวเรือนทั้งสิ้นประมาณ 15.4 ล้านครัวเรือน และมีอยู่ประมาณ 3.5 ล้านครัวเรือน ที่ไม่มีที่อยู่อาศัยเป็นของตัวเอง โดยมีขนาดของครัวเรือนเฉลี่ยอยู่ที่ 3.6 คนต่อครัวเรือน (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2543) นั้นคือยังมีประชากรของประเทศไทยอยู่ประมาณ 20 ล้านคน ที่ไม่มีที่อยู่อาศัยเป็นของตัวเอง หรือมีที่อยู่อาศัยที่ไม่มีคุณภาพ ที่ไม่ได้อยู่ในการสำรวจสำมะโนประชากรและเคหะ

ตารางที่ 1-1 แสดง โครงสร้างประชากรไทย พ.ศ.2527-2562

โครงสร้างประชากร	ปี (พ.ศ)					
	2527	2539	2544	2545	2546	2562
(จำนวนประชากร, ล้านคน)	50.637	60.003	62.914	63.430	63.959	70.213
รวม	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
วัยเด็ก	36.9	27.4	25.2	24.9	24.5	20.0
วัยทำงาน	57.4	64.4	65.5	65.7	65.9	65.3
วัยสูงอายุ	5.7	8.2	9.3	9.4	9.6	14.7
จำนวนปีที่แตกต่าง	12		23			

ที่มา: คาดประมาณประชากรของประเทศไทย พ.ศ.2533-2563 สำนักงานสถิติแห่งชาติ กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

จากการสำรวจรายได้เฉลี่ยของครัวเรือนในประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2545 พบว่าครัวเรือนในประเทศไทยมีรายได้อยู่ที่ประมาณ 13,740 บาทต่อครัวเรือน แต่ยังมีอยู่ประมาณร้อยละ 60 ของครัวเรือนทั้งประเทศที่มีรายได้เฉลี่ยประมาณ 8,500 บาทต่อครัวเรือน (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2543) ซึ่งนับว่ามีรายได้ต่ำมาก

ตารางที่ 1-2 แสดง จำนวน และร้อยละของครัวเรือนส่วนบุคคล จำแนกตามประเภทของที่อยู่อาศัย การครอบครองที่อยู่อาศัย พ.ศ. 2543

การครอบครองที่อยู่อาศัย	รวม		ประเภทของที่อยู่อาศัย				
	ครัวเรือน	ร้อยละ	บ้านโดด	ทาวน์เฮาส์	ห้องชุด	ห้องแถว เรือนแถว	ตึกแถว
รวม*	15,371,154	100.0	12,336,555	586,716	470,469	1,007,750	969,659
เจ้าของ	12,396,865	80.7	11,337,177	368,167	96,336	210,978	384,213
เช่าซื้อ	256,565	1.7	89,211	73,190	31,059	14,595	48,514
เช่า	1,582,087	10.3	295,232	118,347	278,479	514,629	375,403
อยู่โดยไม่เสียค่าเช่าเพราะเป็นส่วนหนึ่งของค่าจ้าง	236,263	1.5	71,336	4,646	27,208	86,275	46,799
ให้อยู่เปล่า	731,497	4.8	396,334	18,484	34,795	174,256	107,620
ไม่ทราบ	167,870	1.1	147,278	3,884	2,592	7,017	7,108

* ไม่รวมครัวเรือนส่วนบุคคลที่มีที่อยู่อาศัยเป็นห้องภายในบ้าน ที่อยู่อาศัยในสำนักงาน และเรือแพหรือรถ

ที่มา: สำมะโนประชากรและเคหะ พ.ศ. 2543 สำนักงานสถิติแห่งชาติ กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 1-3 รายได้ ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อเดือนของครัวเรือน และหนี้สินเฉลี่ยต่อครัวเรือน จำแนกตามสถานะทางเศรษฐสังคมของครัวเรือน พ.ศ. 2542 2543 2544 และ 2545

จำนวนเป็นบาท

สถานะทางเศรษฐสังคมของครัวเรือน	รายได้เฉลี่ยต่อครัวเรือนต่อเดือน				ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อครัวเรือนต่อเดือน				หนี้สินต่อครัวเรือน			
	2542	2543	2544	2545	2542	2543	2544	2545	2542	2543	2544	2545
ครัวเรือนทั้งหมด	12,729	12,150	12,185	13,736	10,238	9,848	10,025	10,889	71,713	68,405	68,279	82,485
ผู้ถือครองทำการเกษตร												
เป็นเจ้าของที่ดิน	7,244	7,014	7,072	8,827	6,551	6,185	6,331	7,470	40,114	40,124	46,338	54,136
เช่าที่ดิน	7,823	7,678	7,122	9,971	6,652	6,417	6,777	7,595	49,949	54,795	47,286	56,899
ผู้ดำเนินธุรกิจของตนเองที่ไม่ใช่การเกษตร	18,313	17,093	15,952	18,970	13,022	12,821	13,021	13,893	138,011	145,135	116,906	153,132
ลูกจ้าง												
ผู้ปฏิบัติงานวิชาชีพ นักวิชาการ และนักบริหาร	32,638	31,366	32,708	33,963	23,619	22,751	23,167	24,902	181,525	199,363	204,680	249,700
คนงานเกษตร	5,032	4,796	5,139	5,467	5,374	4,858	5,365	5,431	22,351	16,490	20,847	18,786
คนงานทั่วไป	6,742	6,869	7,118	7,088	5,807	6,241	6,744	6,541	18,136	19,813	22,476	20,291
เสมียน พนักงาน พนักงานขาย และให้บริการ	16,633	14,678	13,717	15,122	13,452	12,349	11,449	12,662	96,335	58,086	62,620	78,019
ผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการผลิต	9,648	10,500	10,361	10,499	8,439	8,907	8,961	8,861	28,182	27,332	26,824	27,605
ผู้ไม่ได้ปฏิบัติงานเชิงเศรษฐกิจ	9,108	8,169	8,412	9,189	8,026	7,148	7,107	7,620	39,896	32,815	36,290	34,263

ที่มา: รายงานการสำรวจภาวะเศรษฐกิจและสังคมของครัวเรือน พ.ศ. 2542 2543 2544 และ 2545 สำนักงานสถิติแห่งชาติ กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

ตาราง 1-4 จำนวน และร้อยละของครัวเรือนและขนาดของครัวเรือนโดยเฉลี่ย จำแนกตาม สถานะทางเศรษฐสังคมของครัวเรือน พ.ศ. 2542 2543 2544 และ 2545

สถานะทางเศรษฐสังคมของครัวเรือน	อัตราร้อยละของครัวเรือน				ขนาดของครัวเรือนโดยเฉลี่ย (คน)			
	2542	2543	2544	2545	2542	2543	2544	2545
ครัวเรือนทั้งหมด (ล้านครัวเรือน)	16.7064	17.3094	17.4299	17.8827	3.7	3.6	3.6	3.5
ทั่วราชอาณาจักร	100.0	100.0	100.0	100.0				
ผู้ถือครองทำการเกษตร								
เป็นเจ้าของที่ดิน	21.2	20.4	20.4	19.0	4.1	4.0	4.0	3.9
เช่าที่ดิน	4.1	4.2	4.4	4.1	3.9	4.0	4.1	4.0
ผู้ดำเนินธุรกิจของตนเองที่ไม่ใช่การเกษตร	16.1	16.3	16.9	17.1	3.8	3.8	3.8	3.7
ลูกจ้าง								
ผู้ปฏิบัติงานวิชาชีพ นักวิชาการฯ	7.3	8.2	8.6	9.1	3.7	3.5	3.6	3.4
คนงานเกษตร	6.1	7.1	6.5	6.8	4.0	3.8	3.6	3.6
คนงานทั่วไป	1.7	1.9	1.8	1.6	3.4	3.7	3.7	3.6
เสมียน พนักงาน พนักงานขาย								
และให้บริการ	14.5	13.2	14.3	13.2	3.6	3.6	3.5	3.5
ผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการผลิต	12.8	12.4	11.6	12.7	4.0	3.7	3.6	3.6
ผู้ไม่ได้ปฏิบัติงานเชิงเศรษฐกิจ	16.3	16.3	15.5	16.4	3.0	2.8	2.7	2.7

ที่มา: รายงานการสำรวจภาวะเศรษฐกิจและสังคมของครัวเรือน พ.ศ. 2542, 2543, 2544 และ 2545 สำนักงานสถิติแห่งชาติ กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศ และการสื่อสาร

แนวทางในการแก้ไขปัญหาทางเรื่องที่อยู่อาศัยของประชากรในประเทศไทย จึงมุ่งเน้นแสวงหาที่อยู่อาศัยที่มีราคาประหยัด เหมาะสมกับครอบครัวขนาดเล็ก ที่มีรายได้น้อย สามารถก่อสร้างได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว อีกทั้งยังต้องมีความเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศเขตร้อนชื้น ในประเทศไทย โดยมุ่งเน้นให้บ้านพักอาศัยมีพื้นที่เปลือกอาคารน้อยที่สุดเท่าที่จะสามารถให้ผู้อยู่อาศัยอยู่ได้อย่างมีคุณภาพชีวิตและมีค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำ นอกจากพื้นที่เปลือกอาคารส่งผลต่อราคาค่าก่อสร้างอาคารโดยตรงแล้ว ยังส่งผลต่อประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานดังนี้

1. การถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเป็นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานในอาคาร เนื่องจากปริมาณพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารแปรผันโดยตรงกับปริมาณพื้นที่เปลือกอาคาร

ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเปลือกอาคาร (q) คิดจากสมการ

$$q = UA\Delta T$$

อาคารที่มีพื้นที่เปลือกอาคารมากจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารเพิ่มขึ้น จนทำให้สภาพแวดล้อมภายในอาคารไม่อยู่ในเขตสบาย และจำเป็นต้องใช้เครื่องปรับอากาศในปริมาณที่มากขึ้น เพื่อควบคุมสภาพแวดล้อมภายในอาคาร การลดพื้นที่เปลือกอาคารจึงเป็นการแก้ปัญหาที่ต้นเหตุซึ่งสามารถลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. อาคารรูปทรงต่างๆ จะมีการรั่วซึมของอากาศเข้าสู่ภายในอาคารแตกต่างกันเมื่อได้รับอิทธิพลจากความเร็วลม รูปทรงที่ก่อให้เกิดความแตกต่างของแรงดันอากาศมากจะทำให้เกิดการรั่วซึมของอากาศสูง ในขณะเดียวกันรูปทรงที่ก่อให้เกิดความแตกต่างของแรงดันอากาศน้อยจะส่งผลให้เกิดการรั่วซึ่มของอากาศต่ำ อากาศที่รั่วซึ่มเข้าสู่ภายในอาคารจะเป็นตัวกลางนำความร้อนและความชื้นเข้าสู่ภายในอาคาร ในกรณีที่เป็นอาคารปรับอากาศจะทำให้ภาระในการทำความเย็นเพิ่มขึ้น และส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารโดยตรง

จุดมุ่งหมายสำคัญในการพิจารณาออกแบบบ้านพักอาศัย เพื่อให้ผู้อยู่อาศัยในอาคารได้รับประโยชน์จากปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อสภาวะสบายของมนุษย์

สภาวะสบายของมนุษย์ (Comfort zone) คือ สภาวะที่มนุษย์รู้สึกสบายโดยไม่สามารถระบุลงไปได้ว่ารู้สึกร้อนหรือหนาว โดยทำการสำรวจจากตัวอย่างประชากรโลกชนชาติต่างๆ จนได้ข้อสรุปซึ่งเป็นที่ยอมรับว่ามีค่าใกล้เคียงกันทุกชนชาติแม้จะอาศัยอยู่ในเขตภูมิอากาศที่แตกต่างกัน โดยมีค่าที่เหมาะสมอยู่ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50 % การสร้างสภาวะสบายของมนุษย์จะต้องประกอบไปด้วยตัวแปรต่างๆที่ต้องเกื้อกูลกัน คือ

อุณหภูมิอากาศ (Air temperature) ค่าที่เหมาะสมจากการทดลองประมาณ 25 องศาเซลเซียส

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relation humidity) ความเหมาะสมในการสร้างสภาวะสบาย ไม่รู้สึกแห้งเกินไปหรือเหนอะหนะ อยู่ที่ค่าประมาณ 50 %

อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(Mean Radiant Temperature: MRT) คือ ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่มนุษย์รู้สึกได้จากสภาพแวดล้อมที่แผ่รังสีความร้อนให้กับมนุษย์หรือแลกเปลี่ยนอุณหภูมิกับร่างกาย ทำให้มนุษย์รู้สึกร้อนหรือหนาวมากกว่าอุณหภูมิอากาศจริง มีค่าที่คำนวณได้จากสมการเมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส จะทำให้มนุษย์รู้สึกร้อนหรือหนาวเพิ่มขึ้นประมาณ 1.4 องศาเซลเซียส

ความเร็วลม(Wind velocity) มีอิทธิพลต่อความรู้สึกเย็นสบายของมนุษย์ เนื่องจากเมื่อมีความเร็วลมเพิ่มมากขึ้น มนุษย์จะรู้สึกเย็นลงกว่าอุณหภูมิจริงในขณะนั้น โดยสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

ความรู้สึกเย็นลง(องศาเซลเซียส) = 0.381V+0.0016RH

เมื่อ V = ความเร็วลม (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

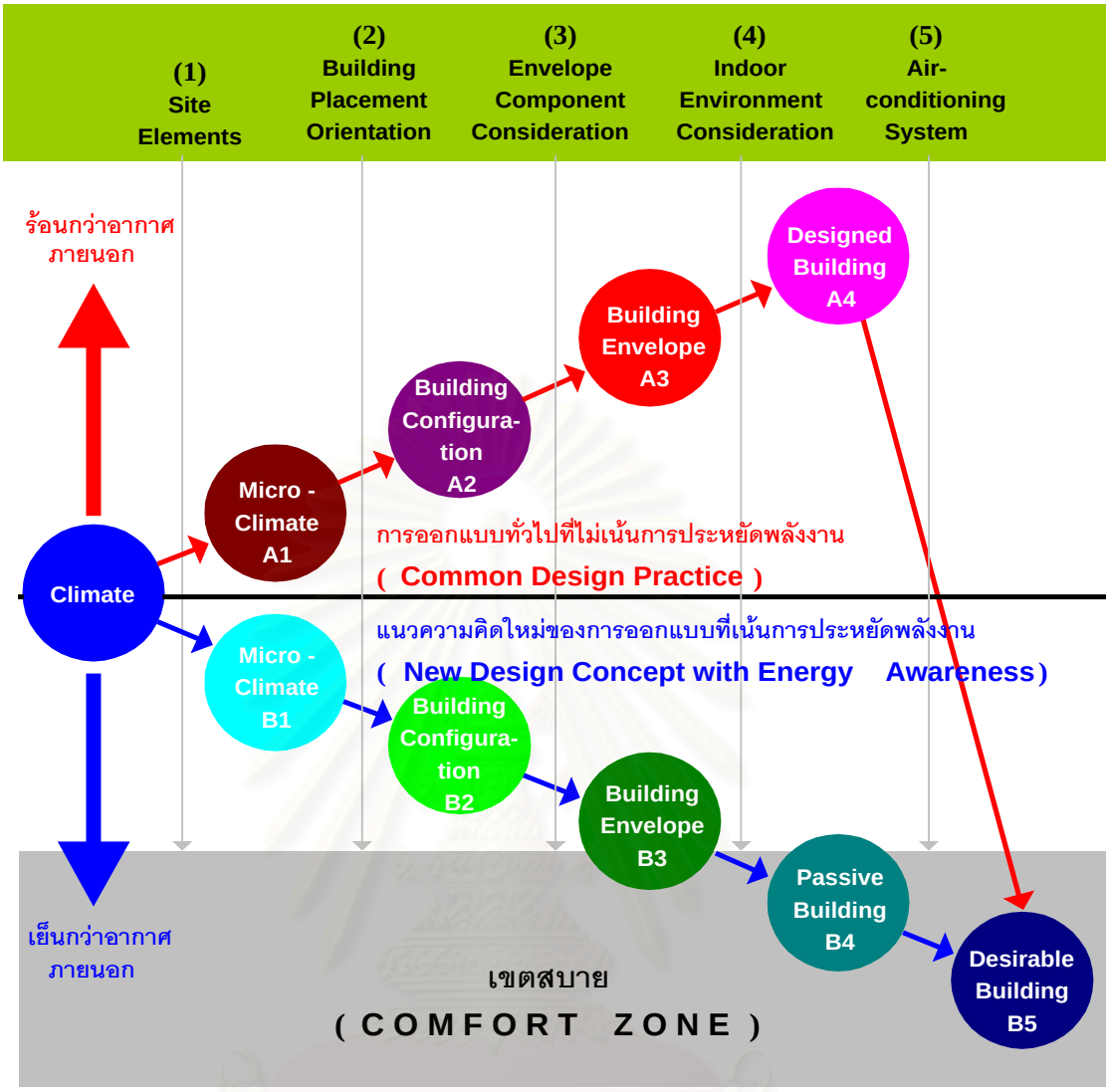
RH = ความชื้นสัมพัทธ์ (%)

ความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทำให้มนุษย์รู้สึกเย็นลงประมาณ 0.4 องศาเซลเซียส โดยลดลงมากที่สุดที่ 4 องศาเซลเซียส

เสื้อผ้าที่สวมใส่(Clo-value) จากการศึกษาในต่างประเทศ ซึ่งเป็นเขตหนาวกำหนดให้เครื่องแต่งกายของชายนักธุรกิจ คือ เสื้อสูททำงานครบชุด มีค่า Clo เท่ากับ 1 พบว่าจำนวนเสื้อผ้ายิ่งน้อยชิ้นลงจะส่งผลให้ค่า Clo ยิ่งลดลง ในทางกลับกันเสื้อผ้ายิ่งมาก ร่างกายยิ่งมีอุณหภูมิสูงขึ้น จึงรู้สึกร้อนและไม่สบาย

อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย(Metabolism rate) ร่างกายที่มีอัตราการเผาผลาญพลังงานสูงเนื่องจากการทำกิจกรรมต่างๆ เช่น การเดินขึ้นลงที่สูง หรือ การแบกของหนัก จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้รู้สึกไม่สบายเป็นผลต่อสภาวะสบายโดยรวมของมนุษย์

การออกแบบรูปทรงอาคารจึงควรเลือกรูปทรงที่มีพื้นที่เปลือกอาคารน้อยที่สุดและเป็นรูปทรงที่ก่อให้เกิดความแตกต่างของแรงดันอากาศน้อย เพื่อให้เกิดการรั่วซึมของอากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารต่ำที่สุด อีกทั้งควรจะเป็นรูปทรงที่มีความแข็งแรง สามารถก่อสร้างได้ง่าย ในจำนวนที่มากๆ และมีราคาประหยัดในการก่อสร้างอาคาร ดังนั้นอาคารรูปทรงโดมจึงเป็นรูปทรงที่เหมาะสมที่จะก่อสร้างเป็นบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็ก ที่มีรายได้น้อยให้มีความเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศเขตร้อนชื้น ในประเทศไทย



รูปที่ 1-1 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้รับจากการออกแบบทั่วไปที่ไม่เน้นการประหยัดพลังงาน ทำให้สภาวะภายในอาคารเข้าใกล้เขตสบายมากที่สุด จึงทำให้ประหยัดพลังงานในการปรับสภาวะอากาศภายในให้อยู่ในระดับที่ต้องการ (สุนทร บุญญาธิการ, 2545)

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปทรงของอาคาร วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง วิธีการก่อสร้างจึงต้องปรับเปลี่ยนตามไปด้วย โดยการเลือกใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบา สามารถก่อสร้างได้ง่าย และสามารถป้องกันความร้อนและความชื้นได้ดี หรือเลือกใช้ระบบการก่อสร้างสำเร็จรูปที่มีการผลิตชิ้นส่วนขึ้นมาก่อนแล้วจึงจะประกอบกันสร้างเป็นอาคารภายหลัง เพื่อให้บรรลุเป้าหมายหลัก ในการลดต้นทุนด้านวัสดุเปลือกอาคาร เวลา และแรงงานในการก่อสร้าง นำไปสู่แนวความคิดในการออกแบบบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็ก ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคาร และค่าใช้จ่ายโดยรวม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาตัวแปร และอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการออกแบบบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็ก ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคาร และค่าใช้จ่ายโดยรวม

2. เพื่อประยุกต์ใช้ตัวแปรในการออกแบบบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็ก ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคาร และค่าใช้จ่ายโดยรวม

3. เพื่อประเมินค่าใช้จ่าย และระยะเวลาในการก่อสร้าง ตลอดจนตรวจสอบศักยภาพในการประหยัดพลังงานของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคาร และค่าใช้จ่ายโดยรวม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็ก ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคาร และค่าใช้จ่ายโดยรวม ได้แก่ ด้านรูปทรง สัดส่วนและขนาดการจัดพื้นที่ใช้สอย ด้านวิธีการก่อสร้างเปลือกอาคาร

2. การวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีการก่อสร้างระบบเปลือกอาคารต่างๆ ได้แก่ ผนังฉนวนกันความร้อนภายนอกสำเร็จรูป, ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปบุฉนวนกันความร้อนภายใน, ผนังโครงเหล็กพ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอกบุฉนวนกันความร้อนภายใน และผนังโครงเหล็กใช้ฉนวนพันรอบพ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอก โดยกำหนดให้การก่อสร้างในส่วนอื่นๆ เป็นตัวแปรควบคุม

3. ขอบเขตด้านการจัดพื้นที่ใช้สอย

3.1 ขนาดและความสูงของที่ว่างที่น้อยที่สุด สำหรับรองรับการใช้สอยทำกิจกรรมต่างๆ ยึดถือเกณฑ์ตามหนังสือ TIME-SAVER STANDARDS FOR HOUSING and RESIDENTIAL DEVELOPMENT

3.2 ขนาดของบ้านพักอาศัย เพื่อลดพื้นที่เปลือกอาคาร และค่าใช้จ่ายโดยรวม ที่ใช้ในการวิจัย จะเป็นบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็ก มีผู้อยู่อาศัยจำนวน 2 คน ประกอบด้วยห้องรับแขกและนั่งเล่น ส่วนรับประทานอาหาร ห้องนอน ห้องน้ำ 1 ห้อง ส่วนเตรียมอาหาร และครัว

3.3 การวางผังบนที่ดิน ที่ดินตั้งอยู่ภายในบริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย รูปร่างของที่ดินเป็นรูปเหลี่ยมที่มีขนาดของที่ดินเป็นขนาดที่เล็กที่สุดที่สามารถรองรับอาคารได้ ระยะจากผนังอาคารถึงแนวขอบเขตที่ดินให้เป็นไปตาม พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

4. ขอบเขตด้านการเลือกใช้วัสดุ

4.1 พื้นชั้นหนึ่ง และผนังกันดินเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก

4.2 พื้นชั้นที่สอง ใช้ระบบตงเหล็กรูปพรรณตัวซีหันหลังปะกบกันขนาด 100x50x20x2.3 mm. แล้วเทพื้นคอนกรีตหล่อในที่หนา 5 cm.

4.4 ผนังและฝ้าเพดานภายในเป็นแผ่นยิปซั่มบอร์ดหนา 12 mm. ยาแนวฉาบเรียบ ยกเว้นห้องน้ำและฝ้าเพดานภายนอกเป็นแผ่นยิปซั่มบอร์ดหนา 12 mm. ชนิดทนชื้น

4.5 หน้าต่างบานกระทุ้ง วงกบและบานกรอบอลูมิเนียม ลูกฟักกระจกลามิเนตมีค่าสัมประสิทธิ์การกันแดดเท่ากับ 0.30 และมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 5.60 Btu/hr.ft^2.F

4.6 ประตูวงกบไม้แดงขนาด 2"x4" บานประตูไม้สักหนา 1"

5. ข้อมูลด้านราคาค่าก่อสร้าง และระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง ในการวิจัยเป็นข้อมูลสามารถค้นหาได้จากฐานข้อมูลภายในประเทศไทยปี พ.ศ. 2546-2547 อ้างอิงจากหนังสือราคาค่าก่อสร้างต่อหน่วยสำเร็จรูป (อัลฟา ทีม:2545) กับคู่มือรวมข้อมูลก่อสร้าง (นรมิตร ลิ่วธนมงคล: 2538)

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

การลอยตัวของอากาศร้อน (Stack Effect/Chimney Effect) คือปรากฏการณ์ที่อากาศร้อนมีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศเย็น จึงลอยตัวสูงขึ้นไปในอากาศเบื้องบน ทำให้อุณหภูมิของอากาศที่จุดสูงสุดสูงกว่า (ร้อนกว่า) อุณหภูมิที่อยู่ข้างล่าง ในกรณีนี้หากมีช่องเปิดทั้งด้านล่างและด้านบน ก็จะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของอากาศออกทางส่วนบนสุดของอาคาร และอากาศดังกล่าวจะถูกแทนที่ด้วยอากาศที่เย็นกว่าจากช่องเปิดด้านล่าง

เขตสบาย หรือ โซนสบาย (Comfort Zone) เป็นขอบเขตของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความรู้สึกร้อน-หนาวของมนุษย์ โดยทั่วไปหมายถึง โซน (Zone) ที่มนุษย์ตัดสินไม่ได้ว่าร้อนหรือหนาว สภาวะดังกล่าวที่มนุษย์ไม่รู้สึกร้อนหรือหนาวนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหรือตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความรู้สึกของมนุษย์ 6 ตัวแปร ได้แก่

1. อุณหภูมิอากาศ (Air temperature)
2. ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)
3. อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature)
4. ความเร็วลม (Air velocity)
5. อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย (Metabolism rate)
6. เสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clo-value)

เปลือกอาคาร (Building Envelope) หมายถึง ทุกๆ ส่วนของอาคารที่สัมผัสกับอากาศภายนอก

ปัจจัยธรรมชาติ ปัจจัยที่เกิดจากธรรมชาติซึ่งส่งผลต่อการอยู่อาศัยและการออกแบบที่อยู่อาศัยยุคอนาคต เป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้แต่สามารถคาดการณ์ความน่าจะเป็นและนำความน่าจะเป็นเหล่านั้นมาใช้ปรับปรุงและออกแบบเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการอยู่อาศัย

สภาวะน่าสบาย หมายถึง สภาวะที่ร่างกายไม่รู้สึกร้อนหรือหนาวจนเกินไป หรือร่างกายอยู่ในเขตสบาย

หุ่นจำลองแบบมาตราส่วน (Scale model) หุ่นจำลองที่ใช้ในการศึกษาวิจัยเนื่องจากเป็นการวิจัยเพื่อหาความสัมพันธ์และข้อสรุปในการสร้างนวัตกรรมแห่งอนาคต ซึ่งจำเป็นต้องมีข้อมูลครอบคลุมตลอดทั้งปี แต่ด้วยเหตุผลในเรื่องข้อจำกัดของเวลาทำให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลจากอาคารจริงได้ จึงต้องใช้หุ่นจำลองเพื่อการรวบรวมข้อมูลแทน โดยหุ่นจำลองจะต้องมีคุณสมบัติที่เพียงพอต่อการทำการวิจัย

วิธีการคำนวณเชิงคณิตศาสตร์(Mathematical Method) เพื่อหาค่าความร้อนผ่านเปลือกอาคาร และค่าการสะสมความร้อนในมวลสาร เป็นเพียงการวิเคราะห์หาค่าโดยประมาณการเท่านั้น เนื่องจากในสภาวะจริงจะมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องเข้ามาส่งผลกระทบอย่างมากมายทำให้ไม่สามารถทราบสภาพที่เป็นจริงได้เช่น การแปรเปลี่ยนของอุณหภูมิ ความเร็วลมที่ไม่คงที่ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ไม่คงที่เป็นต้น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการออกแบบบ้านพักอาศัยบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็ก ที่มีพื้นที่เปลือกอาคารน้อย และมีค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำ
2. สร้างความเข้าใจในตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็ก เพื่อลดพื้นที่เปลือกอาคาร และค่าใช้จ่ายโดยรวม
3. ได้วิธีการก่อสร้างบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่เหมาะสม เพื่อลดพื้นที่เปลือกอาคาร และค่าใช้จ่ายโดยรวม
4. เป็นแนวทางในการพัฒนาที่อยู่อาศัยสำหรับครอบครัว ขนาดเล็ก โดยเฉพาะครอบครัวที่มีรายได้น้อย เพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตและการอยู่อาศัยให้ดียิ่งขึ้น

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวความคิดในการออกแบบบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็ก เพื่อลดพื้นที่เปลือกอาคาร และค่าใช้จ่ายโดยรวม
2. ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการออกแบบบ้านพักอาศัย เพื่อลดพื้นที่เปลือกอาคาร และค่าใช้จ่ายโดยรวม
3. ออกแบบบ้านพักอาศัย เพื่อลดพื้นที่เปลือกอาคาร และค่าใช้จ่ายโดยรวม
4. คำนวณค่าใช้จ่ายโดยรวมของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ
5. คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเปลือกอาคารที่ออกแบบ
6. คำนวณค่าภาระในการปรับอากาศของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ
7. สรุปและประเมินผลรูปแบบบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็ก เพื่อลดพื้นที่เปลือกอาคาร และค่าใช้จ่ายโดยรวม
8. เสนอแนะแนวทางการปรับปรุงและเผยแพร่รูปแบบของบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็ก เพื่อลดพื้นที่เปลือกอาคาร และค่าใช้จ่ายโดยรวม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความต้องการของมนุษย์ในยุคปัจจุบัน

2.1.1 ความต้องการพื้นฐานของมนุษย์

เมื่อสภาพแวดล้อมรอบตัวเราเลวร้ายลงเรื่อยๆ ในขณะที่คนยุคปัจจุบันมีความต้องการคุณภาพชีวิตที่ดีเพิ่มขึ้น ประกอบกับสภาพของสังคมและเศรษฐกิจที่เปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา เทคโนโลยีที่ก้าวหน้า และกระแสของความตระหนักต่อการใช้พลังงานโดยรวม ได้ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงแนวความคิดในการออกแบบบ้านพักอาศัย เกิดเป็นปรัชญาของการอยู่อาศัยของคนยุคใหม่ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักก็เพื่อที่จะให้บ้านเป็นคำตอบสำหรับความต้องการที่ครบถ้วนของการใช้ชีวิต 8 ประการ(สุนทร บุญญาธิการ, 2545) ได้แก่

2.1.1.1 **ความรู้สึกร้อน – หนาวที่พอเหมาะ** (Thermal Comfort) หมายถึง การควบคุมสภาพแวดล้อมภายในอาคารให้อยู่ในเขตสบายตามความต้องการของผู้อยู่อาศัย โดยเน้นการใช้ระบบธรรมชาติให้มากที่สุด และปรับปรุงช่วงที่อยู่นอกเขตสบาย เช่น ร้อนเกินไปด้วยระบบปรับอากาศหรือระบบเครื่องกลในส่วนน้อย

2.1.1.2 **การมีแสงสว่างที่เหมาะสมและพอเพียง** (Lighting Comfort) หมายถึง รูปแบบที่เน้นระดับความแตกต่างของแสง(Contrast) ที่ไม่ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อสายตา โดยคำนึงถึงการประยุกต์ใช้แสงธรรมชาติเป็นหลัก ในกรณีที่เป็นบ้านพักอาศัยในช่วงเวลากลางวันควรเน้นรูปแบบที่ไม่ใช้แสงประดิษฐ์ เนื่องจากแสงธรรมชาติมีคุณสมบัติและประสิทธิภาพดีกว่าแสงประดิษฐ์ ส่วนในเวลากลางคืนก็จะเป็นระบบแสงประดิษฐ์ชนิดประหยัดพลังงาน แต่ยังคงตอบสนองคุณภาพชีวิตได้อย่างเหมาะสม

2.1.1.3 **การมีคุณภาพเสียงที่เหมาะสม** (Acoustical Comfort) หมายถึง การควบคุมเสียงทั้งภายนอกและภายในโดยเน้นการกันเสียงจากภายนอก ในขณะเดียวกันก็สามารถควบคุมระดับและคุณภาพของเสียงภายในอาคารไว้ในระดับที่เหมาะสม กล่าวคือ ไม่ให้มีค่าการดูดซับเสียงมากเกินไป เพราะจะทำให้คนในอาคารเกิดความรู้สึกเหงาซึมเศร้า แต่ถ้าค่าการดูดซับเสียงน้อยเกินไปก็จะทำให้เรารู้สึกเอะอะอึกทึกครึกโครม โดยทั่วไปควรออกแบบให้มีค่าการดูดซับเสียงเฉลี่ยอยู่ในระหว่าง 0.2-0.4

2.1.1.4 **ความต้องการทัศวิสัยที่สบายตา** (Visual Comfort) หมายถึง ความต้องการในเรื่องทัศนวิสัยที่เน้นความรู้สึกสบายตาและสดชื่นแจ่มใส โดยการควบคุมระดับความจ้าและการสะท้อนแสงของสภาพแวดล้อมไว้ในระดับที่ความแตกต่างระหว่างจุดที่มืดที่สุด

และจุดที่สว่างที่สุด อยู่ในอัตราส่วนระหว่างไม่มากเกินกว่า 1:10 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ไม่มากเกินไปสำหรับสายตามนุษย์ ทำให้รู้สึกสบายตา มองแล้วไม่ระคายเคือง

2.1.1.5 **ความงามและบรรยากาศ** (Aesthetics and Atmosphere) หมายถึง ความงามทางสถาปัตยกรรมและการจัดวางที่ว่าง ตลอดจนการมีบรรยากาศที่เหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละกิจกรรม ความงามและบรรยากาศนี้เป็นสิ่งที่แปรเปลี่ยนได้ตามกาลเวลา

2.1.1.6 **การมีคุณภาพอากาศภายในที่ดี** (Indoor Air Quality) หมายถึง การสร้างคุณภาพอากาศภายในอาคารที่สะอาดปราศจากมลพิษ หรือมีสภาพอากาศที่ดีกว่าอากาศภายนอกอาคารโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเวลาที่สภาวะอากาศภายนอกมีมลภาวะสูง

2.1.1.7 **การมีความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สิน** (Security and Safety) หมายถึง กระบวนการออกแบบที่สร้างสรรค์ให้เกิดความปลอดภัย ทั้งภายนอกและภายในอาคารปราศจากมุมที่อับสายตาและหลีกเลี่ยงจุดอ่อนที่เป็นสาเหตุให้เกิดการโจรกรรม โดยใช้ทั้งระบบควบคุมความปลอดภัยและการออกแบบที่ไม่มีจุดอ่อน หรือไม่สร้างสิ่งล่อใจให้เกิดการโจรกรรม

2.1.1.8 **เทคโนโลยีสารสนเทศ** (Information Technology) หมายถึง ความสามารถในการติดต่อสื่อสารและรับรู้ข้อมูลข่าวสารจากโลกภายนอกแบบครบวงจร โดยอาศัยระบบการสื่อสารทั้งแบบมีสายและไร้สาย

2.1.2 ปัจจัยที่มีผลการออกแบบสถาปัตยกรรมในยุคปัจจุบัน

ปรัชญาของการอยู่อาศัยในยุคปัจจุบันนี้ไม่ใช่เพียงแค่สามารถตอบสนองตอบความต้องการของคนเราทั้ง 8 ประการดังกล่าวมาข้างต้นให้ได้เท่านั้น แต่ยังมีปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงแนวความคิดของการออกแบบสถาปัตยกรรมในยุคปัจจุบันอีก 6 ข้อ ได้แก่

2.1.2.1 **เสถียรภาพทางด้านการเงินและเศรษฐกิจ** (Economic Force) มีความเหมาะสมกับการลงทุน โดยที่มีราคาไม่แพงกว่าที่อยู่อาศัยชั้นดีโดยทั่วไป แต่สามารถคงคุณภาพชีวิตสูงสุดได้ดังจินตนาการของผู้อยู่อาศัยอย่างสมบูรณ์

2.1.2.2 **เทคโนโลยีที่ทันสมัยและเหมาะสมกับเมืองร้อนชื้น** (Modern Technology) เหมาะสมกับภูมิอากาศแบบร้อนชื้นอย่างแท้จริง มีการคัดเลือกเทคโนโลยีที่ได้รับจากต่างประเทศอย่างถูกต้อง นำมาพัฒนา และประยุกต์ให้เหมาะสมกับประเทศไทย

2.1.2.3 **การประหยัดและผลิตพลังงาน** (Energy Conservation & Producing) สามารถผลิตพลังงานได้เพียงพอกับความต้องการพลังงานในที่อยู่อาศัย โดยมีปัจจัยที่สำคัญ คือ การลดการใช้พลังงานภายในที่อยู่อาศัยให้เหมาะสมกับปริมาณพลังงานที่ผลิตได้ การประหยัดพลังงานจึงเป็นกุญแจสำคัญในการแสวงหาแนวทางในการออกแบบนวัตกรรมที่

อยู่อาศัยยุคอนาคต หากที่อยู่อาศัยยังคงใช้พลังงานมากเพื่อการรักษาคุณภาพชีวิตแล้ว ย่อมไม่สามารถตอบสนองความต้องการในการออกแบบที่แท้จริงได้ เนื่องจากในขณะนี้ปริมาณพลังงานที่ผลิตได้ยังคงไม่สามารถพัฒนาให้เพียงพอกับความต้องการที่ฟุ่มเฟือยได้ด้วยข้อจำกัดทางเทคโนโลยีปัจจุบัน

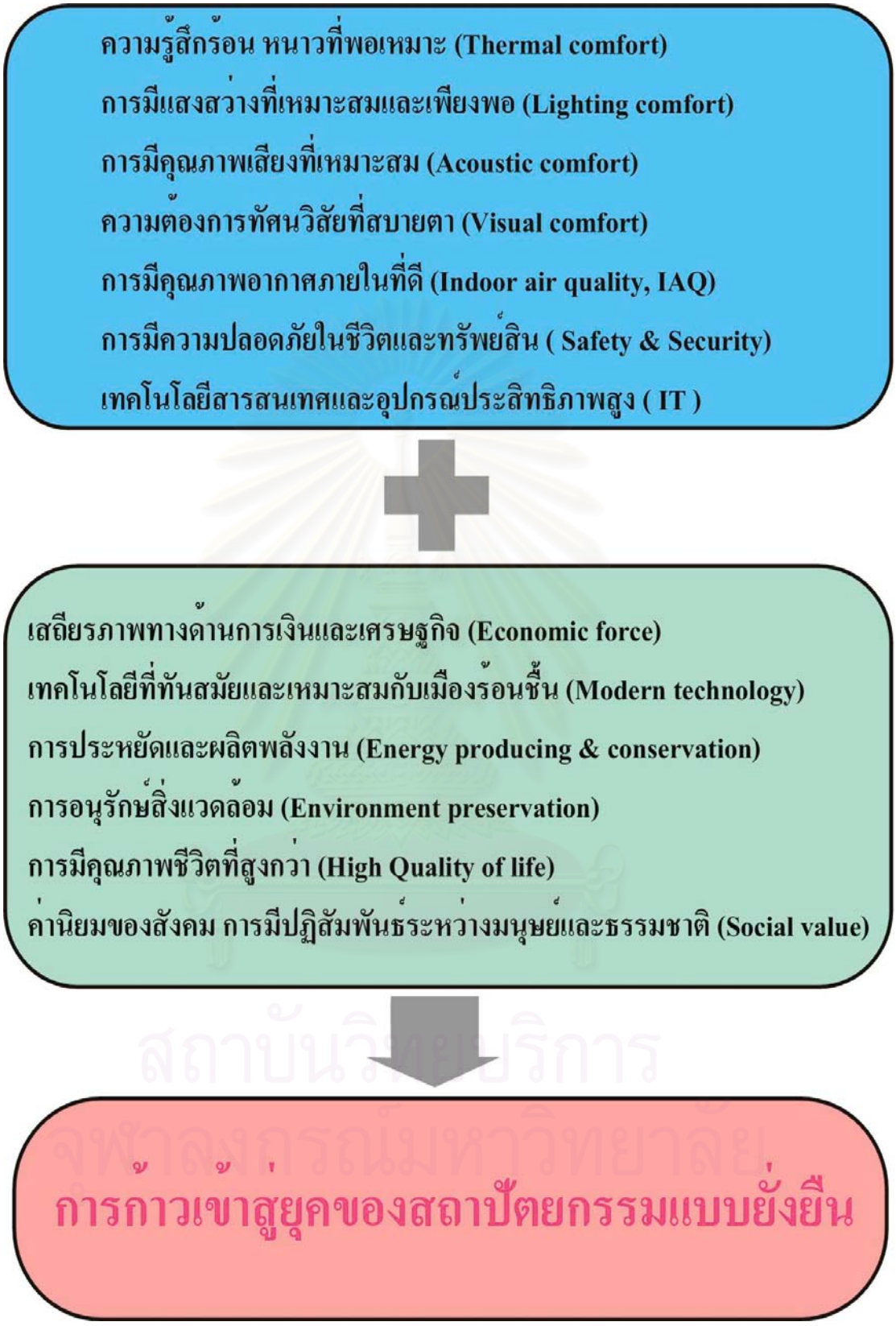
2.1.2.4 **การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม** (Environment Preservation) บ้านพักอาศัยที่สมบูรณ์ตามจินตนาการ นอกจากจะตอบสนองความต้องการในเรื่องของคุณภาพชีวิตที่สูงแล้ว ยังต้องเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพราะมนุษย์ผูกพันกับธรรมชาติมาแต่โบราณ แนวความคิดในการออกแบบจึงมุ่งเน้นไปในแนวทางที่ใช้ประโยชน์จากสภาพแวดล้อมสูงที่สุดก่อนที่จะนำระบบเครื่องกลมาใช้และยังคงให้มนุษย์มีปฏิสัมพันธ์กับธรรมชาติได้อย่างเต็มที่

2.1.2.5 **การมีคุณภาพชีวิตที่สูงกว่า** (High Quality of Life) เป้าหมายของการแสวงหาแนวทางการออกแบบนวัตกรรมที่อยู่อาศัยยุคอนาคตนั้น ต้องการให้ผู้อยู่อาศัยมีคุณภาพชีวิตสูงที่สุด ตามจินตนาการและเหมาะสมกับยุคสมัย โดยไม่จำเป็นต้องพึ่งพาพลังงานจากภายนอกเช่นแต่ก่อน ทั้งยังสามารถผลิตพลังงานส่วนที่เหลือเพื่อใช้ในการสำรองและแจกจ่าย

2.1.2.6 **ค่านิยมของสังคม** (Social Value) การมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และธรรมชาติ มีความเหมาะสมกับสังคม ไม่แปลกแยกแตกต่างจากสภาพสังคมนั้นๆ แต่ยังคงไว้ซึ่งเป้าหมายในการแสวงหาคำตอบอย่างสมบูรณ์

เมื่อรวมเอาความต้องการ 8 ประการและปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงแนวความคิดเพิ่มอีก 6 ข้อ เกิดเป็นองค์ประกอบที่นำไปสู่ปรัชญาและแนวความคิดใหม่ของสถาปัตยกรรมเพื่อการอยู่อาศัยในยุคปัจจุบัน และเป็นแนวความคิดหลักที่ใช้ในการออกแบบบ้านพักอาศัยยุคอนาคตที่ต้องอาศัยการประยุกต์ความรู้ทางด้านเทคโนโลยี และวิทยาการแบบครบวงจร

ปรัชญาของการอยู่อาศัยยุคใหม่ดังกล่าวนี้ ไม่ได้หมายความว่าเราต้องการจะปฏิเสธธรรมชาติ แต่ในทางกลับกัน ปรัชญาหรือแนวความคิดในการศึกษาค้นคว้านี้มีจุดหมายหลักที่จะคงไว้ซึ่งปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับธรรมชาติให้ได้มากที่สุด โดยเฉพาะเมื่อสภาพภูมิอากาศเอื้ออำนวย การออกแบบควรเน้นการนำเอาธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ขณะเดียวกันก็แสวงหากระบวนการ และเทคโนโลยีที่ใช้พลังงานน้อยที่สุดมาปรุงแต่งคุณภาพชีวิตให้ได้ตามจินตนาการของมนุษย์โดยไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม เป็นบ้านพักอาศัยยุคอนาคตที่เอื้ออำนวยต่อการดำรงชีวิต เป็นอาคารที่มีประสิทธิภาพสูง ประหยัด ไม่เป็นอันตราย เหมาะสมกับสภาวะภูมิอากาศ ใช้พลังงานน้อย ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม วัสดุก่อสร้างสามารถผลิตได้ภายในประเทศ ส่งเสริมภูมิปัญญาไทย มีคุณภาพชีวิตสูงสุดและเป็นต้นแบบบ้านพักอาศัยยุคอนาคตอย่างแท้จริง

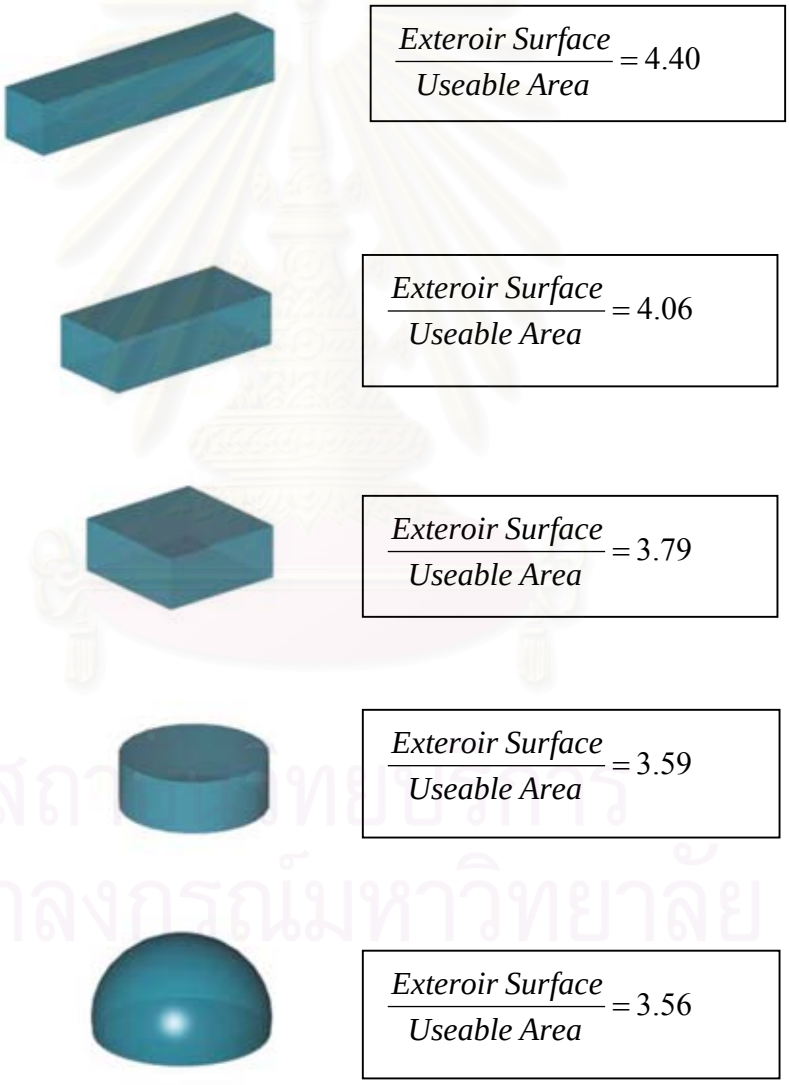


รูปที่ 2-1 แสดงองค์ประกอบของปรัชญาในการอยู่อาศัยในยุคปัจจุบันในทรรศนะของ ศ.ดร.สุนทร บุญญาธิการ

2.2 การเลือกรูปทรงที่เหมาะสม

2.2.1 การใช้รูปทรงที่มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยต่ำ

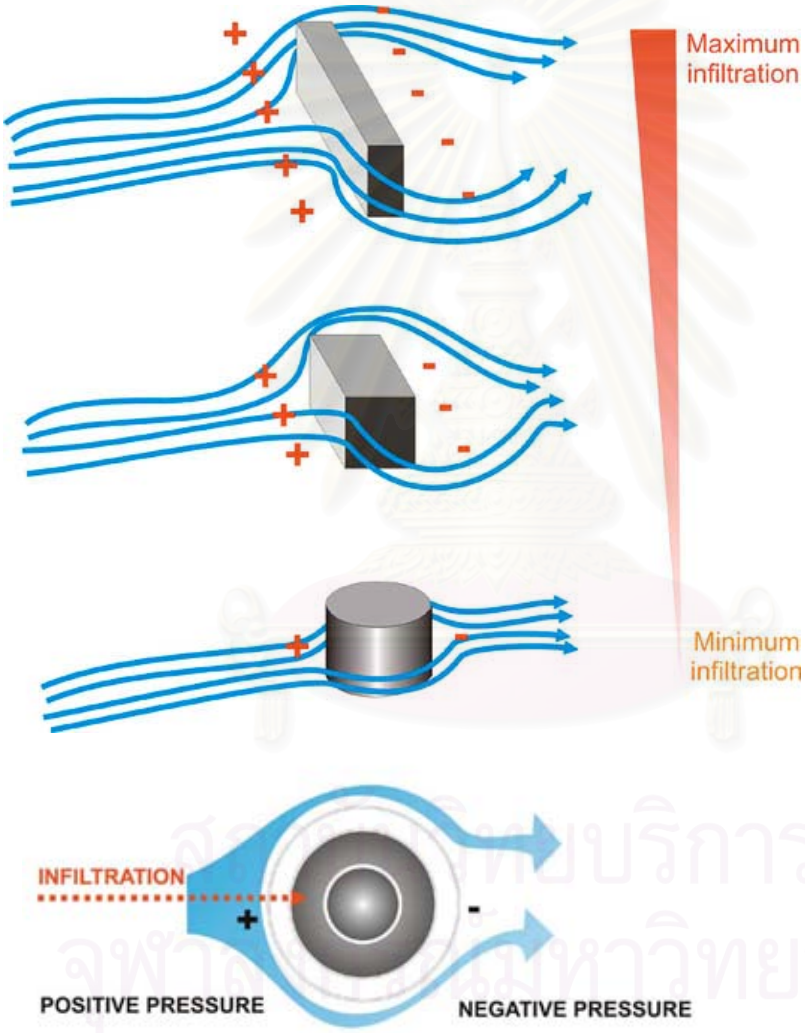
ในการออกแบบมีการคำนึงถึง สัดส่วนระหว่างพื้นที่ผิวภายนอกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร โดยออกแบบให้มีน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ (Minimize surface area) เพื่อลดปริมาณความร้อน (Heat gain) เข้าสู่ภายในอาคารที่เกิดจากผนังและหลังคา และออกแบบให้อาคารมีพื้นที่ชั้นล่างสัมผัสดินให้มากที่สุด (Maximize surface contact to ground) โดยการทำเนินดินให้สูงขึ้น เพื่อประโยชน์ในการนำความเย็นจากดินมาใช้



รูปที่ 2-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการออกแบบเพื่อให้อาคารมีค่าอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร โดยมีความมุ่งหมายเพื่อให้สัดส่วนนี้มีค่าน้อยที่สุด (สุนทร บุญญาธิการ, 2545)

2.2.2 การใช้รูปทรงที่มีการรั่วซึมของอากาศต่ำ

อาคารรูปทรงต่างๆ จะมีการรั่วซึมของอากาศเข้าสู่ภายในอาคารแตกต่างกันเมื่อได้รับอิทธิพลจากความเร็วลม รูปทรงที่ก่อให้เกิดความแตกต่างของแรงดันอากาศมากจะทำให้เกิดการรั่วซึมของอากาศสูง ในขณะเดียวกันรูปทรงที่ก่อให้เกิดความแตกต่างของแรงดันอากาศน้อยจะส่งผลให้เกิดการรั่วซึ่มของอากาศต่ำ อากาศที่รั่วซึ่มเข้าสู่ภายในอาคารจะเป็นตัวกลางนำความร้อนและความชื้นเข้าสู่ภายในอาคาร ในกรณีที่เป็นอาคารปรับอากาศจะทำให้ภาระในการทำความเย็นเพิ่มขึ้น และส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารโดยตรง



รูปที่ 2-3 แสดงรูปทรงอาคารประเภทต่างๆ รูปทรงที่ก่อให้เกิดความแตกต่างของแรงดันอากาศมากจะส่งผลให้เกิดการรั่วซึมของอากาศมาก รูปทรงที่เกิดจากส่วนโค้งของทรงกลมจะทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันอากาศน้อยที่สุด (สุนทร บุญญาธิการ, 2545)

รูปทรงของบ้านพักอาศัยควรได้รับการออกแบบเพื่อให้กระแสลมสามารถไหลผ่านได้ทั่วถึง โดยเฉพาะเมื่อตั้งขวางทิศทางของลมที่พัด ทำให้กระแสลมปะทะตัวอาคารและพัดผ่านผิวอาคารได้ทั่วทั้งด้านหน้า ด้านข้างรวมทั้งด้านบนของอาคารด้วย ด้านที่มีลมมาปะทะจะมีความกดอากาศสูง (Positive pressure) ส่วนด้านที่ไม่มีการปะทะของลมโดยตรงจะเป็นบริเวณที่มีความกดอากาศต่ำ (Negative pressure) เนื่องจากธรรมชาติของลมจะเคลื่อนที่จากความกดอากาศสูงไปยังความกดอากาศต่ำ ดังนั้นการเจาะช่องหน้าต่างของอาคารหลังนี้ จึงควรเจาะช่องบริเวณด้านหน้าใช้เป็นที่สำหรับรับลมเข้าสู่ตัวอาคาร และเจาะช่องเปิดด้านหลังอาคารสำหรับทางลมออก การออกแบบรูปทรงของอาคารควรกำหนดให้ด้านหลังเป็นด้านที่มีความกดอากาศต่ำกว่า ดังนั้นไม่ว่าลมจะกระทำในทิศทางใด กระแสลมจะถูกบังคับให้ไหลผ่านตัวอาคารจากอิทธิพลของความกดอากาศที่แตกต่างกัน

การเจาะช่องหน้าต่างด้านความกดอากาศสูง(Positive pressure) จะทำให้ลมที่พัดผ่านสามารถพัดผ่านเข้าสู่ตัวอาคาร และระบายออกสู่ด้านความกดอากาศต่ำ (Negative pressure)โดยผ่านส่วนกลางของอาคารได้ในทุกๆ ชั้น การจัดวางห้องน้ำของอาคารจะอยู่ในจุดที่มีความกดอากาศต่ำทั้งหมด ทำให้ลมไม่สามารถพัดพาเอากลิ่นของห้องน้ำเข้าสู่ตัวอาคารได้ รวมถึงห้องครัวด้วยเช่นเดียวกัน เทคนิคในการนำลมเข้าสู่อาคารโดยใช้การเจาะช่องเปิดด้านความกดอากาศสูง และช่องเปิดในด้านความกดอากาศต่ำที่มีความกดอากาศต่างกัน ทำให้ลมพัดผ่านจากด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่งได้โดยตลอด และเนื่องจากตัวอาคารควรมีลักษณะเป็นพื้นที่ต่อเนื่อง จึงทำให้สามารถดึงลมเข้าจากชั้นล่าง และพัดผ่านออกสู่หน้าต่างในชั้นเดียวกันได้

2.2.3 การทำให้เกิดกระแสลมโดยอาศัยผลของความแตกต่างของอุณหภูมิ

นอกจากวิธีการนำลมเข้าสู่อาคาร โดยการเปิดช่องหน้าต่างทางด้านความกดอากาศสูงและเปิดช่องทางให้ลมออกทางด้านความกดอากาศต่ำแล้ว ยังมีเทคนิคในการทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสลม โดยอาศัยผลของความแตกต่างของอุณหภูมิ (Stack effect) แนวความคิดที่นำมาประยุกต์ใช้ในอาคารคือ การทำให้หลังคาซึ่งเป็นส่วนที่สูงที่สุดของอาคารเกิดความร้อนมากๆ อากาศบริเวณใต้หลังคาเมื่อร้อนก็จะขยายตัวและลอยตัวสูงขึ้น เมื่อลอยตัวถึงส่วนที่สูงสุดก็จะถูกดูดออกไปโดยพัดลมดูดอากาศที่ติดตั้งไว้ ทำให้อากาศที่เย็นและมีมวลมากกว่าเข้ามาแทนที่ เกิดเป็นการเคลื่อนที่ของอากาศที่ต่อเนื่องขึ้นจากชั้นล่างถึงหลังคาในลักษณะการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง

วิธีทำให้ผิวหลังคาของอาคารหลังนี้ร้อน ทำได้โดยการออกแบบหลังคาเป็นทรงปั้นหยาที่มีพื้นที่หลังคาขนาดใหญ่ สามารถรับแดดที่เป็นรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ได้อย่างเต็มที่ มีน้ำหนักเบาและภายในโครงสร้างหลังคาไม่มีฉนวนกันความร้อนทำให้หลังคาดูดซับความร้อนไว้

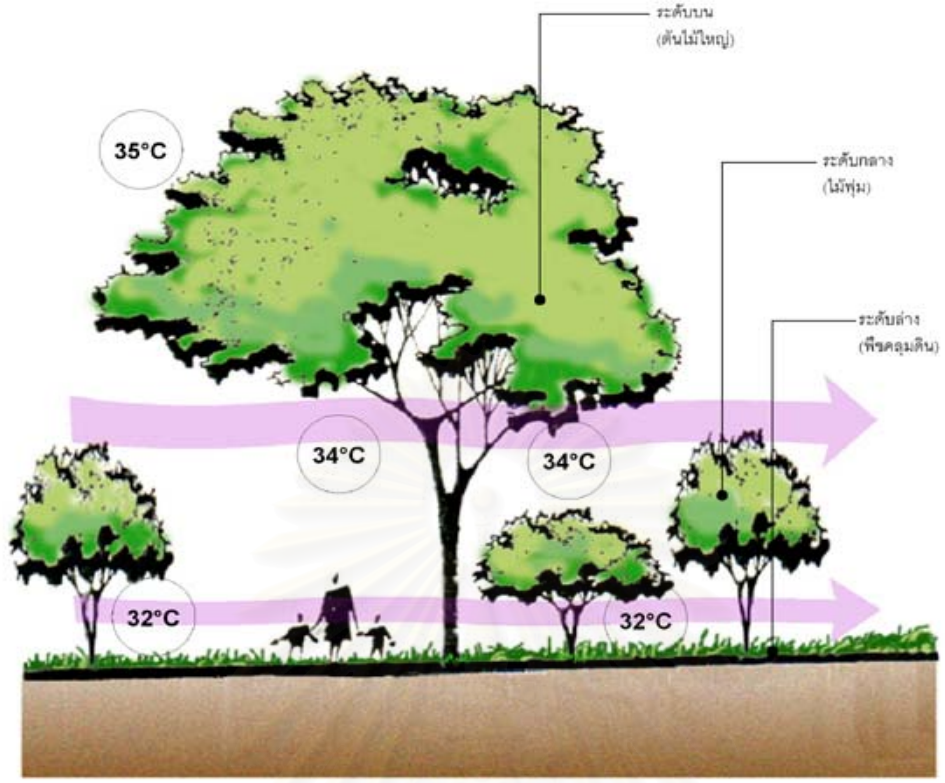
อย่างเต็มที่ตลอดทั้งวัน แต่จำเป็นต้องมีการป้องกันความร้อนจากหลังคาแผ่เข้าสู่ตัวอาคารมากเกินไป โดยการใช้วัสดุที่มีลักษณะคล้ายโฟมเป็นฝ้าเพดานยึดติดเป็นด้านเดียวกับระนาบของหลังคา ซึ่งจะเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีในการป้องกันการแผ่รังสีความร้อนจากหลังคาสู่ภายในอาคาร ส่งผลให้ภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศไม่เพิ่มขึ้นจากความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคาร และการที่มีพัดลมดูดเอาอากาศร้อนออกไปนั้น ยังเป็นการช่วยดูดฝุ่นละอองที่ปนเปื้อนในอากาศออกไปด้วย ซึ่งเป็นผลดีต่อการลดมลภาวะที่จะสะสมภายในอาคาร

2.3 การปรุงแต่งสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการประหยัดพลังงาน

2.3.1 การใช้ประโยชน์จากต้นไม้ใหญ่และพืชคลุมดิน

2.3.1.1 การเลือกใช้ประโยชน์จากต้นไม้ใหญ่ ในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นแบบประเทศไทยนั้น การมีต้นไม้ขนาดใหญ่เป็นจำนวนมากเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะช่วยลดความรุนแรงของอุณหภูมิอากาศในเวลากลางวันได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะต้นไม้อาศัยพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์และสภาพแวดล้อมในการดำรงชีวิต โดยการดูดเอาน้ำจากใต้ดินขึ้นมาแปรสภาพให้เป็นไอน้ำผ่านออกทางปากใบ กระบวนการดังกล่าวเรียกว่ากระบวนการสังเคราะห์แสงต้องใช้พลังงานความร้อนประมาณ 2.3 เมกะจูล (2,200 บีทียู) เพื่อทำให้น้ำ 1 ลิตรเปลี่ยนเป็นไอ ดังนั้นอาจประมาณการได้ว่าในช่วงเวลากลางวัน (12 ชั่วโมง) ถ้าหากต้นไม้ขนาดใหญ่ต้นหนึ่งสามารถดูดน้ำจากดินขึ้นมาแล้วแปลงสภาพน้ำให้เป็นไอในอัตราประมาณ 65 ลิตรต่อวัน ต้นไม้ต้นนั้นจะมีความสามารถในการลดความร้อนให้กับสภาพแวดล้อมเทียบเท่ากับเครื่องปรับอากาศ 1 ตันหรือประมาณ 12.66 เมกะจูลต่อชั่วโมง (12,000 บีทียูต่อชั่วโมง)

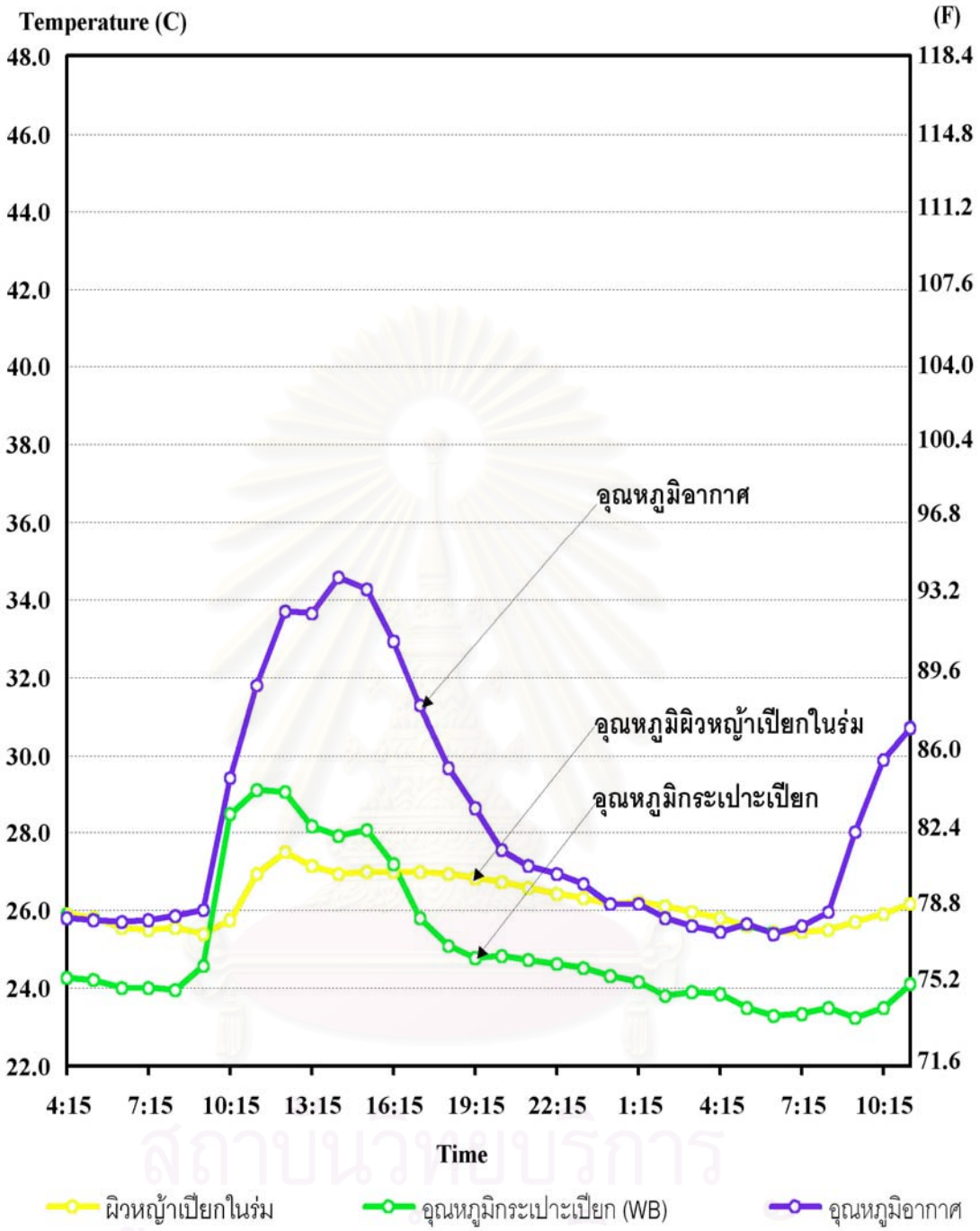
จากการที่ต้นไม้ใหญ่แต่ละต้น สามารถช่วยลดความร้อนให้กับสภาพแวดล้อมได้มาก ดังนั้นถ้าต้องการใช้ประโยชน์จากการมีต้นไม้ใหญ่อย่างเต็มที่ ควรสร้างสภาพแวดล้อมเบื้องบนอาคารให้ปกคลุมด้วยต้นไม้ใหญ่ เพราะนอกจากจะช่วยบังเงาให้แก่อาคารแล้วยังทำให้เกิดการระเหยของน้ำยกตัวอย่าง เช่น การสร้าง Roof Garden แบบสวนป่าเขตร้อน ซึ่งจะช่วยแปรสภาพรังสีจากดวงอาทิตย์ให้กลายเป็นไอน้ำก่อนที่จะผ่านลงมายังอาคาร การเลือกใช้ต้นไม้ประเภทต่างๆ อย่างเข้าใจ เช่น ใช้ต้นไม้สูงเพื่อกรองแดดหรือสกัดกั้นแสงแดดจากด้านบน โดยมีพุ่มใบของต้นไม้เป็นตัวแปรสภาพแวดล้อมให้เย็น จากการใช้รากดูดน้ำและคายน้ำที่ใบ ผลที่ได้ก็คือความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่เหนือและใต้พุ่มใบ โดยที่บริเวณด้านใต้พุ่มใบจะมีอุณหภูมิที่เย็นกว่าอุณหภูมิด้านบนเหนือพุ่มใบมาก



รูปที่ 2-4 แสดงตัวอย่างการใช้ต้นไม้ เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่เย็นคือ การยอมให้ลมพัดผ่านพุ่มใบทั้งระดับบนและระดับล่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนที่อยู่ติดผิวดิน เพื่อทำให้เกิดการระเหยของน้ำเป็นผลให้พื้นดินเย็นลงมากกว่าปกติ ส่วนต้นไม้ใหญ่จะเป็นการลดความร้อนที่เกิดจากรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง (Direct Solar Radiation) ใบระดับบนทำหน้าที่สกัดกั้นแสงแดด โดยพุ่มใบมีลักษณะโปร่งโล่งเพื่อมิให้เกิดการกักเก็บความชื้น (สุนทร บุญญาธิการ, 2542)

การใช้ต้นไม้ขนาดใหญ่และขนาดกลางปลูกในบริเวณรอบๆ อาคาร นอกจากจะช่วยให้สภาพแวดล้อมใต้ต้นไม้นั้นๆ เย็นกว่าอากาศภายนอกทั่วไปเนื่องจากกระบวนการการสังเคราะห์แสงแล้ว ใบของต้นไม้ยังช่วยกรองแสงแดดที่จะส่องลงมายังผิวดินโดยตรง เป็นการป้องกันการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากแสงแดดโดยตรง และช่วยในการบังแสงแดดที่จะส่องเข้าสู่ช่องเปิดของตัวอาคารในบางมุม หรือบางเวลา

2.3.1.2 **การใช้ประโยชน์จากพืชคลุมดิน** การปรุงแต่งสภาพแวดล้อมในระดับที่ต่ำลงมาจากพุ่มใบของต้นไม้ใหญ่ก็คือ การใช้พืชคลุมดิน โดยเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการดูดซับเอาน้ำจากใต้ดินมาระเหย ทำให้ระดับผิวดินมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศมาก ในบางกรณีอุณหภูมิที่ผิวดินภายใต้พุ่มใบของพุ่มไม้ อาจมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก(Wet bulb temperature) ซึ่งจะทำให้ดินบริเวณนั้นเย็น และความเย็นดังกล่าวก็จะถูกดูดซึมเข้าสู่ผิวดินจนทำให้ดินในบริเวณนั้นสามารถส่งผ่านความเย็นต่อเนื่องกันไปถึงพื้นที่ใต้อาคารได้



แผนภูมิที่ 2-1 แสดงอุณหภูมิผิวหญ้าเปียกในร่ม (ใต้ต้นไม้) และอุณหภูมิกระเปาะเปียก เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศ เริ่มบันทึกข้อมูลตั้งแต่วันที่ 2 มีนาคม 2540 เวลา 04.15 น. ถึงวันที่ 3 มีนาคม เวลา 10.30 น. จากการทดลองเพื่อศึกษาอุณหภูมิของดินใต้ต้นไม้ พบว่ามีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศเกือบตลอดวัน โดยมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 27 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดประมาณ 24 องศาเซลเซียส แสดงว่าการปรับสภาพโดยใช้ต้นไม้และพืชคลุมดิน สามารถช่วยลดอุณหภูมิโดยรอบบริเวณอาคารได้ (สุนทร บุญญาธิการ, 2542)

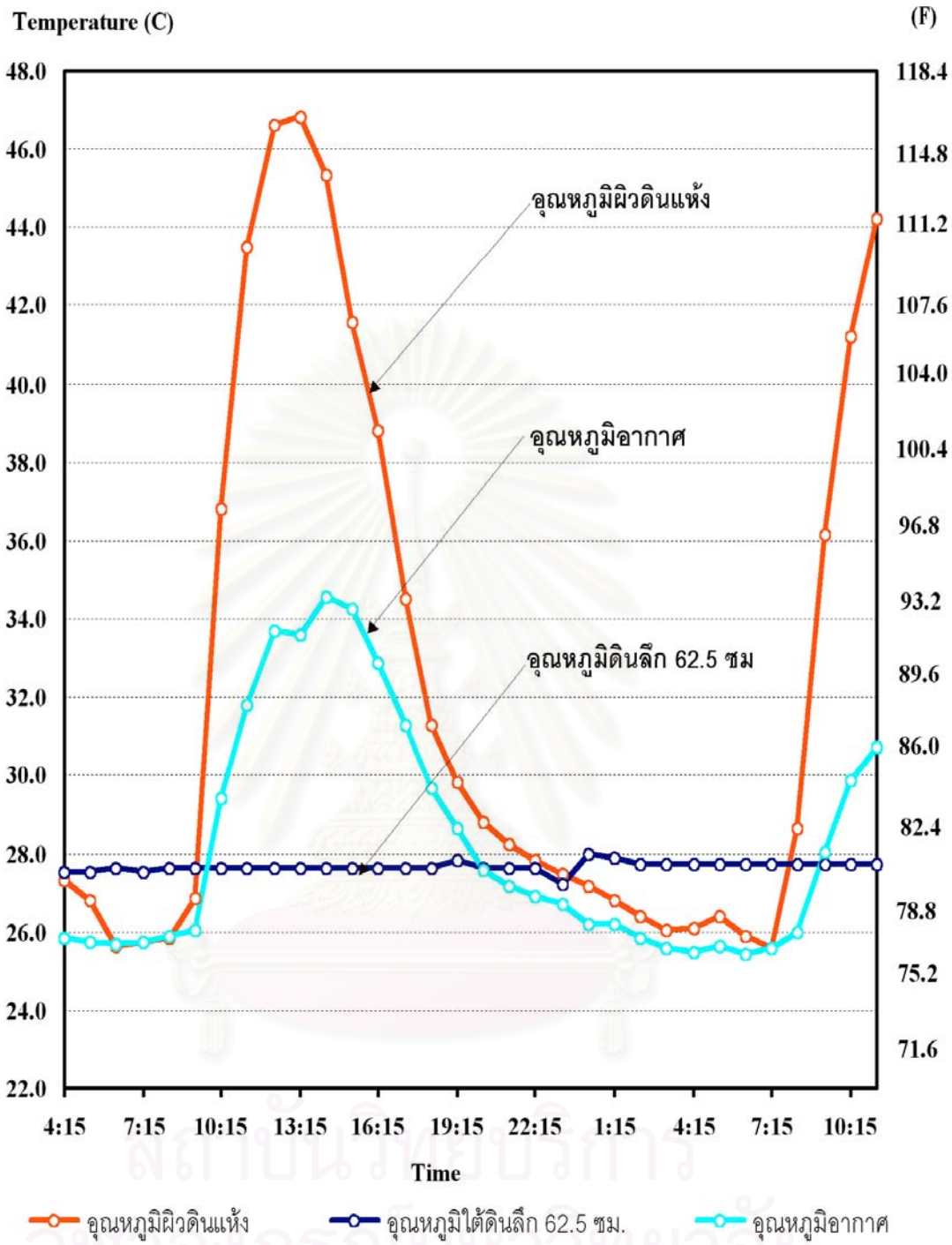
นอกจากนี้แล้วยังพบว่าในบริเวณสนามหญ้าก็มีอุณหภูมิเย็นกว่าอุณหภูมิอากาศถึงแม้ว่าจะไม่เย็นมากเท่าอุณหภูมิภายใต้พืชคลุมดินก็ตาม แต่เป็นการแสดงให้เห็นว่าการที่จะทำให้สภาพแวดล้อมเย็นได้นั้นจะต้องทำให้อุณหภูมิที่ผิวดินเย็นลงเสียก่อน เพราะนอกจากจะทำให้ลมที่พัดผ่านมาเย็นลงแล้วยังทำให้บริเวณผิวของสภาพแวดล้อมเย็นลง เป็นผลให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกเย็นสบาย เนื่องจากมีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างผิวกายกับสภาพแวดล้อมที่เย็นกว่าอีกด้วย เทคนิคนี้เป็นเอกลักษณ์ของสถาปัตยกรรมไทยในการสร้างสภาวะแวดล้อบริเวณใต้ถุนอาคารให้เย็นสบาย

การปลูกหญ้าหรือพืชคลุมดิน เป็นเสมือนฉนวนป้องกันความร้อนให้กับดิน ในขณะเดียวกันก็เป็นการเหนี่ยวนำความเย็นลงสู่ดินซึ่งจะมีผลทางด้านการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนสู่ผิวดินที่เย็นกว่า เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ นอกเหนือจากนั้นยังเป็นการเสริมสร้างบรรยากาศที่ร่มรื่นต่อสายตาและป้องกันการสะท้อนของแสงที่อาจทำให้เกิดความจ้า (Glare) ต่อสายตารวมทั้งป้องกันฝุ่นที่เกิดจากดินที่แห้งได้อีกด้วย

2.3.2 **การใช้ประโยชน์จากดิน**

จากการศึกษาเรื่องดินและการใช้ประโยชน์จากดินพบว่า ประเทศไทยมีอุณหภูมิเฉลี่ยของดินที่ระดับความลึก 0.60 เมตรจากผิวดิน ประมาณ 26-27 องศาเซลเซียส การที่เราจะใช้ประโยชน์จากดินอย่างมีประสิทธิภาพ จึงต้องมีการปรับปรุงสภาพของดินทั้งในส่วนผิวดินและใต้ดินให้เย็นที่สุด การปรับสภาพดินดังกล่าวขึ้นอยู่กับปริมาณและขนาดของต้นไม้ที่ใช้ ผสมผสานกับการทำให้ดินเปียกและมีกระแสลมพัดผ่านเพื่อทำให้เกิดการระเหยของน้ำ รวมถึงความสามารถในการกระจายความร้อนของผิวดินให้กับท้องฟ้าและใช้ต้นไม้- พืชคลุมดินที่มีลมพัดผ่านใต้พุ่มใบเพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่เย็น ถ้าสามารถทำการปรับสภาพของดินได้อย่างเหมาะสมโดยใช้วิธีการต่างๆ ข้างต้นแล้ว จะเป็นผลทำให้อุณหภูมิของดินเย็นลงมาก จนอาจทำให้อุณหภูมิผิวดินดังกล่าวมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



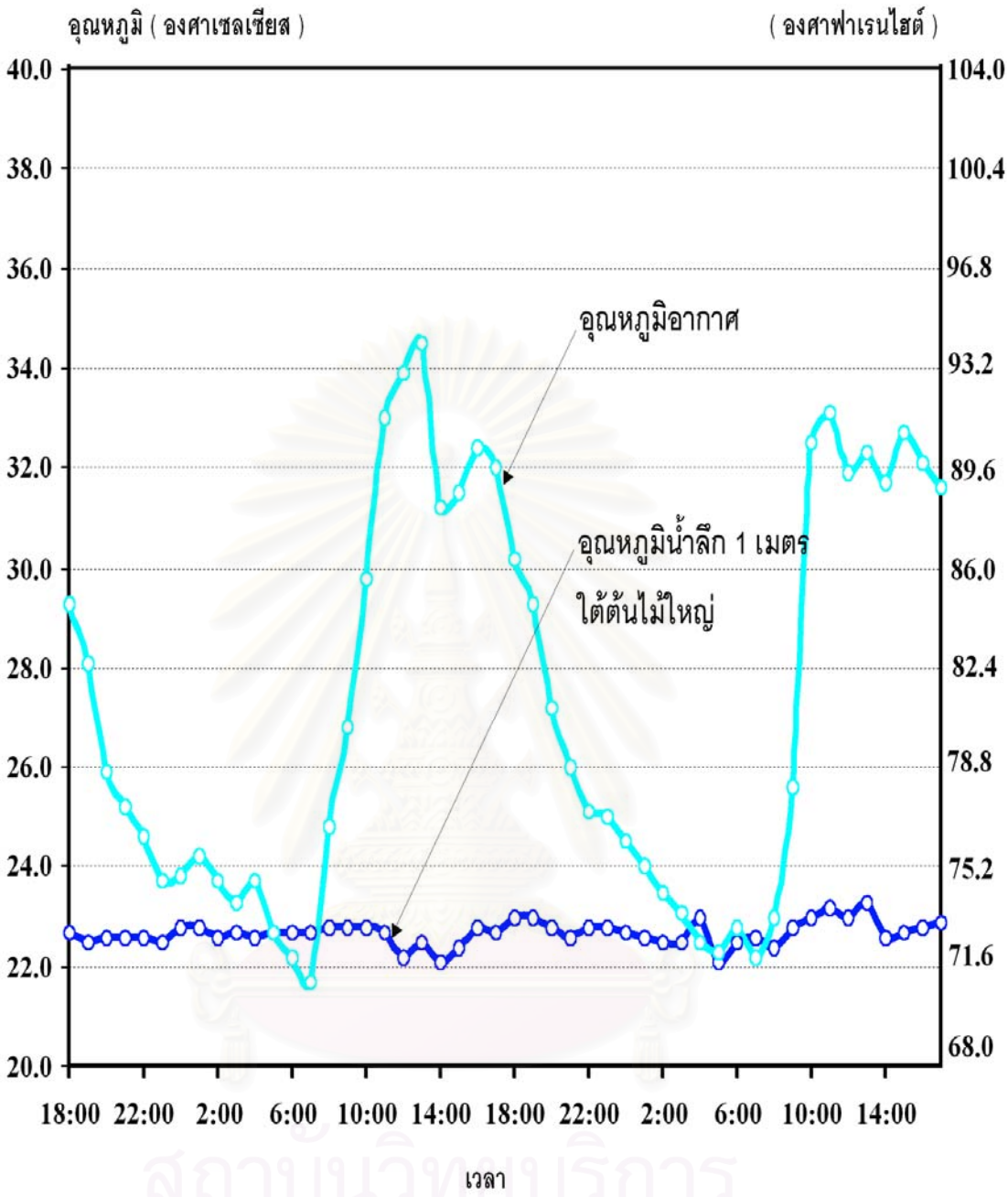
แผนภูมิที่ 2-2 แสดงอุณหภูมิดินและผิวดินแห้ง เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิกระเปาะเปียก เริ่มบันทึกข้อมูลตั้งแต่วันที่ 2 มีนาคม 2540 เวลา 04.15 น. ถึงวันที่ 3 มีนาคม 2540 เวลา 10.30 น. จากการทดลองวัดอุณหภูมิของดินที่ระดับต่างๆ พบว่าอุณหภูมิดินที่ความลึก 0.62 เมตร มีอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิผิวดินจะมีอุณหภูมิสูงมากในช่วงกลางวัน เนื่องจากไม่มีพืชคลุมดินช่วยลดความร้อนจากรังสีของดวงอาทิตย์ (สุนทร บุญญาธิการ, 2542)

2.3.3 การใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำ

แหล่งน้ำขนาดใหญ่ที่มีความลึกตั้งแต่ 1.50 เมตรขึ้นไป สามารถใช้เป็นแหล่งสร้างความเย็นให้กับสภาพแวดล้อมได้ โดยการให้กระแสลมที่พัดผ่านบริเวณผิวหน้าของน้ำที่เย็น และแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศนั้นนำเข้ามาภายในอาคาร แต่มีข้อควรระวังในเรื่องของความชื้นที่มากับลมด้วย จะพบว่าเมื่อลมพัดผ่านผิวน้ำในระยะทางที่ยาวเพียงพอ อุณหภูมิอากาศจะค่อยๆ เย็นลงไปพร้อม ๆ กับความชื้นที่เพิ่มขึ้น ผลที่ได้ก็คืออากาศที่มีอุณหภูมิเย็นลงกว่าเดิมแต่มีความชื้นเพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่นอากาศที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพัดผ่านพื้นน้ำที่มีอุณหภูมิประมาณ 28 องศาเซลเซียสในบริเวณกว้าง จะทำให้อุณหภูมิของอากาศที่พัดผ่านแหล่งน้ำนั้นมีอุณหภูมิลดต่ำลงได้ถึง 3 องศาเซลเซียส หรือมีอุณหภูมิประมาณ 32 องศาเซลเซียส ในขณะที่มีความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 50 เปอร์เซ็นต์เป็น 58 เปอร์เซ็นต์

ในเชิงปฏิบัติแล้ว ถ้านำเอาอากาศภายนอก(Fresh Air) ดังกล่าวมาใช้ในอาคารจะไม่เป็นการช่วยลดการใช้พลังงาน เนื่องจากอากาศนั้นมีความชื้นมากขึ้นกว่าเดิม แต่ในสภาพทั่วไป ที่มีลมพัดหรือมีอากาศถ่ายเทสะดวก ความชื้นก็จะไม่สะสมมากนัก เมื่อมีลมพัดผ่านโดยรอบอาคาร และสภาพแวดล้อมจะเป็นการสร้างความร่มเย็นให้กับสภาพแวดล้อมและช่วยลดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งจะเป็นการลดภาระในการทำความเย็นให้กับอาคาร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 2-3 แสดงอุณหภูมิน้ำลึก 1 เมตรเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศ บันทึกข้อมูลเมื่อเดือนมกราคม 2539 จากการทดลองเพื่อศึกษาอุณหภูมิของน้ำลึก 1 เมตรใต้ต้นไม้ใหญ่ พบว่ามีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศเกือบตลอดวัน โดยน้ำมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 23 องศาเซลเซียส แสดงว่าน้ำลึก 1 เมตรมีค่าความจุความร้อนมาก จึงมีอุณหภูมิค่อนข้างคงที่และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศเกือบตลอดเวลา (สุนทร บุญญาธิการ, 2542)

2.4 การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร

2.4.1 การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร คือ ค่าเฉลี่ยที่ถ่วงแล้ว ของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผนังด้านนอกแต่ละด้านหรือส่วนของหลังคาด้านนอกแต่ละด้านที่ตรงกับบริเวณของอาคารที่มีการปรับอากาศ สำหรับอาคารที่มีการปรับอากาศ การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคารจะต้องไม่เกินกว่า 45 Watt/m^2 (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2536)

2.4.1.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน

($OTTV_i$) ที่หันสู่ทิศทางต่างกัน คำนวณได้จากสมการ

$$OTTV_i = (U_w)(1- WWR)(TD_{eq})+(SC)(WWR)(SF)+(U_f)(WWR)(\Delta T)$$

โดยที่

$OTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา (Watt/m^2)

U_w คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (Watt/m^2.^{o}C)

WWR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างและหรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านนั้น

TD_{eq} คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ

U_f คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก (หรือผนังโปร่งแสง) (Watt/m^2.C)

ΔT คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร สำหรับประเทศไทย ค่านี้คือ 5 ^{o}C

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของหน้าต่าง

SF คือ ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์ (Watt/m^2)

2.4.1.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร

(OTTV) คือ ค่าเฉลี่ยที่ถ่วงแล้ว ของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน ($OTTV_i$) คำนวณได้จากสมการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$OTTV = \frac{(A_{01})(OTTV_1) + (A_{02})(OTTV_2) + ... + (A_{0i})(OTTV_i)}{A_{01} + A_{02} + ... + A_{0i}}$$

โดยที่

A_{0i} คือ พื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา (m^2) ซึ่งรวมพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่หน้าต่าง

$OTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา ($Watt/m^2$)

เพื่อป้องกันการสะท้อนรังสีอาทิตย์สู่อาคารอื่นเกินขอบเขต ห้ามใช้กระจกที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์เกินกว่า 0.2

2.4.1.3 **ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า** ค่านี้คือ ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างผนังภายนอกและภายใน ที่ก่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง ผลต่างของอุณหภูมินี้รวมผลจากการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ที่ผิวของผนัง และอิทธิพลของอุณหภูมิภายนอกอาคาร มวลของวัสดุผนัง คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อน และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์มีผลต่อลักษณะ และค่าฟลักซ์ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังนั้น ค่าฟลักซ์ความร้อนดังกล่าวสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$q = (U_W)(TD_{eq}) \qquad (Watt/m^2)$$

ตารางที่ 2-1 แสดงค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) สำหรับผนังที่มีความหนาแน่นเชิงมวล และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ต่างๆ กัน (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2536: 15)

มวลของผนัง Kg / m^2	**ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (α)**				
	0.1 <0 - 0.2>	0.3 <0.2 - 0.4>	0.5 <0.4 - 0.6>	0.7 <0.6 -0.8>	0.9 <0.8 -1.0>
0 - 125	14	15	16	17	18
126 - 195	11	12	13	14	15
เกินกว่า 195	9	10	11	12	13

ตารางที่ 2-2 แสดงรายการวัสดุและสีทาผนังหรือหลังคาแยกตามระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2536: 16)

ประเภทผิววัสดุที่ใช้ทำผนังด้านนอก	วัสดุผนังหรือหลังคา	สีที่ใช้ทาภายนอก
1. **วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสง** [α < 0.2]	- ผิววัสดุที่ฉาบด้วยดีบุก - แผ่นอลูมิเนียม - แผ่นฟิล์มไมลาร์เคลือบอลูมิเนียม - แผ่นสะท้อนแสงทำด้วยอลูมิเนียม	- สีสะท้อนแสง
2. **วัสดุที่มีผิวอ่อน** [0.2 < α < 0.4]	- อิฐเคลือบเป็นมันขาว - เหล็กชุบสังกะสีทาสีขาว	- แลคเกอร์สีขาว - สีเงิน - สีขาวเป็นเงา
3. **วัสดุที่มีผิวสีปานกลาง** [0.4 < α < 0.6]	- วัสดุที่ทาสีอลูมิเนียม - หลังคาประกอบขึ้นรูปสีขาว - อิฐสีเหลืองอ่อน - หินอ่อนสีขาว - กรวดล้างสีขาว	- สีเขียวอ่อน - สีน้ำเงินปานกลาง - สีเหลืองปานกลาง - สีส้มปานกลาง - สีเขียวปานกลาง
4. **วัสดุที่มีผิวค่อนข้างเข้ม** [0.6 < α < 0.8]	- คอนกรีตไม่ทาสี - ไม้ผิวเรียบ - แผ่นซีเมนต์แอสเบสตอส - หินล้างสีเทา	- สีแดง - สีน้ำเงินปานกลาง - สีเทาอ่อน - สีสนิมแก่ปานกลาง
5. **วัสดุที่มีผิวสีเข้ม** [0.8 < α < 1.0]	- วัสดุที่ลาดผิวด้วยยางมะตอย - คอนกรีตสีน้ำตาล - วัสดุมุงหลังคาสีเขียว - หินชนวนสีเทาแกมน้ำเงิน - อิฐสีแดง - อิฐแสตฟฟอร์ดสีน้ำเงิน - คอนกรีตสีดำ	- สีน้ำเงินแก่หรือสีเขียวแก่ - สีเทาแกมน้ำเงินเข้ม - สีน้ำตาลแก่ - สีโอลีฟเข้ม - สีดำ - แลคเกอร์สีน้ำเงินแก่ - สีเทาแก่ - แลคเกอร์สีดำ - สีดำธรรมดา - สีดำเรียบมาก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4.1.4 **ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์** (SF) คือค่าของผลจากฟลักซ์รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบผ่านหน้าต่าง ค่าเฉลี่ยของค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์สำหรับผนังแนวตั้งในทิศทางต่างๆ คือ

$$SF = 160 \quad (Watt/m^2)$$

ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์สำหรับผนังเอียงในทิศต่างๆ มีค่าแตกต่างกัน คำนวณได้จากสมการ

$$SF = (160)(CF) \quad (Watt/m^2)$$

โดยที่ CF = ค่าตัวประกอบแก้ (Correction Factor) สำหรับผนังเอียงหนึ่งๆ ในทิศทางตาราง ซึ่งหาได้จากตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-3 แสดงค่าตัวประกอบแก้ (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2536: 17)

ทิศ มุมเอียง	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออกเฉียงใต้	ใต้	ตะวันตกเฉียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตกเฉียงเหนือ
70°	1.06	1.24	1.52	1.63	1.63	1.60	1.48	1.22
75°	0.96	1.14	1.42	1.52	1.50	1.48	1.38	1.12
80°	0.87	1.05	1.32	1.40	1.37	1.37	1.28	1.02
85°	0.78	0.96	1.22	1.29	1.24	1.25	1.17	0.93
90°	0.70	0.87	1.12	1.17	1.11	1.13	1.03	0.84

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4.2 การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคาร

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคาร จะต้องไม่เกินกว่า 25 Watt/m^2 (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2536)

2.4.2.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาแต่ละส่วน ($RTTV_i$) คำนวณได้จากสมการ

$$RTTV_i = (U_r)(1- SRR)(TD_{eq})+(SC)(SRR)(SF)+(U_s)(SRR)(\Delta T)$$

โดยที่

$RTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารที่พิจารณา (Watt/m^2)

U_r คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาทึบ (Watt/m^2.^oC)

SRR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างและหรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนนั้น (Skylight to Roof Ratio)

TD_{eq} คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของหลังคาส่วนทึบ

U_s คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสง (Watt/m^2.C)

ΔT คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร สำหรับประเทศไทย ค่านี้คือ 5 ^oC

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของช่องรับแสง

SF คือ ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์ (Watt/m^2)

2.4.2.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) คือ ค่าเฉลี่ยที่ถ่วงแล้ว ของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาแต่ละส่วน ($RTTV_i$) คำนวณได้จากสมการ

$$RTTV = \frac{(A_{01})(RTTV_1)+(A_{02})(RTTV_2)+....+(A_{0i})(RTTV_i)}{A_{01}+A_{02}+....+A_{0i}}$$

โดยที่

A_{0i} คือ พื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนที่พิจารณา (m^2)

$OTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาส่วนที่พิจารณา (Watt/m^2)

2.4.2.3 **ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของหลังคา**มีความหมายในทำนองเดียวกันกับค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบ

ตารางที่ 2-4 แสดงค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) สำหรับหลังคาที่มีความหนาแน่นเชิงมวล และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ต่างๆ กัน (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2536: 19)

มวลของหลังคา Kg / m^2	**ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (α)**			
	0.1 <0 - 0.2>	0.3 <0.2 - 0.4>	0.5 <0.4 - 0.6>	**0.6 และมากกว่า** <0.6 - 1.0>
0 - 50	20	24	28	32
50 - 200	16	20	24	28
เกินกว่า 200	12	16	20	24

สำหรับหลังคาที่มีอุปกรณ์บังแดดที่มีการระบายอากาศ เช่น กรณีหลังคา 2 ชั้น ยกระดับจากกันให้ใช้ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าช่องที่ 1 (α = 0.1) คูณด้วย 0.8 รายการวัสดุและสีทาผนังแยกตามระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ในตารางที่ 2-2

2.4.2.4 **ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์** (SF) สำหรับหลังคาที่รับแสงในแนวระดับจะขึ้นอยู่กับมุมเอียงของหลังคาในทิศต่างๆ และในการคำนวณหาค่า SF จึงต้องอาศัยค่าตัวประกอบปรับแก้ CF ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์ คือ

$$SF = (370)(CF) \quad (Watt/m^2)$$

โดยที่ CF = ค่าตัวประกอบแก้ (Correction Factor) สำหรับหลังคา ซึ่งหาได้จากตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 แสดงค่าตัวประกอบแก้สำหรับหลังคา (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2536: 20)

ทิศ มุมเอียง	เหนือ	ตะวันออก เฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออก เฉียงใต้	ใต้	ตะวันตก เฉียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตก เฉียงเหนือ
0°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5°	0.98	0.99	0.99	1.01	1.01	1.01	1.00	0.99
10°	0.96	0.97	0.99	1.01	1.02	1.01	0.99	0.97
15°	0.93	0.95	0.98	1.01	1.02	1.00	0.98	0.95
20°	0.90	0.93	0.97	1.00	1.02	1.00	0.96	0.92
25°	0.87	0.90	0.95	0.99	1.01	0.98	0.94	0.89
30°	0.83	0.86	0.93	0.98	0.99	0.97	0.92	0.86
35°	0.78	0.83	0.90	0.96	0.97	0.95	0.89	0.82
40°	0.74	0.79	0.87	0.93	0.95	0.92	0.86	0.78
45°	0.69	0.75	0.84	0.90	0.92	0.89	0.83	0.74
50°	0.64	0.71	0.81	0.87	0.88	0.86	0.79	0.70
55°	0.59	0.66	0.77	0.83	0.84	0.82	0.76	0.66
60°	0.54	0.62	0.73	0.79	0.80	0.78	0.72	0.61
65°	0.50	0.58	0.69	0.75	0.75	0.73	0.68	0.57

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4.3 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

2.4.3.1 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนของวัสดุใดๆ สามารถพิจารณาได้จาก ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุนั้นๆ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนภายใต้สภาวะที่คงที่อันหนึ่ง คือ ปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านวัสดุพื้นที่ 1 ตารางหน่วย ความหนา 1 หน่วย ใน 1 หน่วยเวลา โดยมีความแตกต่างของอุณหภูมิผิววัสดุทั้ง 2 ด้าน 1 หน่วย ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีหน่วยเป็น W/m.°C (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2536)

2.4.3.2 **ความนำความร้อน** (C) ค่าความนำความร้อนของวัสดุใดๆ คือ อัตราส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของวัสดุ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการดังต่อไปนี้

$$C = \frac{k}{\Delta X}$$

ΔX คือ ความหนาของวัสดุ (m)

C คือ ค่าความนำความร้อน ($W/m^{2}.^{o}C$)

2.4.3.3 **ความต้านทานความร้อน** (R) ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุใดๆ คือส่วนกลับของค่าความนำความร้อนซึ่งคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$R = \frac{1}{C} = \frac{\Delta X}{k}$$

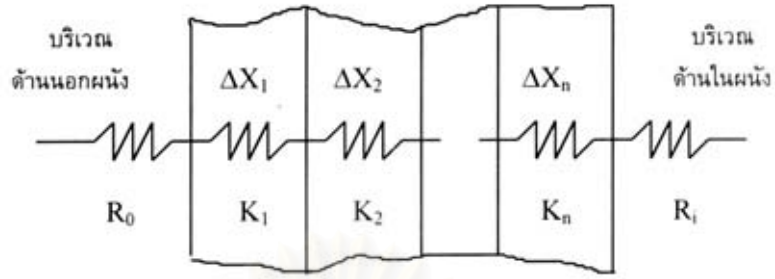
R คือ ค่าความต้านทานความร้อน ($m^{2}.^{o}C/W$)

2.4.3.4 **ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ** (air film) ความสามารถในการส่งผ่านความร้อนระหว่างผิววัสดุใดๆ กับอากาศที่อยู่โดยรอบ ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศนิ่งที่ผิวของวัสดุนั้น ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวด้านนอกของอาคาร (R_o)
2. ความต้านทางความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวด้านในของอาคาร (R_i)
3. ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ที่อยู่ภายในช่องว่างอากาศของผนัง หลังคาและเพดาน (R_a)

2.4.3.5 **ความต้านทานความร้อนรวม** (R_T) การคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนัง หลังคาและเพดาน (R_T) ซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน n ชนิด สามารถคำนวณโดยวิธีการดังต่อไปนี้

1. ในกรณีที่ผนังอาคารประกอบด้วยวัสดุ n ชนิด



รูปที่ 2-5 แสดงสภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน n ชนิด

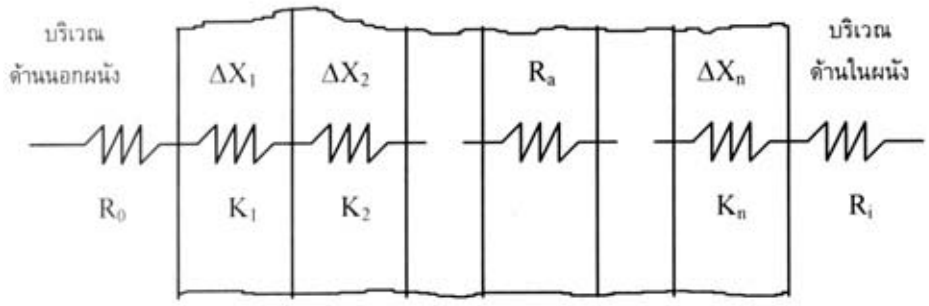
$$R_T = R_0 + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \frac{\Delta x_3}{k_3} + ... + \frac{\Delta x_n}{k_n} + R_i$$

$\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3, ..., \Delta x_n$ คือ ความหนาของวัสดุที่อาคารประกอบขึ้นเป็นผนังชนิดที่ 1, 2, 3, ...n ตามลำดับ

$k_1, k_2, k_3, ..., k_n$ คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุชนิดที่ 1, 2, 3,..., n ตามลำดับ

R_0, R_i คือ ความต้านทางความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวด้านนอกและด้านในของผนังอาคารตามลำดับ

2. ในกรณีที่ผนังอาคารมีช่องว่างอากาศ การคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังหลังคาและเพดาน (R_T) ซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน n ชนิด และผนังอาคารมีช่องว่างอากาศ สามารถคำนวณโดยวิธีการดังต่อไปนี้



รูปที่ 2-6 แสดงสภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารซึ่งมีโครงสร้างประกอบด้วยวัสดุ n ชนิด และ มีช่องว่างอากาศภายใน

$$R_T = R_0 + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \frac{\Delta x_3}{k_3} + \ldots + R_a + \ldots + \frac{\Delta x_n}{k_n} + R_i$$

R_a คือ ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่อยู่ภายในช่องว่างอากาศของผนัง

2.4.3.5 **สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม** (U) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม คือ ส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อนรวม ($W/m^2.^oC$) สามารถคำนวณได้ดังนี้

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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2-6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และความหนาแน่นของวัสดุต่างๆ (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2536: 56)

ลำดับที่	วัสดุ	ความหนาแน่น $kg \cdot m^{-3}$	ค่า k $W \cdot m^{-1} \cdot {}^{\circ}C^{-1}$
1	แผ่นซีเมนต์แอสเบสตอส	1,860	0.198
2	แผ่นฉนวนกันความร้อนแอสเบสตอส	720	0.108
3	วัสดุมุงหลังคาที่ทำด้วยแอสฟัลท์	2,240	1.226
4	บิตุเม็น (bitumen)		1.298
5	อิฐ		
	(a) แห้ง และฉาบปูนหรือปิดด้วยแผ่นโมเสด	1,760	0.807
	(b) ความชื้น 6%	1,872	1.211
	(c) ผนัง (ไม่ฉาบปูน)		1.154
6	คอนกรีต	2,400	1.442
7	คอนกรีต ชนิดเบา ขนาดความหนาแน่นต่างๆ	960	0.303
		1,120	0.346
		1,280	0.476
8	แผ่นไม้ก๊อก	144	0.042
9	แผ่นไฟเบอร์ (Fiber board)	264	0.052
10	ไฟเบอร์กลาส (ดูใยแก้ว)		
	(a) แบบม้วน (Blanket)	10 - 24	0.038
	(b) แบบแผ่น (Rigid board)	32 - 48	0.033
	(c) แบบท่อสำเร็จ (Rigid pipe sections)	56 - 80	0.038
11	แผ่นกระจก	2,512	1.053
12	ใยแก้ว สานเป็นแผ่น หรือสอดไส้อยู่ระหว่างวัสดุอื่น 2 แผ่น (แห้ง)	32	0.035
13	แผ่นยิบซั่ม	880	0.191
14	แผ่นไม้อัดฮาร์ดบอร์ด		
	(a) มาตรฐาน	1,024	0.216
	(b) ปานกลาง	640	0.123

ตารางที่ 2-6 (ต่อ) แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และความหนาแน่นของวัสดุต่างๆ

ลำดับที่	วัสดุ	ความหนาแน่น $kg \cdot m^{-3}$	ค่า k $W \cdot m^{-1} \cdot {}^{\circ}C^{-1}$
15	โลหะ		
	(a) โลหะผสมอลูมิเนียม แบบธรรมดา	2,672	211
	(b) ทองแดง ที่มีขายเชิงพาณิชย์	8,784	385
	(c) เหล็กกล้า	7,840	47.6
16	ใยแร่ อัดแน่นเป็นแผ่น	32 - 104	0.035 - 0.032
17	วัสดุใช้ฉาบหรือปิดผิว		
	(a) ยิบซั่ม	880	0.191
	(b) ปูนฉาบ น้ำหนักเบา	300	0.036
	น้ำหนักขนาดกลาง	1104	0.274
	(c) เพอร์ไลท์	616	0.115
	(d) ปูนผสมทราย	1,568	0.533
	(e) เวอร์มิคูไลท์	640 - 960	0.202 - 0.303
18	โพลีสไตรีน เบ่งขยายตัว	16	0.035
19	โพรียูรีเทน โฟม	24	0.024
20	วัสดุทำพื้น PVC	1,360	0.173
21	ดินอัดหลวม (ร่วนซุย) ความชื้น 1%	1,200	0.375
22	หิน		
	ทราย	2,000	1.298
	แกรนิต	2,640	2.927
	หินอ่อน	2,640	1.298
23	กระเบื้อง หลังคา	1,890	0.836
24	ไม้		
	ไม้เนื้ออ่อน	608	0.125
	ไม้เนื้อแข็ง	720	0.138
	ไม้อัด	528	0.138

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2-6 (ต่อ) แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และความหนาแน่นของวัสดุต่างๆ

ลำดับที่	วัสดุ	ความหนาแน่น $kg \cdot m^{-3}$	ค่า k $W \cdot m^{-1} \cdot {}^{\circ}C^{-1}$
25	เวอร์มิคูไลท์ แบบเม็ดทรายอัดหยาบหลวม	80 - 112	0.065
26	ไม้อัดชีพบอร์ด	800	0.144
27	ไม้พื้นแผ่นเรียบ	400	0.086
28	หินล้าง	2,245	0.155
29	กรวดล้าง	2,244	0.155
25	เวอร์มิคูไลท์ แบบเม็ดทรายอัดหยาบหลวม	80 - 112	0.065

2.4.4 ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด

สูตรการคำนวณค่า OTTV ต้องอาศัยค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์ ซึ่งก็คือค่าเฉลี่ยรายปีของฟลักซ์รังสีอาทิตย์ที่ทะลุผ่านกระจกใสหนา 3 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตามในกรณีทั่วไป หน้าต่างของอาคารอาจประกอบด้วยกระจกที่มีความหนาไม่เท่ากับ 3 มิลลิเมตร และอาจมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดด้วย ดังนั้นการคำนวณฟลักซ์รังสีอาทิตย์ที่ทะลุผ่านหน้าต่างจำเป็นต้องมีตัวประกอบเพื่อปรับให้สอดคล้องกับผลดังกล่าว ตัวประกอบที่ใช้ปรับนี้ เรียกว่า สัมประสิทธิ์การบังแดด ซึ่งกำหนดว่าคือ “อัตราส่วนของฟลักซ์รังสีอาทิตย์ที่ทะลุผ่านระบบหน้าต่างซึ่งอาจประกอบด้วยกระจก และอุปกรณ์บังแดดต่อฟลักซ์รังสีอาทิตย์ที่ทะลุผ่านกระจกใสหนา 3 มิลลิเมตร ที่ไม่มีอุปกรณ์บังแดดใดๆ” (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2536)

ในระบบหน้าต่าง ซึ่งประกอบด้วย กระจก และอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกเอง (SC_1) และค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC_2) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$SC = (SC_1)(SC_2)$$

2.4.4.1 **สัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก** สามารถใช้ค่าที่กำหนดโดยบริษัทผู้ผลิต เมื่อมีการประเมินตามวิธีมาตรฐานที่แสงตกกระทบทำมุม 45 องศา กับแนวตั้งฉากกับกระจก

2.4.4.2 **สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด** สามารถคำนวณได้จากการพิจารณาดังต่อไปนี้

- เมื่อรังสีอาทิตย์ซึ่งประกอบด้วยรังสีตรง และรังสีกระจาย ตกกระทบหน้าต่าง และพื้นที่บางส่วนของหน้าต่างเกิดเงาขึ้น พื้นที่ในส่วนนี้จะได้รับพลังงานจากรังสีกระจาย และสำหรับบริเวณพื้นที่ที่ไม่เกิดเงาจะได้รับพลังงานจากรังสีอาทิตย์ทั้งรังสีตรงและรังสีกระจาย ซึ่งสามารถแสดงได้รูปสมการ

$$\begin{aligned} Q &= A_e \times I_T + A_s \times I_d \\ &= A_e \times (I_D + I_d) + A_s \times I_d \\ &= A_e \times I_D + (A_e + A_s) \times I_d \\ &= A_e \times I_D + A \times I_d \end{aligned}$$

โดยที่

Q หมายถึง ปริมาณกำลังงานรังสีอาทิตย์ที่ตกลงบนหน้าต่าง (W)

I_D หมายถึง ฟลักซ์รังสีตรงดวงอาทิตย์ (W/m^2)

I_d หมายถึง ฟลักซ์รังสีกระจายดวงอาทิตย์ (W/m^2)

I_T หมายถึง ฟลักซ์รังสีรวมดวงอาทิตย์ (W/m^2)

ซึ่ง $I_T = I_D + I_d$

A_e หมายถึง พื้นที่หน้าต่างส่วนที่ไม่เกิดเงา (m^2)

A_s หมายถึง พื้นที่หน้าต่างส่วนที่เกิดเงา (m^2)

A หมายถึง พื้นที่หน้าต่างทั้งหมด (m^2)

ซึ่ง $A = A_e + A_s$

สำหรับในกรณีของหน้าต่างที่ประกอบด้วยกระจกหนา 3 มิลลิเมตร พื้นที่ A ตารางเมตร ที่ไม่มีอุปกรณ์บังแดดใดๆ ปริมาณกำลังงานรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบ (Q') จะมีค่า

$$Q' = A \times I_T$$

สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC_2) หาได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$SC_2 = \frac{Q}{Q'}$$

$$= \frac{A_e \times I_D + A \times I_d}{A \times I_T}$$

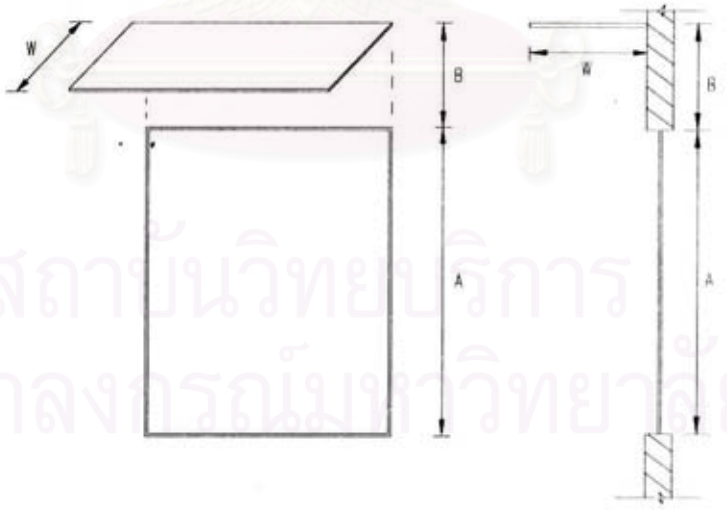
$$= \frac{(A_e / A) \times I_D + I_d}{I_T}$$

กำหนดให้ $G = \frac{A_e}{A}$

จะได้ว่า $SC_2 = \frac{G \times I_D + I_d}{I_T}$

ตัวแปร G ที่ปรากฏในสมการ สามารถคำนวณได้โดยอาศัยข้อมูลลักษณะเชิงกายภาพของระบบหน้าต่าง และข้อมูลทิศทางของดวงอาทิตย์ ดังการพิจารณาต่อไปนี้

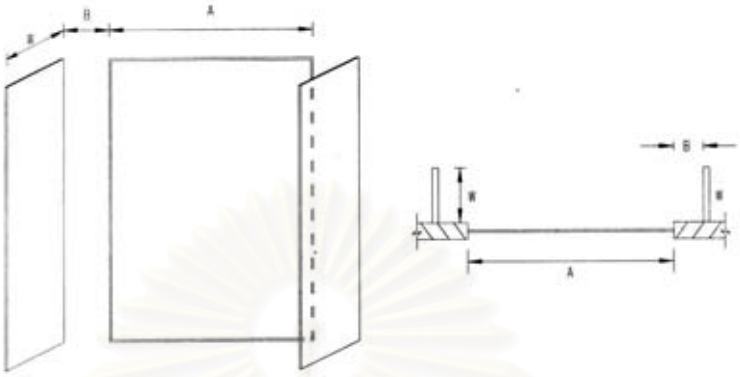
<u>กรณีของอุปกรณ์บังแดดชนิดแนวนอน</u>



รูปที่ 2-7 แสดงลักษณะเชิงกายภาพของอุปกรณ์บังแดดชนิดแนวนอน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>กรณีของอุปกรณ์บังแดดชนิดแนวตั้ง</u>



รูปที่ 2-8 แสดงลักษณะเชิงกายภาพของอุปกรณ์บังแดดชนิดแนวตั้ง

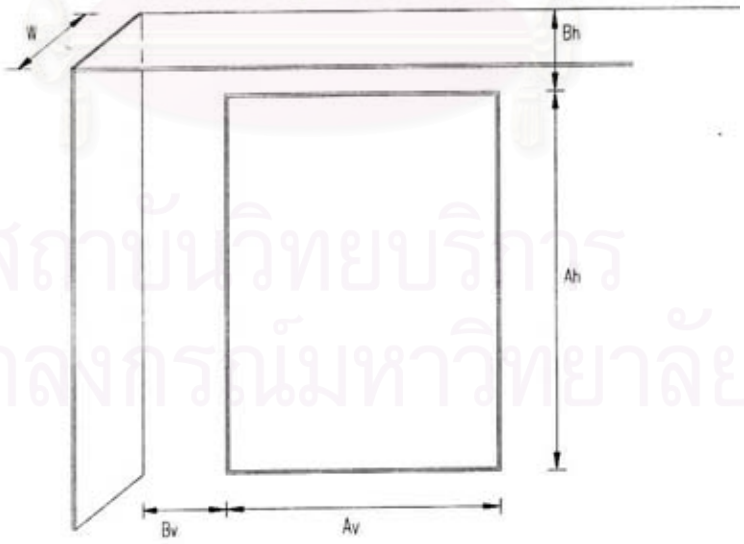
<u>กรณีของอุปกรณ์บังแดดทั้ง 2 ชนิด ติดตั้งร่วมกัน</u> ค่าตัวแปร G สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$G = G_1 \times G_2$$

โดยที่

G_1 หมายถึง ตัวแปร G ในกรณีที่เป็นอุปกรณ์บังแดดแนวนอน

G_2 หมายถึง ตัวแปร G ในกรณีที่เป็นอุปกรณ์บังแดดแนวตั้ง



รูปที่ 2-9 แสดงลักษณะเชิงกายภาพของอุปกรณ์บังแดดแนวตั้งและแนวนอนติดตั้งร่วมกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC_2) จะต้องคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยตลอดปี แต่ในการคำนวณค่า OTTV ความถูกต้องแม่นยำของค่า SC_2 ไม่ได้เป็นตัวแปรสำคัญ จึงอนุโลมเพื่อความสะดวกในการคำนวณค่า OTTV กำหนดให้เฉลี่ยจากค่า SC_2 รายวันของวันที่ 21 มีนาคม, 22 มิถุนายน, 23 กันยายน และ 22 ธันวาคม ของปี

2.5 ระบบและวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอาคาร

2.5.1 ระบบโครงสร้างอาคาร

2.5.1.1 โครงข้อหมุน/โครงถัก (Truss) เป็นโครงสร้างที่ประกอบขึ้นมาจากชิ้นส่วนหรือองค์ประกอบขนาดสั้นและตรงจำนวนมากยึดต่อกันแบบข้อต่อหมุน (Hinged Joint) เป็นรูปสามเหลี่ยมยึดโยงกันเป็นโครง และทำหน้าที่คล้ายคานตัวหนึ่ง โดยโครงข้อหมุนจะทำหน้าที่รับโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นเมื่อมีน้ำหนักบรรทุก แต่องค์ประกอบที่มาประกอบกันจะรับแรงดึงหรือแรงอัดเท่านั้น เหมาะสำหรับองค์อาคารที่มีช่วงพาด (Span) ยาว โดยไม่ต้องมีเสาระหว่างกลาง เช่น โครงหลังคา โครงสะพาน

2.5.1.2 โครงข้อแข็ง (Rigid Frame) โดยปกติโครงสร้างที่คานวางอยู่บนหัวเสา ในลักษณะที่จุดต่อที่หัวเสายึดติดกับคานเป็นข้อต่อแบบหมุน (Pinned Joint) โครงสร้างแบบนี้จะไม่สามารถต้านทานแรงกระทำด้านข้างได้ถ้าไม่มีการยึดยัน (Bracing) ที่ดี แต่สำหรับโครงข้อแข็งนั้นรอยต่อระหว่างคานและหัวเสาจะเป็นข้อต่อแบบยึดแน่น (Rigid Joint) ทำให้โครงข้อแข็งมีความสามารถรับแรงด้านข้าง (Lateral Force)ได้ดีกว่าโดยที่จะเกิดโมเมนต์ขึ้นทั้งเสาคาน

2.5.1.3 ผนังรับน้ำหนัก (Bearing Wall) เป็นโครงสร้างที่ทำหน้าที่คล้ายกับเสาที่มีความบางและกว้าง และยังทำหน้าที่เป็นผนังของอาคารอีกด้วย ผนังรับน้ำหนักแบบคอนกรีตเสริมเหล็กนอกจากจะรับน้ำหนักบรรทุกในระนาบเดียวกับผนังแล้ว ยังสามารถรับแรงกระทำด้านข้างได้อีกด้วย แต่สำหรับผนังรับน้ำหนักแบบก่ออิฐ จะรับน้ำหนักบรรทุกได้ในระนาบของผนังเท่านั้น ในกรณีที่ผนังมีช่องเปิด หน่วยแรงจะกระจายอ้อมช่องเปิดดังรูป ดังนั้นควรที่จะเสริมความแข็งแรงโดยรอบช่องเปิดเป็นพิเศษ

2.5.1.4 แผ่นพื้น (Slab) เป็นโครงสร้างในแนวราบ เมื่อมีน้ำหนักบรรทุกจะถ่ายแรงออกด้านข้างเหมือนคาน แบ่งตามลักษณะของแผ่นพื้นได้ดังนี้

1. แผ่นพื้นทางเดียว (One-Way Slab) ทำหน้าที่เหมือนคานกว้าง/แบน พาดอยู่บนที่รองรับ

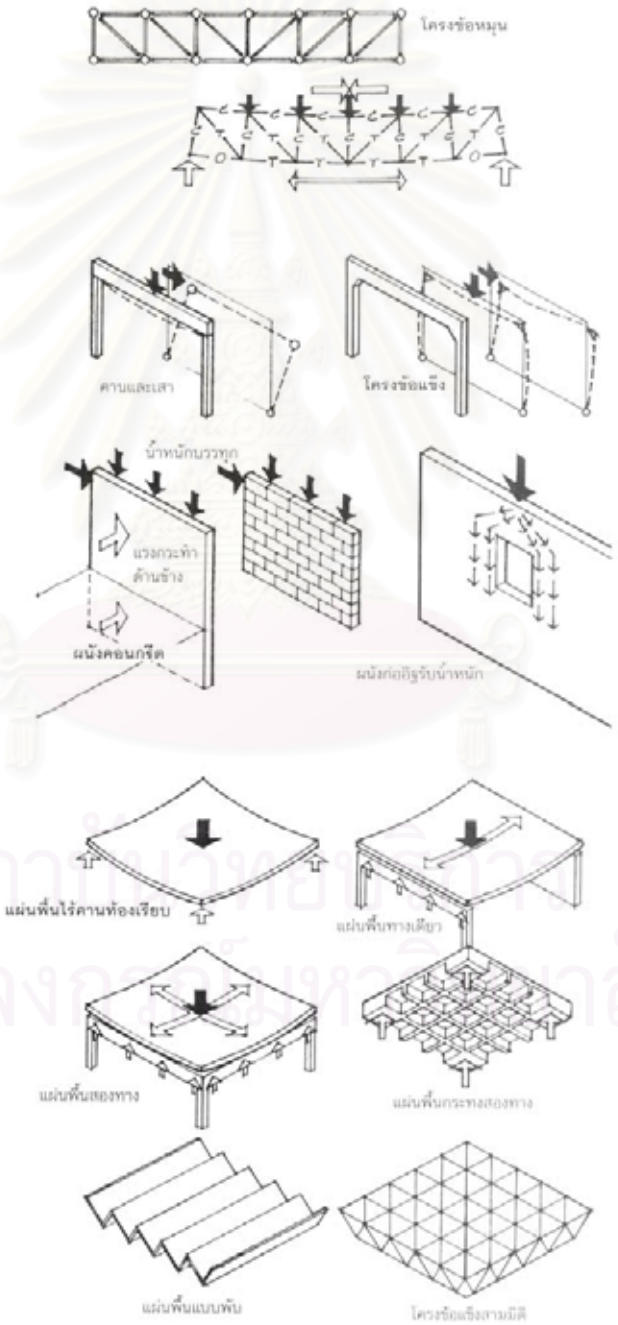
2. แผ่นพื้นสองทาง (Two-Way Slab) ก็คือแผ่นพื้นทางเดียววางซ้อนกันทำมุม 90 องศา ซึ่งกันและกัน แบ่งเป็น

- แผ่นพื้นสองทางแบบมีคานขอบเป็นที่รองรับตลอดความกว้างของพื้นทั้ง4ด้าน

- แผ่นพื้นสองทางแบบไร้คาน (Flat Plate)
- แผ่นพื้นสองทางแบบแผ่นพื้นกระทง (Waffle Slab)

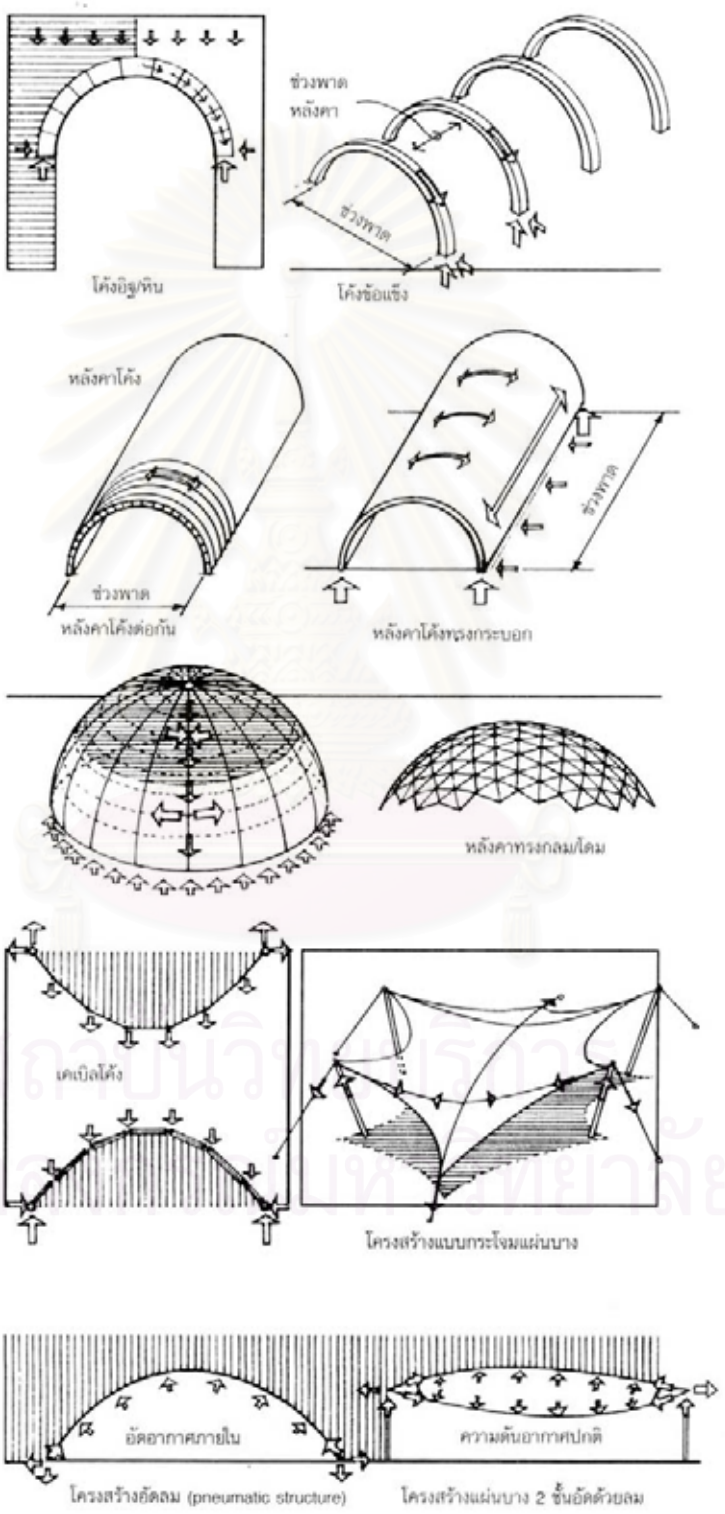
3. แผ่นพื้นแบบพับ (Folded Plate) เป็นโครงสร้างพื้นที่ออกแบบให้มีแผ่นพื้นมาต่อกันในลักษณะฟันปลา ทำให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ดีแม้ช่วงพาดจะยาว

4. โครงข้อแข็งสามมิติ (Space Frame) เป็นโครงสร้างพิเศษที่ประกอบขึ้นจากชิ้นส่วนเล็กๆ เป็นรูปสามเหลี่ยมเชื่อมต่อกันทั้ง 3 ทิศทาง เหมาะที่จะเป็นโครงสร้างพื้นหรือหลังคาที่ต้องการพาดช่วงยาวๆ ได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 2-10 แสดงลักษณะของโครงสร้างแบบต่างๆ ต่างๆ (ชิง และ อาดัม, 2545: 45)

2.5.1.5 **โครงสร้างอื่นๆ** โดยทั่วไปโครงสร้างอาคารจะประกอบด้วยองค์อาคารประเภท เสา คาน และพื้น ประกอบกันขึ้นมาเป็นหน่วยโครงสร้างในลักษณะกล่อง และขยายออกไปในสามมิติ ทำให้โครงสร้างอาคารเป็นรูปทรงกล่องสี่เหลี่ยมซึ่งจะพบเห็นได้โดยทั่วไป โครงสร้างแบบอื่นๆ เช่น



รูปที่ 2-11 แสดงลักษณะของโครงสร้างพิเศษแบบต่างๆ (ชิง และ อาดัม, 2545: 56)

โค้ง (Arch) หมายถึงองค์อาคารที่มีความโค้งพาดอยู่ระหว่างจุด 2 จุด เช่น โค้งวัสดุก่อ (Block Arch) จะรับน้ำหนักบรรทุกได้เฉพาะในระนาบของแรงกระทำเท่านั้น ทำให้เกิดแรงอัดกระจายในชิ้นส่วนย่อยอย่างสม่ำเสมอ โครงข้อแข็ง (Rigid Arch) จะหล่อหรือทำขึ้นจากวัสดุที่เป็นเนื้อเดียวกัน ได้แก่ คอนกรีต หรือเหล็ก

1. หลังคาโค้งแบบต่อกัน (Vault) หมายถึงหลังคาที่มีโค้งหลายๆ อันมาต่อกันเป็นผืน

2. หลังคาโค้งแบบทรงกระบอก (Cylindrical Shell) มีรูปทรงคล้ายหลังคาโค้งแบบต่อกัน แต่มีช่วงพาดตามแนวยาวเหมือนคานตัวหนึ่ง

3. หลังคาทรงโดม (Dome) หลังคารูปทรงกลม อาจจะทำขึ้นจากการนำก้อนหินตัดหรืออิฐมาเรียงต่อกัน หรือทำจากคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือโครงข้อแข็งสามมิติ โดยแรงที่เกิดขึ้นตามเส้นรอบวงของโดมจะเป็นแรงอัดที่ยอดและเป็นแรงดึงที่ส่วนล่างใกล้กับฐาน

4. โครงสร้างแบบขึงด้วยเชือก เคเบิล หรือลวดสลิง โดยแรงที่เกิดขึ้นในเคเบิลหรือลวดสลิง จะต้องเป็นแรงดึง (Tension) เท่านั้น

5. โครงสร้างแผ่นบาง (Membranes) หมายถึงโครงสร้างที่อาจจะขึงหรือยึดด้วยเสาหรืออัดด้วยอากาศ

2.5.2 ข้อต่อหรือรอยต่อของโครงสร้าง

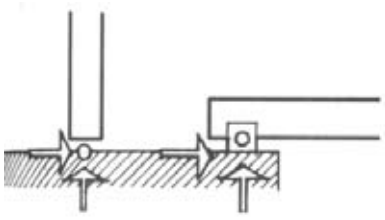
โดยทั่วไปการเชื่อมต่อองค์อาคารเข้าด้วยกันจะสามารถกระทำได้เป็น 3 วิธีดังนี้

- การต่อแบบชน (Butt Joints) หมายถึงจุดต่อที่องค์อาคารมาต่อเชื่อมกันโดยมีตัวกลาง เช่น อุปกรณ์ยึดทำหน้าที่เชื่อมยึดองค์อาคารเข้าด้วยกัน

- การต่อแบบทาบหรือพาด (Overlapping Joints) หมายถึงจุดต่อที่องค์อาคารสามารถต่อทาบแบบต่อเนื่อง หรือพาดผ่านจุดต่อในอีกทิศทางหนึ่ง

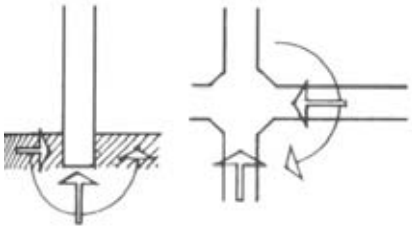
- การต่อแบบเข้าเดือย (Molded and Shaped Joints) หมายถึงจุดต่อที่ได้ออกแบบองค์อาคารให้มีเดือย และร่องไว้ล่วงหน้าแล้ว

อุปกรณ์ยึด (Connector) สำหรับข้อต่อหรือรอยต่อมีอยู่หลายชนิด เช่น หมุดย้ำ สลักเกลียว การเชื่อมหรือใช้กาวยึด ในทางทฤษฎี ข้อต่อหรือรอยต่อจะแบ่งได้เป็น 3 แบบ ดังต่อไปนี้

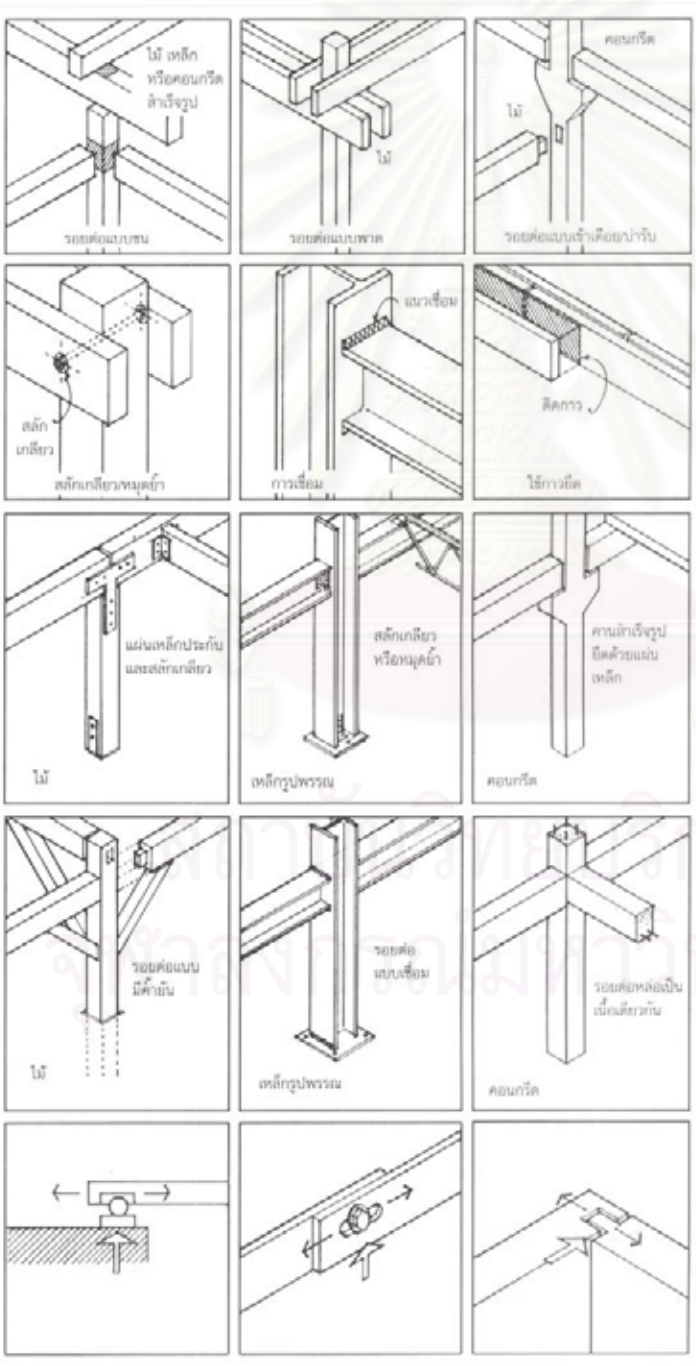


2.5.2.1 **ข้อต่อแบบหมุน** (Pinned Joints) หมายถึงข้อต่อหรือรอยต่อที่ยอมให้องค์อาคารที่มาเชื่อมต่อกันหมุน (Rotate) รอบจุดต่อได้ (Moment = 0) แต่จะไม่ยอมให้องค์อาคารเคลื่อนตัวไปในทิศทางใดๆ ได้

2.5.2.2 **ข้อต่อแบบแข็งหรือยึดแน่น** (Rigid or Fixed Joints) หมายถึงข้อต่อหรือรอยต่อที่ไม่ยอมให้องค์อาคารเคลื่อนตัวหรือหมุนรอบจุดต่อได้ เป็นข้อต่อที่ต้านทานโมเมนต์และแรงกระทำในทุกทิศทาง



2.5.2.3 **ข้อต่อแบบล้อเลื่อน** (Roller Joints) หมายถึงข้อต่อที่ยอมให้องค์อาคารหมุนรอบจุดต่อและสามารถเคลื่อนตัวได้หนึ่งทิศทาง ได้แก่ ข้อต่อที่เผื่อให้องค์อาคารสามารถขยับตัวหรือขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิได้ เป็นต้น



รูปที่ 2-12 แสดงข้อต่อและรอยต่อแบบต่างๆ ของโครงสร้าง (ชิง และ อาดัม, 2545: 55)

2.5.3 **วัสดุเปลือกอาคาร**

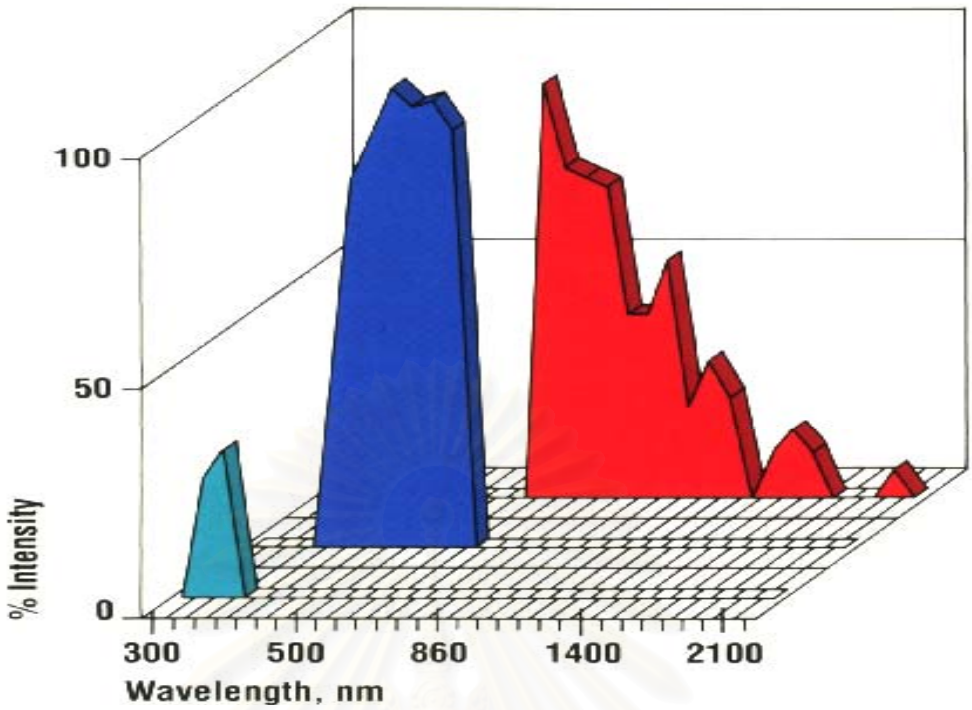
2.5.3.1 **วัสดุผนังภายนอก** วัสดุผนังชนิดพิเศษที่ได้รับการติดตั้งในพื้นที่ควบคุมสภาพอากาศ(Control zone) มีสภาพความเป็นฉนวนสูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุทั่วไปที่ใช้ในการก่อสร้าง เช่น อิฐ คอนกรีต ฯลฯ นวัตกรรมที่อยู่อาศัยแห่งอนาคตจึงใช้พลังงานเพียงเล็กน้อยในการปรับสภาพความชื้นและอุณหภูมิ เนื่องจากวัสดุผนังสามารถป้องกันสภาพแวดล้อมภายนอกที่เปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงได้เป็นอย่างดี

วัสดุผนังที่ใช้สำหรับส่วนปรับอากาศในการศึกษาวิจัยนี้ คือ ระบบผนัง Exterior Insulation and Finish System (E.I.F.S.)

ข้อดีของระบบผนังในรูปแบบนี้สำหรับพื้นที่ปรับอากาศได้แก่

- มีค่าความเป็นฉนวนสูงทำให้ภาระการปรับอากาศภายในต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับอาคารที่ใช้วัสดุก่อสร้างโดยทั่วไป
- มีมวลสารน้อยทำให้เครื่องปรับอากาศรับภาระในการขจัดความร้อนและความชื้นที่สะสมในมวลสารของผนังน้อยลง
- มีน้ำหนักเบาจึงสามารถช่วยลดการรับน้ำหนักของโครงสร้างลงได้มากเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้วัสดุก่อสร้างทั่วไป
- มีความสามารถในการป้องกันการรั่วซึมของอากาศ(Infiltration) จากภายนอกได้เป็นอย่างดีเนื่องจากใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นเซลล์ปิด (Close cell)

2.5.3.2 **การเลือกใช้กระจก**วัสดุกระจกได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น โดยการผสมกระจกต่างชนิดและช่องว่างอากาศภายใน เพื่อผลในการป้องกันรังสีดวงอาทิตย์และการนำความร้อนจากกระจกโดยไม่ลดทอนคุณภาพแสงสว่างที่ตามองเห็น การลดทอนในรูปแบบดังกล่าวจำเป็นต้องใช้เทคนิคในการเคลือบผิวกระจกเพื่อตัดช่วงคลื่นรังสีดวงอาทิตย์ที่ตามนุษย์ไม่สามารถมองเห็น (Infrared & Ultra violet) ซึ่งเป็นต้นเหตุของความร้อนส่วนเกินที่เข้ามาในอาคารทิ้ง และยอมให้แสงสว่างในช่วงคลื่นที่ตามนุษย์มองเห็น (Visible light) เข้ามาได้มากเพียงพอกับความต้องการในการใช้งาน



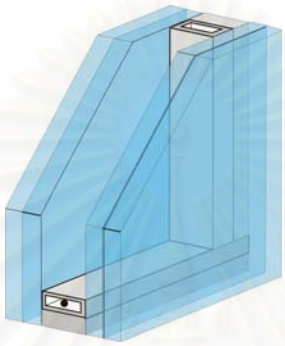
รูปที่ 2-13 แสดงองค์ประกอบของรังสีดวงอาทิตย์ทั้งหมด ได้แก่ ช่วงรังสีที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้จากรังสีดวงอาทิตย์ทั้งหมด (พื้นที่สีน้ำเงิน) ซึ่งเป็นช่วงคลื่นที่ต้องการสำหรับกระจกในเขตร้อน ส่วนรังสีอัลตราไวโอเล็ต (พื้นที่สีฟ้า) และรังสีอินฟราเรด (พื้นที่สีแดง) เป็นช่วงคลื่นที่ไม่จำเป็นต่อการมองเห็น การนำเอารังสีในช่วงคลื่นทั้งสองมาใช้จะเป็นการสร้างความร้อนให้กับอุณหภูมิผิวและอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร (สุนทร บุญญาธิการ, 2545)

- กระจกฮีตสตอป เป็นกระจกที่มีค่าความเป็นฉนวนสูงและมีสัมประสิทธิ์การบังเงาสูงเหมาะสำหรับการใช้งานในพื้นที่ปรับอากาศ เนื่องจากสามารถลดการนำความร้อนและการแผ่รังสีจากภายนอกได้เป็นอย่างดี รวมทั้งสามารถลดทอนรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงคลื่นที่ตามนุษย์ไม่สามารถมองเห็นซึ่งเป็นต้นเหตุของความร้อนส่วนเกินจากแสงสว่าง กระจกชนิดนี้จึงยอมให้แสงสว่างในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (Visible light) ผ่านได้มากในขณะที่ลดทอนช่วงคลื่นความร้อนที่ตามนุษย์ไม่สามารถมองเห็น (Infrared & Ultra violet) ออกด้วยการเคลือบผิวพิเศษ

ในส่วนของการนำความร้อน กระจกฮีตสตอปได้ปรับปรุงค่าความเป็นฉนวนของกระจกด้วยการเพิ่มเติมช่องว่างก๊าซเฉื่อยที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำจนกลายเป็นช่องว่างอากาศสะท้อนรังสี(Reflective air space) เพื่อเพิ่มความเป็นฉนวนของกระจก สำหรับกระจกที่ได้นำมาศึกษานั้นได้เพิ่มเติมช่องว่างก๊าซอาร์กอนที่ติดฟิลม์โลว์อี ในกระจกฮีตสตอปทั้งสองชนิด

การใช้กระจกในรูปแบบดังกล่าว กับพื้นที่ปรับอากาศจะสามารถช่วยป้องกันสภาพภายในอาคารจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศภายนอกอาคาร เครื่องปรับอากาศจึงไม่จำเป็นต้องรับภาระในการปรับอากาศมาก

- กระจกลามิเนต เป็นกระจกที่ใช้กับส่วนของอาคารที่ไม่ต้องการปรับอากาศ และใช้ประโยชน์พิเศษในบางจุดของการออกแบบ เนื่องจากกระจกลามิเนตมีค่าความเป็นฉนวนต่ำ เนื่องจากไม่มีช่องว่างก๊าซเฉื่อยเหมือนกระจกHeat-stop นวัตกรรมที่อยู่อาศัยยุคอนาคตจึงใช้ประโยชน์จากความสามารถในการระบายความร้อนของอาคารออกสู่ภายนอก โดยอาศัยการนำความร้อนของกระจกลามิเนตในบางพื้นที่ ที่ต้องการให้ความร้อนสามารถระบายออกสู่ภายนอกด้วยวิธีการนำความร้อน (Conduction heat flow)



รูปที่ 2-14 แสดงภาพกระจกชนิดที่นำมาพิจารณาในการวิจัยครั้งนี้ ว่ามีความเหมาะสมต่อการใช้งานในบ้านพักอาศัยยุคอนาคต เป็นกระจกที่สามารถให้แสงสว่างเข้าสู่อาคารได้มากแต่ยอมให้ความร้อนเข้าสู่อาคารได้น้อย นอกจากนี้ยังสามารถป้องกันอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบที่จะส่งอิทธิพลต่อผู้ใช้อาคารที่อยู่ใกล้หน้าต่างนี้ โดยการป้องกันการแผ่รังสีจากกระจกเข้าสู่ผู้ใช้อาคารด้วยวิธีการเสริมฟิล์มLow-E ด้านในที่ติดต่อกับผู้ใช้อีกชั้นหนึ่ง เป็นกระจกที่มีความเหมาะสมกับภูมิอากาศแบบร้อนชื้นอย่างแท้จริง (สุนทร บุญญาธิการ, 2545)

จากที่ได้ศึกษาจะพบว่าปัจจัยเรื่องการก่อสร้าง เป็นตัวแปรที่สำคัญในเรื่องของการแสวงหาหนทางการออกแบบบ้านพักอาศัยอาศัยยุคอนาคตที่สำคัญยิ่ง เนื่องจากการควบคุมตัวแปรธรรมชาติเพื่อให้สภาพแวดล้อมมีความเหมาะสมต่อการใช้ชีวิตยุคใหม่ที่คงคุณภาพชีวิตสูงสุด สามารถทำได้เพียงใกล้เคียง ส่วนที่ขาดไปเล็กน้อยนั้นจึงจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีการก่อสร้างที่เหมาะสมมาเสริมเข้าไปเพื่อให้นวัตกรรมนี้ใช้พลังงานสำหรับเครื่องกลเพียงเล็กน้อยในการรักษาสภาวะสบายให้กับผู้อยู่อาศัย โดยที่ยังคงคุณภาพชีวิตสูงที่สุดเท่าที่เทคโนโลยีการก่อสร้างจะเอื้ออำนวย นอกจากนี้หากพัฒนาตัวแปรการก่อสร้างและบูรณาการการออกแบบที่เหมาะสมและถูกต้อง นวัตกรรมนี้สามารถที่จะเป็นนวัตกรรมที่อยู่อาศัยยุคอนาคตที่ไม่จำเป็นต้องใช้พลังงาน ในการรักษาคุณภาพชีวิตผู้อยู่อาศัยให้คงไว้ในระดับสูง หากยังสามารถผลิตพลังงานและน้ำขึ้นใช้ได้เอง โดยไม่จำเป็นต้องพึ่งพาพลังงานและแหล่งน้ำจากภายนอกทั้งยังมีพลังงานเหลือเพียงพอที่จะสำรอง นอกจากนี้ยังสามารถแจกจ่ายให้กับระบบได้

2.5.4 **คุณสมบัติของฉนวนประเภทต่าง ๆ**

2.5.4.1 **อะลูมินั่มฟอยล์** ในการเลือกใช้ฉนวนประเภทต่าง ๆ จะต้องคำนึงถึงความสามารถในการกันความร้อนให้กับอาคาร จากการศึกษาพบว่า การใช้อะลูมินั่มฟอยล์เพียงชั้นเดียว ไม่เพียงพอสำหรับกันความร้อนจากหลังคา ต้องมีอะลูมินั่มฟอยล์ไม่น้อยกว่า 3-4 ชั้นโดยแต่ละชั้นมีช่องว่างอากาศ (Air Gap) ไม่น้อยกว่า 1 นิ้ว และต้องป้องกันการรั่วซึมได้ดีด้วย แต่มีข้อแม้ว่าผิวของแผ่นอะลูมินั่มฟอยล์ จะต้องมีลักษณะมัน-เงาอยู่ตลอกเวลา ไม่เช่นนั้นแล้วจะทำให้สูญเสียคุณสมบัติในการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ไปโดยสิ้นเชิง ทำให้ไม่สามารถทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนได้อีกต่อไป

2.5.4.2 **โฟม** ฉนวนประเภทโฟมทั้งหลาย มีความจำเป็นต้องห่อหุ้มหรือปกป้องจากการทำลายของรังสีอัลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์ โฟมส่วนใหญ่มีข้อดีคือ สามารถคงสภาพเดิมได้แม้จะโดนความเปียกชื้น (ทนน้ำ) แต่เนื่องจากโฟมมีจุดหลอมเหลวต่ำ (โดยทั่วไปจะต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส) ทำให้เมื่อโดนความร้อนสูงเป็นเวลานานๆ โฟมก็จะเปลี่ยนรูป เช่น บิด-งอ บุบสลาย หรือไหม้ไปในที่สุด แต่ในบ้านทั่วๆ ไป มักจะไม่มีอุณหภูมิสูงถึงขนาดนั้น ยกเว้นกรณีที่มีการนำโฟมไปใช้บุหลังกระจกโดยตรงจะทำให้มีอุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ซึ่งโฟมไม่สามารถคงสภาพเดิมไว้ได้

2.5.4.3 **ไฟเบอร์กลาส** เป็นฉนวนที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไป ในประเทศไทยจะรู้จักกันภายใต้ชื่อของ ไมโครไฟเบอร์ หรืออื่นๆ(ตามชื่อของผู้ผลิต) ฉนวนประเภทนี้นอกจากจะสามารถกันความร้อนแล้ว ยังมีคุณสมบัติในการกันเสียงได้ด้วย และมีค่าการกันไฟได้สูงประมาณ 300 องศาเซลเซียส แต่ไม่ทนทานต่อความเปียกชื้น การกลั่นตัวของหยดน้ำจะทำให้สูญเสียคุณสมบัติในการกันความร้อนไปเมื่อเปียกชื้น

2.5.4.4 **ร็อกวูล** ฉนวนประเภทร็อกวูลเป็นวัสดุจากธรรมชาติที่ไม่มีสารประกอบของแอสเบสทอส (Asbestos) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ มีคุณสมบัติในการกันความร้อนได้เทียบเท่ากับฉนวนประเภทไฟเบอร์ (Glass Fiber) แต่สามารถทนไฟได้ดีกว่า จึงนำมาใช้เป็นฉนวนที่สามารถกันไฟได้ด้วย (ทนความร้อนได้สูงถึง 800 องศาเซลเซียส) คุณสมบัติพิเศษอีกประการหนึ่งคือ มีความสามารถดูดซับเสียง โดยปกติในการใช้งานจะใช้ร็อกวูลที่มีความหนาแน่น (Density) สูง และตกแต่งด้วยผ้าเพื่อความสวยงาม แต่มีข้อจำกัดคือ ไม่ทนทานต่อความเปียกชื้น

2.5.4.5 **เซลลูโลส** โดยทั่วไปแล้ว ฉนวนประเภทนี้มักทำขึ้นจากเยื่อกระดาษที่ใส่สารกันไฟลาม ทำให้สามารถป้องกันไฟไหม้ได้ระดับหนึ่ง เมื่อโดนไฟไหม้จะมีควันคล้ายควันธูปและดับไปเองในที่สุด ถ้าเยื่อกระดาษนี้มีสารเคมีผสมอย่างถูกต้องก็สามารถใช้เป็นวัสดุกันไฟได้ สำหรับคุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อนจะมีค่าใกล้เคียงกันกับร็อกวูลและไฟเบอร์กลาส

2.5.4.6 **ยิปซั่ม** ไม่จัดว่าเป็นวัสดุประเภทฉนวนกันความร้อน อย่างไรก็ตากยิปซั่มชนิดกันไฟ (ไม่ใช่แผ่นยิปซั่มที่ใช้กันอยู่ทั่วไป) จะสามารถป้องกันไฟได้ดี เหมาะสำหรับการนำมาใช้ในการป้องกันไฟไหม้ให้กับโครงสร้างอาคาร สำหรับค่าความเป็นฉนวนของแผ่นยิปซั่มจะมีเพียง 1 ใน 4 ของวัสดุฉนวนอื่นๆ ข้างต้น ดังนั้น ยิปซั่มจึงไม่เป็นฉนวนแต่ช่วยในการกันไฟได้ การใช้ยิปซั่มในอาคารส่วนใหญ่เป็นไปเพื่อความสะดวกในการตกแต่ง และเมื่อใช้ประกอบกับไฟเบอร์กลาสหรือร็อควูลแล้ว จะสามารถใช้กันเสียงได้ดีหากมีการติดตั้งที่ถูกต้อง

แผนภูมิที่ 2-4 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อน (R) ของวัสดุต่างๆ ที่ความหนา 1 นิ้ว (สุนทร บุญญาธิการ, 2542)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาตัวแปร และอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการออกแบบบ้านพักอาศัย ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม

จากสมการหาพื้นที่ผิวของรูปทรงต่างๆ สามารถสรุปตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการออกแบบบ้านพักอาศัย เพื่อลดพื้นที่เปลือกอาคาร ที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่

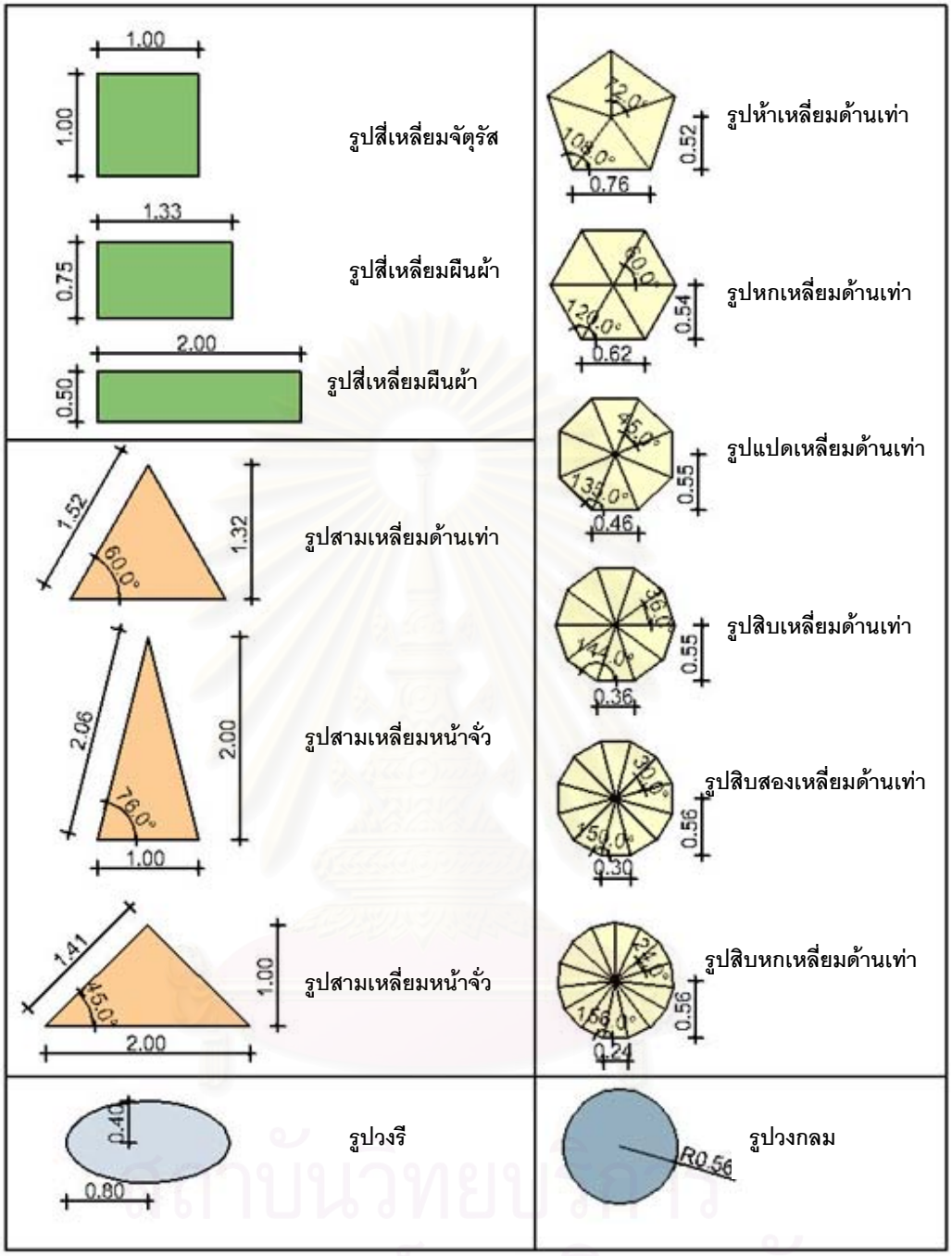
1. ขนาดและรูปแบบของผังพื้นบ้านพักอาศัย
2. รูปทรงและความสูงของบ้านพักอาศัย
3. วิธีการก่อสร้างระบบเปลือกอาคาร

3.1.1 ศึกษาขนาดและรูปแบบของผังพื้นบ้านพักอาศัย

ผังพื้นของบ้านพักอาศัยที่มีรูปแบบต่างกัน จะมีความยาวของเส้นรอบรูปต่างกัน ซึ่งความยาวของเส้นรอบรูปจะส่งผลโดยตรงต่อพื้นที่เปลือกอาคาร และค่าใช้จ่ายโดยรวม จากสมการหาพื้นที่ผิวทั่วไป คือ ความยาวเส้นรอบรูปคูณด้วยความสูง ดังนั้นรูปแบบของผังพื้นที่มีความยาวของเส้นรอบรูปมาก จะมีแนวโน้มให้พื้นที่เปลือกอาคารมีมากกว่ารูปแบบของผังพื้นที่มีความยาวของเส้นรอบรูปน้อยกว่า

การศึกษานี้จึงมุ่งแสวงหารูปแบบของผังพื้น ที่มีความยาวของเส้นรอบรูปน้อยที่สุด เพื่อให้อาคารมีพื้นที่เปลือกอาคารน้อยที่สุด ได้กำหนดขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

1. กำหนดรูปเรขาคณิตรูปแบบต่างๆ กัน ได้แก่ รูปสี่เหลี่ยม รูปสามเหลี่ยม รูปหลายเหลี่ยมด้านเท่า รูปวงรี และรูปวงกลม
2. รูปเรขาคณิตรูปแบบต่างๆ จะกำหนดให้พื้นที่ภายในเท่ากัน คือเท่ากับ 1 ตารางหน่วย จะได้ขนาดของรูปเรขาคณิตรูปแบบต่างๆ ในรูปที่ 3-1
3. ใช้สมการคำนวณหาความยาวของเส้นรอบรูปของรูปเรขาคณิตรูปแบบต่างๆ แล้วเปรียบเทียบความยาวของเส้นรอบรูปของรูปเรขาคณิตรูปแบบต่างๆ
4. กำหนดให้พื้นที่ภายในของรูปเรขาคณิตรูปแบบต่างๆ เท่ากัน คือเท่ากับ 5, 10,15, 20, 25 และ 30 ตารางหน่วย
5. ใช้สมการคำนวณหาความยาวของเส้นรอบรูปของรูปเรขาคณิตรูปแบบต่างๆ แล้วเปรียบเทียบความยาวของเส้นรอบรูปของรูปเรขาคณิตรูปแบบต่างๆ



รูปที่ 3-1 แสดงขนาดของรูปเรขาคณิตรูปแบบต่างๆ เมื่อกำหนดให้พื้นที่ภายในเท่ากัน คือเท่ากับ 1 ตารางหน่วย

3.1.2 ศึกษารูปทรง และความสูงของบ้านพักอาศัย

รูปทรงของบ้านพักอาศัย มีส่งผลโดยตรงต่อพื้นที่เปลือกอาคาร และค่าใช้จ่ายโดยรวม กล่าวคือรูปทรงที่มีพื้นที่เปลือกอาคารมากกว่า จะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมของอาคารสูงกว่ารูปทรงที่มีพื้นที่เปลือกอาคารน้อยกว่า

ดังนั้นการศึกษานี้ ต้องการที่จะแสวงหารูปทรงที่มีพื้นที่เปลือกอาคารน้อยที่สุด จากรูปแบบที่ได้จากผลการศึกษารูปแบบของผังพื้นบ้านพักอาศัยในหัวข้อที่ 3.1.1 โดยจำแนกรูปทรงที่ได้จากรูปแบบของผังพื้นดังนี้

กรณีผังพื้นเป็นรูปสี่เหลี่ยม, รูปสามเหลี่ยม และรูปหลายเหลี่ยมด้านเท่า จะกำหนดรูปทรงที่เป็นไปได้ ได้แก่ รูปทรงปริซึม และรูปทรงพีรามิดยอดแหลม

กรณีผังพื้นเป็นรูปวงรี หรือวงกลม รูปทรงที่เป็นไปได้ ได้แก่ รูปทรงกลม, รูปทรงกรวย และรูปทรงกระบอก

การเปรียบเทียบเพื่อหารูปทรงที่มีพื้นที่เปลือกอาคารน้อยที่สุด จะให้สูตรคำนวณหาพื้นที่ผิวของรูปทรงต่างๆ เปรียบเทียบกับพื้นที่ใช้สอยภายใน โดยกำหนดการศึกษาดังนี้

3.1.2.1 อิทธิพลของพื้นที่ภายในที่มีผลต่อพื้นที่เปลือกอาคารของรูปทรงต่าง ๆ โดยมีความสูงต่างกัน

ขั้นตอนในการศึกษา

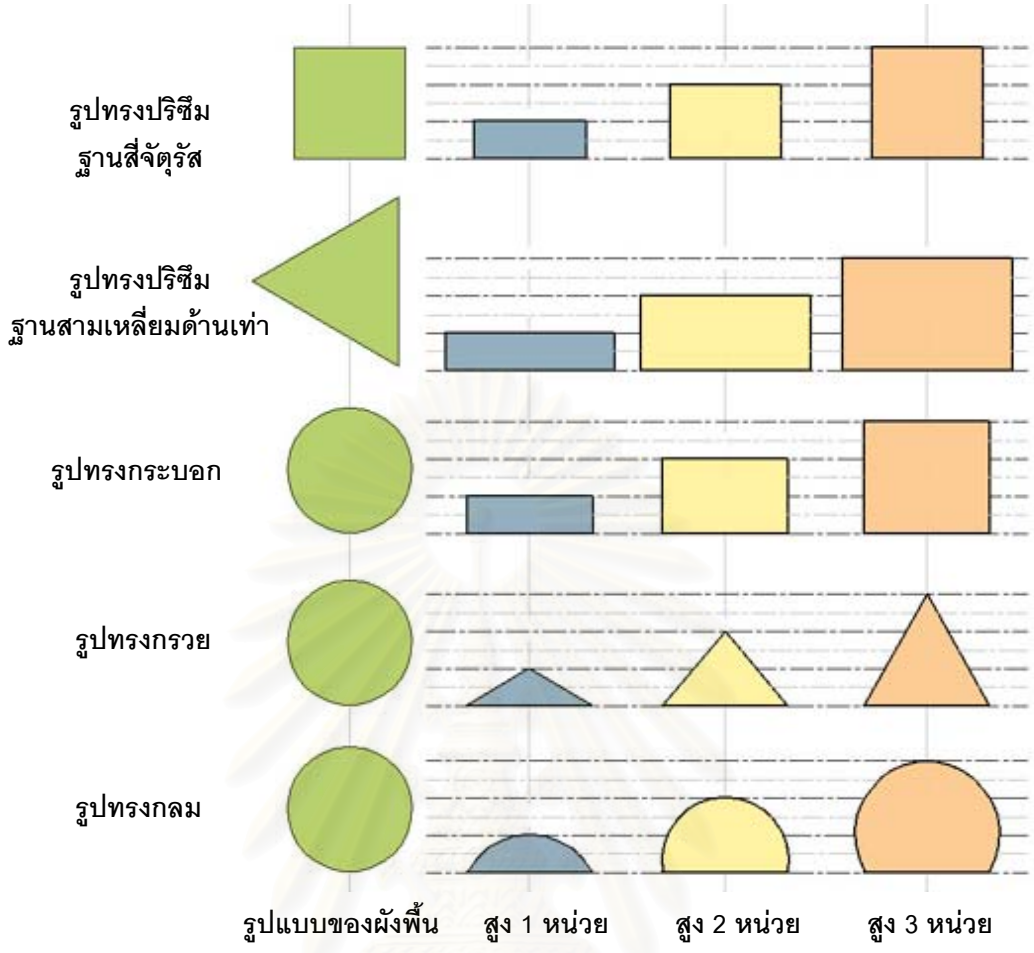
1. จากผลการศึกษารูปแบบของผังพื้นบ้านพักอาศัยในหัวข้อที่ 3.1.1 ได้กำหนดรูปทรงรูปแบบต่างๆ กัน ได้แก่ รูปทรงปริซึมฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส, รูปทรงปริซึมฐานสามเหลี่ยมด้านเท่า, รูปทรงกระบอก, รูปทรงกรวย และรูปทรงกลม

2. รูปทรงรูปแบบต่างๆ จะกำหนดให้พื้นที่ฐานเท่ากัน คือเท่ากับ 9 ตารางหน่วย และกำหนดให้มีความสูงแตกต่างกัน คือ มีความสูง 1, 2 และ 3 หน่วย จะได้ขนาดของรูปทรงรูปแบบต่างๆ ในรูปที่ 3-2

3. ใช้สมการคำนวณหาพื้นที่ผิวของรูปทรงรูปแบบต่างๆ แล้วเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ภายในของรูปทรงรูปแบบต่างๆ

4. กำหนดให้พื้นที่ภายในที่สามารถใช้สอยได้ต้องมีความสูง 1/3 หน่วย คิดจากถ้าความสูง 1 หน่วย เท่ากับ 3 เมตร ความสูง 1/3 หน่วย จะเท่ากับ 1 เมตร ซึ่งเป็นความสูงที่สามารถใช้งานได้ในกรณีที่มีชั้นวางของ หรือโต๊ะทำงาน

5. ใช้สมการคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ภายใน ของรูปทรงกรวย และรูปทรงกลม โดยใช้พื้นที่ภายในที่สามารถใช้งานได้จริง เปรียบเทียบกับอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ภายในของรูปทรงรูปแบบต่างๆ



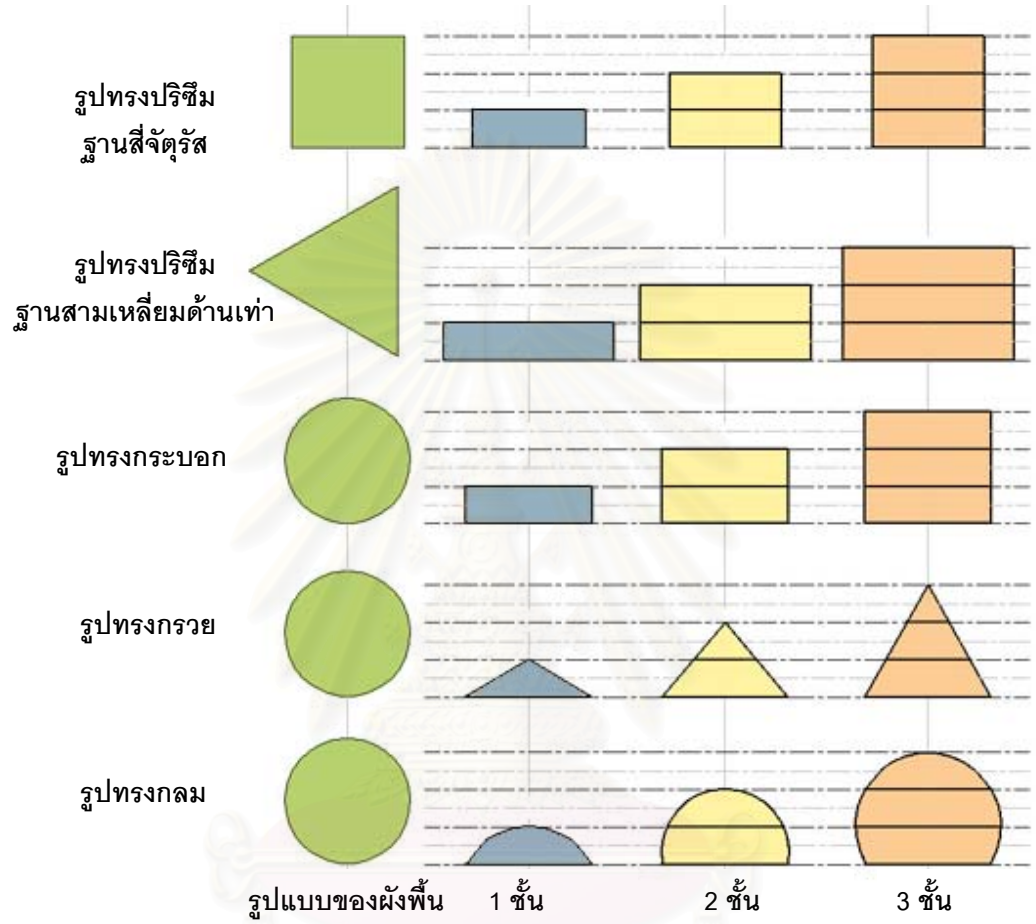
รูปที่ 3-2 แสดงลักษณะของรูปทรงต่างๆ ที่มีพื้นที่ภายในเท่ากัน แต่มีความสูงแตกต่างกัน

3.1.2.2 อิทธิพลของพื้นที่ภายในที่มีผลต่อพื้นที่เปลือกอาคารของรูปทรงต่าง ๆ โดยมีจำนวนชั้น และความสูงต่างกัน

ขั้นตอนในการศึกษา

1. กำหนดรูปทรงรูปแบบต่างๆ กันตามหัวข้อ 3.1.2.1 ได้แก่ รูปทรงปริซึมฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส, รูปทรงปริซึมฐานสามเหลี่ยมด้านเท่า, รูปทรงกระบอก, รูปทรงกรวย และรูปทรงกลม
2. รูปทรงรูปแบบต่างๆ จะกำหนดให้พื้นที่ฐานเท่ากัน คือเท่ากับ 9 ตารางหน่วย และกำหนดให้มีความสูงแตกต่างกันตามจำนวนชั้น คือ แต่ละชั้นจะมีความสูง 1 หน่วย จะได้ขนาดของรูปทรงรูปแบบต่างๆ ในรูปที่ 3-3
3. ใช้สมการคำนวณหาพื้นที่ผิวของรูปทรงรูปแบบต่างๆ แล้วเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ภายในของรูปทรงรูปแบบต่างๆ
4. กำหนดให้พื้นที่ภายในที่สามารถใช้สอยได้ต้องมีความสูง 1/3 หน่วย

5. ใช้สมการคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ภายใน ของรูปทรงกรวย และรูปทรงกลม โดยใช้พื้นที่ภายในที่สามารถใช้งานได้จริง เปรียบเทียบกับอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ภายในของรูปทรงรูปแบบต่างๆ



รูปที่ 3-3 แสดงลักษณะของรูปทรงต่างๆ ที่มีพื้นที่ฐานเท่ากัน แต่มีความสูงแตกต่างกันตามจำนวนชั้น โดยแต่ละชั้นจะมีความสูง 1 หน่วย

3.1.2.3 อิทธิพลของพื้นที่ภายในที่มีผลต่อพื้นที่เปลือกอาคารของรูปทรงต่าง ๆ โดยมีความสูงเท่ากัน

ขั้นตอนในการศึกษา

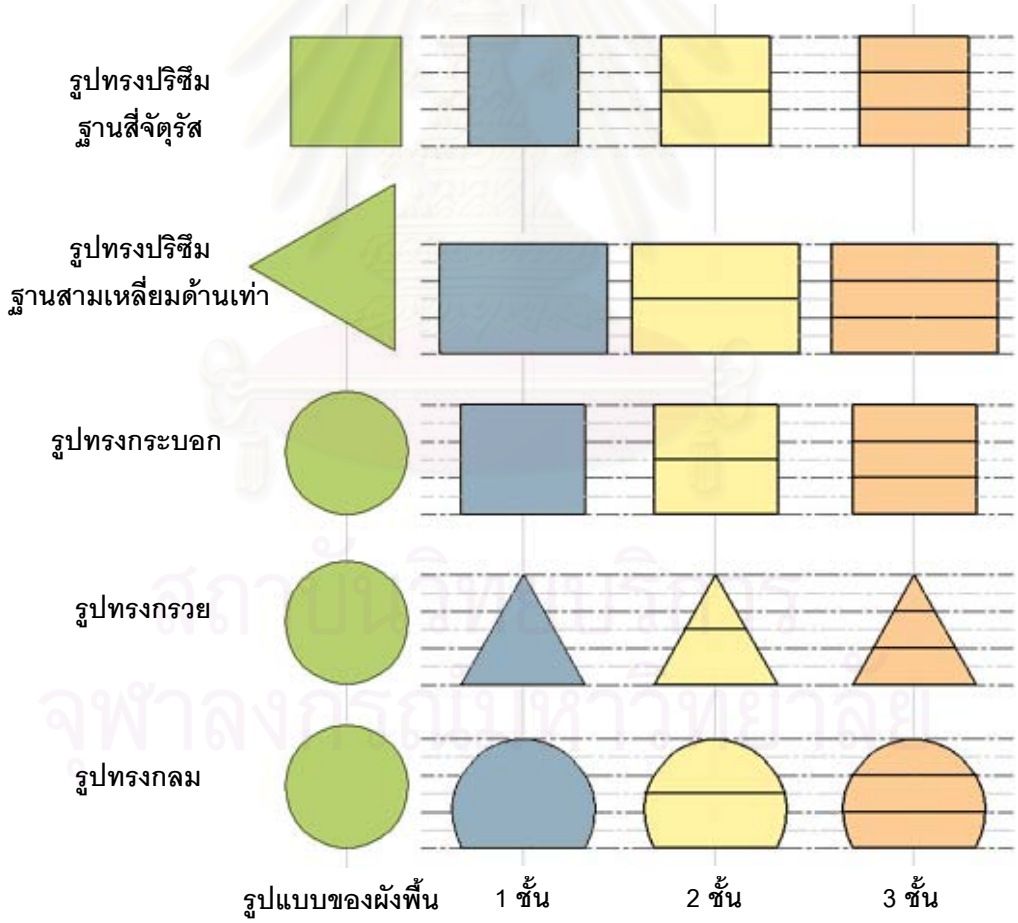
1. กำหนดรูปทรงรูปแบบต่างๆ กันตามหัวข้อ 3.1.2.1 ได้แก่ รูปทรงปริซึมฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส, รูปทรงปริซึมฐานสามเหลี่ยมด้านเท่า, รูปทรงกระบอก, รูปทรงกรวย และรูปทรงกลม

2. รูปทรงรูปแบบต่างๆ จะกำหนดให้พื้นที่ฐานเท่ากัน คือเท่ากับ 9 ตารางหน่วย และกำหนดให้มีความสูงของแต่ละรูปทรงเท่ากัน แต่มีจำนวนชั้นไม่เท่ากัน จะได้ขนาดของรูปทรงรูปแบบต่างๆ ในรูปที่ 3-4

3. ใช้สมการคำนวณหาพื้นที่ผิวของรูปทรงรูปแบบต่างๆ แล้วเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ภายในของรูปทรงรูปแบบต่างๆ

4. กำหนดให้พื้นที่ภายในที่สามารถใช้สอยได้ต้องมีความสูง 1/3 ของความสูงแต่ละชั้น

5. ใช้สมการคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ภายใน ของรูปทรงกรวย และรูปทรงกลม โดยใช้พื้นที่ภายในที่สามารถใช้งานได้จริง เปรียบเทียบกับอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ภายในของรูปทรงรูปแบบต่างๆ



รูปที่ 3-4 แสดงลักษณะของรูปทรงต่างๆ ที่มีพื้นที่ฐานเท่ากัน มีจำนวนชั้นต่างกัน โดยแต่ละรูปทรงจะมีความสูงเท่ากัน

3.1.3 ศึกษาวิธีการก่อสร้างระบบเปลือกอาคารที่เหมาะสม

การศึกษาวิธีการก่อสร้างระบบเปลือกอาคารที่เหมาะสม สำหรับบ้านพักอาศัยขนาดเล็ก ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคาร และค่าใช้จ่ายโดยรวม จะมุ่งเน้นศึกษาเฉพาะวิธีการก่อสร้างเปลือกอาคารในส่วนทึบ เนื่องจากเปลือกอาคารในส่วนช่องเปิด และงานอื่นๆ จะกำหนดให้เป็นตัวแปรควบคุม กำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับวิธีการก่อสร้างระบบเปลือกอาคารเปรียบเทียบกับพื้นที่เปลือกอาคาร 1 ตารางเมตร ดังนี้

1. ราคาวัสดุก่อสร้างเปลือกอาคาร ใช้ราคาขายปลีกที่สามารถซื้อวัสดุได้จริงจากร้านขายวัสดุก่อสร้างทั่วไป ในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ.2546 – เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ประกอบกับราคาจากหนังสือราคาค่าก่อสร้างต่อหน่วยสำเร็จรูป (อัลฟา ทีม:2545)

2. ระยะเวลาในการก่อสร้างเปลือกอาคาร เปรียบเทียบระยะเวลาจากประสบการณ์ในการทำงาน ประกอบกับหนังสือราคาค่าก่อสร้างต่อหน่วยสำเร็จรูป (อัลฟา ทีม:2545) และคู่มือรวมข้อมูลก่อสร้าง (นรมิตร ลิ่วธนมงคล: 2538)

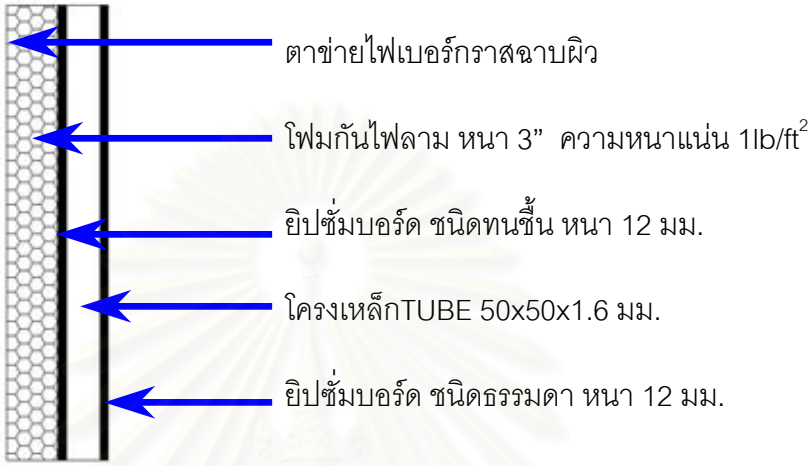
ตารางที่ 3-1 แสดงรายละเอียดปริมาณงานที่ทำได้ต่อจำนวนคนงานต่อวัน

รายการ	หน่วย	ปริมาณงาน	จำนวนคน	เวลา
ติดตั้งผนังฉนวนกันความร้อนภายนอกสำเร็จรูป พร้อมฉาบผิว	ตร.ม.	40	4	วัน
ติดตั้งผนังคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป พร้อมฉาบผิว	ตร.ม.	20	2	วัน
ติดตั้งโครงเหล็ก	ก.ก.	125	2	วัน
ดัดเหล็ก ผูกเหล็ก	ก.ก.	80	1	วัน
ติดตั้งแบบหล่อคอนกรีต	ตร.ม.	10	2	วัน
พ่นคอนกรีต ด้วยเครื่องพ่น	ตร.ม.	30	1	วัน
พ่นสีด้วยเครื่องพ่น	ตร.ม.	30	1	วัน
พันฉนวน พร้อมยึดติด	ม.	800	2	วัน
ผนังยิปซั่มบอร์ด	ตร.ม.	40	2	วัน
ฉาบรอยต่อผนังยิปซั่ม	ตร.ม.	21	1	วัน
ติดตั้งฉนวนใยแก้ว	ตร.ม.	21	1	วัน

3. น้ำหนักของเปลือกอาคาร คิดจากข้อมูลของบริษัทผู้ผลิตวัสดุ และคำนวณจากความหนาแน่นที่อ้างอิงจากหนังสือ ASHRAE Handbook Fundamentals: 2001

ดังนั้นการเลือกวิธีการก่อสร้างเปลือกอาคาร ได้กำหนดวิธีการก่อสร้างที่สามารถก่อสร้างเปลือกอาคารได้กับรูปทรงอาคารทุกรูปทรง และสามารถป้องกันความร้อน ความชื้นได้ดี

3.1.3.1 ผนังฉนวนกันความร้อนภายนอกสำเร็จรูป



รูปที่ 3-5 แสดงส่วนประกอบของผนังฉนวนกันความร้อนภายนอกสำเร็จรูป

ขั้นตอนในการทำผนังสำเร็จรูป

1. ทาสีกันสนิมเหล็ก TUBE 50x50x1.6 มม.
2. ตัดเหล็ก TUBE 50x50x1.6 มม. ตามขนาด และเชื่อมติดกันเป็นโครง ทาสีกันสนิมบริเวณรอยต่อ
3. ตัดแผ่นยิปซั่มบอร์ดกันชื้น ตามแบบ และยิงแผ่นยึดติดกับโครงเหล็กด้วยสกูรปลายสว่าน
4. ตัดแผ่นโฟมกันไฟลาม ยึดติดบนยิปซั่มบอร์ดกันชื้น ด้วย Base Coat พร้อมทั้งติดตะข่ายฉนวนใยแก้วสีฟ้าบนโฟม ฉาบ Base Coat ทับ

เครื่องมือที่ใช้ในการทำผนังสำเร็จรูป

- เครื่องตัดเหล็ก
- เครื่องเชื่อมเหล็ก และอุปกรณ์
- สว่านไฟฟ้า
- คัตเตอร์
- ตลับเมตร
- อุปกรณ์วัดมุม และระดับ
- แปรงทาสี

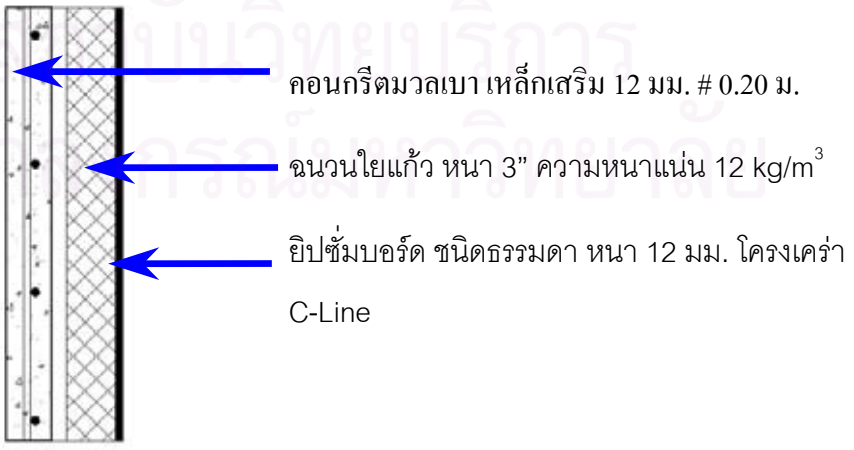
ขั้นตอนในการติดตั้งผนังสำเร็จรูป

1. ติดตั้งผนังสำเร็จรูปแต่ละชิ้นส่วนเชื่อมติดกัน พร้อมทั้งวัดระดับให้เท่ากัน
2. อุดรอยต่อภายนอกด้วยโฟมกันไฟลาม ติดตะข่ายฉนวนใยแก้วสีฟ้าบนโฟม ฉาบ Base Coat ทับ
3. ขัดผิวผนังให้เรียบด้วยกระดาษทรายหยาบ
4. ฉาบผิวผนังด้วย Fisnich Coat
5. ตัดแผ่นยิปซั่มบอร์ด ตามแบบ และยิงแผ่นยึดติดกับโครงเหล็กภายในด้วยสกูรปลายสว่าน
6. ปิดรอยต่อยิปซั่ม ด้วยผ้าฉาบยิปซั่ม ฉาบผนังยิปซั่ม และทาสี

เครื่องมือที่ใช้ในการติดตั้งผนังสำเร็จรูป

- เครื่องเชื่อมเหล็ก และอุปกรณ์
- สว่านไฟฟ้า
- เกรียงฉาบ
- คัตเตอร์
- ตลับเมตร
- อุปกรณ์วัดมุม และระดับ
- ค้ำยัน
- นั่งร้าน

3.1.3.2 ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป บุฉนวนกันความร้อนภายใน



รูปที่ 3-6 แสดงส่วนประกอบของผนังคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป บุฉนวนกันความร้อนภายใน

ขั้นตอนในการทำผนังสำเร็จรูป

1. ประกอบแบบหล่อผนัง
2. ผูกเหล็กเสริม DB 12 มม. #0.20 ม. ตามขนาดผนัง ในแบบหล่อผนัง
3. เทคอนกรีตในแบบหล่อผนัง

เครื่องมือที่ใช้ในการทำผนังสำเร็จรูป

- แบบหล่อผนัง
- กรรไกรตัดเหล็ก
- คีมตัดลวด
- ตลับเมตร
- อุปกรณ์วัดมุม และระดับ

ขั้นตอนในการติดตั้งผนังสำเร็จรูป

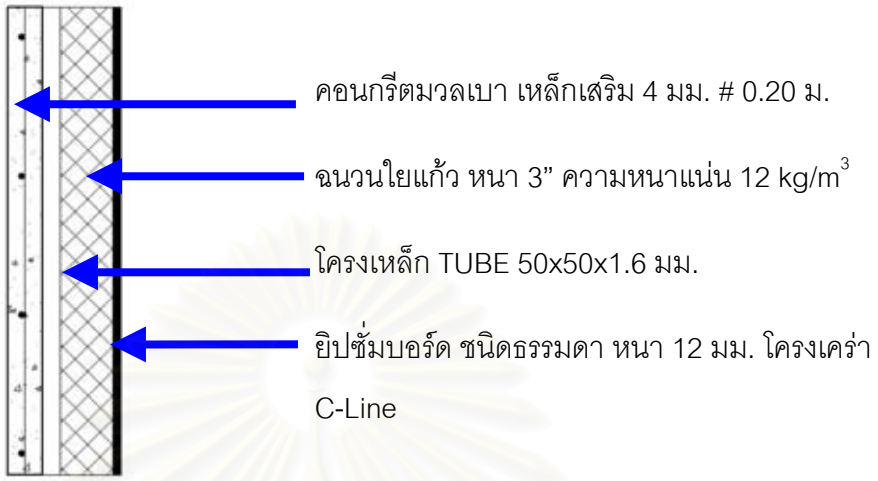
1. ติดตั้งผนังสำเร็จรูปแต่ละชิ้นส่วนเชื่อมติดกัน พร้อมทั้งวัดระดับให้เท่ากัน
2. อุดรอยต่อภายนอกด้วยปูนทราย
3. ฉาบผิวผนัง
4. ติดตั้งโครงเคร่า C-LINE ยึดติดกับผนังสำเร็จรูป
5. ปูฉนวนใยแก้ว หนา 3” ระหว่างผนังสำเร็จรูปกับโครงเคร่า
6. ตัดแผ่นยิปซั่มบอร์ด ตามแบบ และยิงแผ่นยึดติดกับโครงเคร่าภายในด้วยสกูรดำ
7. ปิดรอยต่อยิปซั่ม ด้วยผ้าฉาบยิปซั่ม ฉาบผนังยิปซั่ม และทาสีภายใน

เครื่องมือที่ใช้ในการติดตั้งผนังสำเร็จรูป

- เครื่องเชื่อมเหล็ก และอุปกรณ์
- สว่านไฟฟ้า
- เกรียงฉาบ
- คีมตัดลวด
- คัตเตอร์
- ตลับเมตร
- อุปกรณ์วัดมุม และระดับ
- ค้ำยัน
- นั่งร้าน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.3.3 ผนังโครงเหล็ก พ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอก บุฉนวนกันความร้อนภายใน



รูปที่ 3-7 แสดงส่วนประกอบของผนังโครงเหล็ก พ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอก บุฉนวนกันความร้อนภายใน

ขั้นตอนในการทำโครงเหล็ก

1. ทาสีกันสนิมเหล็ก TUBE 50x50x1.6 มม.
2. ตัดเหล็ก TUBE 50x50x1.6 มม. ตามขนาด และเชื่อมติดกันเป็นโครง ทาสีกันสนิมบริเวณรอยต่อ

เครื่องมือที่ใช้ในการทำโครงเหล็ก

- เครื่องตัดเหล็ก
- เครื่องเชื่อมเหล็ก และอุปกรณ์
- ตลับเมตร
- อุปกรณ์วัดมุม

ขั้นตอนในการติดตั้งผนัง

1. ติดตั้งและเชื่อมโครงเหล็ก ตามแบบ พร้อมทั้งวัดระดับให้เท่ากัน
2. ปูตะแกรงเหล็กสำเร็จรูป ขนาด 4 มม. ยึดติดกับโครงเหล็ก
3. ติดตั้งแบบสำเร็จรูป
4. พ่นคอนกรีต และฉาบผิวภายนอกให้เรียบ
5. พ่นสี หรือสารเคลือบผิว ทับคอนกรีตภายนอก
6. ติดตั้งโครงเคร่า C-LINE ยึดติดกับโครงเหล็ก
7. ปูฉนวนใยแก้ว หนา 3” ระหว่างผนังคอนกรีตกับโครงเคร่า

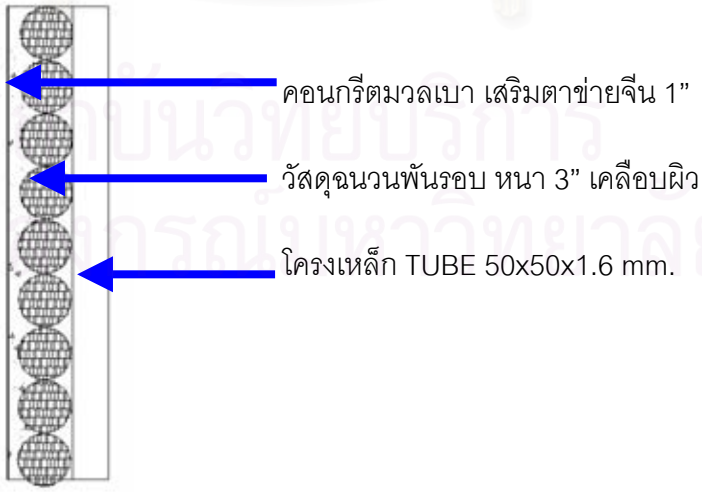
8. ตัดแผ่นยิปซั่มบอร์ด ตามแบบ และยิงแผ่นยึดติดกับโครงเคร่าภายในด้วยสกูรดำ

9. ปิดรอยต่อยิปซั่ม ด้วยผ้าฉาบยิปซั่ม ฉาบผนังยิปซั่ม และทาสีภายใน

เครื่องมือที่ใช้ในการติดตั้งผนัง

- เครื่องตัดเหล็ก
- เครื่องเชื่อมเหล็ก และอุปกรณ์
- ไม้แบบ
- อุปกรณ์พ่นคอนกรีต
- ปั้มลม
- กรรไกรตัดเหล็ก
- สว่านไฟฟ้า
- เกรียงฉาบ
- คีมตัดลวด
- คัตเตอร์
- ตลับเมตร
- อุปกรณ์วัดมุม และระดับ
- นั่งร้าน

3.1.3.4 ผนังโครงเหล็ก ใช้ฉนวนพันรอบ พ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอก



รูปที่ 3-8 แสดงส่วนประกอบของผนังโครงเหล็ก ใช้ฉนวนพันรอบ พ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอก

ขั้นตอนในการทำโครงเหล็ก

1. ทาสีกันสนิมเหล็ก TUBE 50x50x1.6 มม.
2. ตัดเหล็ก TUBE 50x50x1.6 มม. ตามขนาด และเชื่อมติดกันเป็นโครง ทาสีกันสนิมบริเวณรอยต่อ

เครื่องมือที่ใช้ในการทำโครงเหล็ก

- เครื่องตัดเหล็ก
- เครื่องเชื่อมเหล็ก และอุปกรณ์
- ตลับเมตร
- อุปกรณ์วัดมุม

ขั้นตอนในการติดตั้งผนัง

1. ติดตั้งและเชื่อมโครงเหล็ก ตามแบบ พร้อมทั้งวัดระดับให้เท่ากัน
2. ใช้ฉนวนที่มีลักษณะเป็นเส้นพันรอบโครงเหล็กภายนอก โดยพันจากยอดของอาคารลงมา และยึดฉนวนติดกับโครงเหล็ก
3. ติดตั้งตาข่ายจีน ขนาด 1” ยึดติดกับฉนวนเส้น
4. พ่นคอนกรีต และฉาบผิวภายนอกให้เรียบ
5. พ่นสี หรือสารเคลือบผิว ทับคอนกรีตภายนอก
6. พ่นหรือเคลือบผิวฉนวนภายใน ด้วยสารกันความชื้น

เครื่องมือที่ใช้ในการติดตั้งผนัง

- เครื่องตัดเหล็ก
- เครื่องเชื่อมเหล็ก และอุปกรณ์
- ไม้แบบ
- อุปกรณ์พ่นคอนกรีต
- ปั้มลม
- กรรไกรตัดเหล็ก
- สว่านไฟฟ้า
- เกรียงฉาบ
- คีมตัดลวด
- คัตเตอร์
- ตลับเมตร
- อุปกรณ์วัดมุม และระดับ
- นั่งร้าน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 การประยุกต์ใช้ตัวแปรต่างๆ ในการออกแบบบ้านพักอาศัย ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคาร และค่าใช้จ่ายโดยรวม

3.2.1 ขนาดและรูปแบบของผังพื้นบ้านพักอาศัย

การศึกษาพื้นที่ใช้สอยในการออกแบบบ้านพักอาศัย เพื่อหาพื้นที่ใช้สอยรวมทั้งหมดของบ้านพักอาศัย ที่ใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบบ้านพักอาศัย ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม โดยการกำหนดพื้นที่ใช้สอยในส่วนต่างๆ ได้แก่ ส่วนรับแขก ครัวและส่วนรับประทานอาหาร ห้องน้ำ และห้องนอน

กำหนดให้มีผู้อยู่อาศัยภายในบ้านพักอาศัยจำนวน 2-4 คน และใช้พื้นที่ใช้สอยตามรูปแบบจากหนังสือ TIME-SAVER STANDARDS FOR HOUSING and RESIDENTIAL DEVELOPMENT เป็นเกณฑ์ในการหาพื้นที่ใช้สอยที่ใช้ในการออกแบบบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็ก ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม

พื้นที่ใช้สอยที่ได้จากหนังสือ TIME-SAVER STANDARDS FOR HOUSING and RESIDENTIAL DEVELOPMENT จะนำมากำหนดรูปแบบการจัดพื้นที่ใช้สอยในส่วนต่างๆ โดยแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ เพื่อหาพื้นที่ใช้สอยรวมที่ใช้ในการออกแบบ ได้แก่

- รูปแบบที่ 1 มีพื้นที่ใช้สอยน้อย
- รูปแบบที่ 2 มีพื้นที่ใช้สอยปานกลาง
- รูปแบบที่ 3 มีพื้นที่ใช้สอยมาก

เมื่อรวมพื้นที่ใช้สอยในส่วนต่างๆ ของแต่ละรูปแบบ จะได้พื้นที่ใช้สอยรวมที่ใช้ในการออกแบบบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็ก ด้วยการพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม โดย

- ผลรวมของรูปแบบที่ 1 จะเป็นพื้นที่ใช้สอยที่ต้องการอย่างน้อยที่สุด
- ผลรวมของรูปแบบที่ 2 จะเป็นพื้นที่ใช้สอยที่ต้องการในระดับปานกลาง
- ผลรวมของรูปแบบที่ 3 จะเป็นพื้นที่ใช้สอยที่ต้องการมากที่สุด

เมื่อได้พื้นที่ใช้สอยรวม ที่ใช้ในการออกแบบบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็ก ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวมแล้ว จะทำให้สามารถทราบถึงรัศมีของวงกลม และเส้นรอบรูปของวงกลมที่จะเป็นเปลือกอาคารนั้น จึงกำหนดรูปหลายเหลี่ยมด้านเท่าขึ้นมาแทนวงกลม โดยให้พื้นที่ภายในรูปหลายเหลี่ยมด้านเท่าใกล้เคียงกับพื้นที่ใช้สอยที่ได้จากข้อ 3.1.1 ได้แก่

- รูป 10 เหลี่ยมด้านเท่า
- รูป 12 เหลี่ยมด้านเท่า
- รูป 16 เหลี่ยมด้านเท่า

สมการที่ใช้หาพื้นที่ และความยาวรอบรูปของวงกลมคือ

พื้นที่วงกลม = πR^2

ความยาวเส้นรอบรูปของวงกลม = $2\pi R$

โดยที่ R = รัศมีของวงกลม

ความยาวด้านแต่ละด้านของรูปหลายเหลี่ยมด้านเท่า ควรจะมีความยาวอยู่ในระบบของขนาดวัสดุที่เลือกใช้ในการก่อสร้าง (แผ่นยิปซั่ม, แผ่นไม้อัด, เป็นต้น) เช่น ความยาวด้านละ 0.60, 0.90, 1.20,.... เป็นต้น จึงได้กำหนดความยาวของรูปหลายเหลี่ยมด้านเท่าโดยคำนึงถึงขนาดที่สามารถจะขนส่งและยกติดตั้งได้โดยใช้แรงงานคน, จำนวนชิ้นส่วนสำเร็จรูป และน้ำหนักโดยประมาณของแต่ละชิ้นส่วนสำเร็จรูป ได้แก่

- ความยาวด้านละ 0.90 เมตร
- ความยาวด้านละ 1.20 เมตร
- ความยาวด้านละ 1.50 เมตร
- ความยาวด้านละ 1.80 เมตร

สมการที่ใช้หาพื้นที่ของรูปหลายเหลี่ยมด้านเท่า คือ

$$\textbf{พื้นที่รูปหลายเหลี่ยมด้านเท่า} = \frac{na^2 \times \cot\left(\frac{360}{2n}\right)}{4}$$

$$= \frac{nR^2 \times \sin\left(\frac{360}{n}\right)}{2}$$

$$= nr^2 \times \tan\left(\frac{360}{2n}\right)$$

$$= \frac{na\sqrt{4R^2 - a^2}}{4}$$

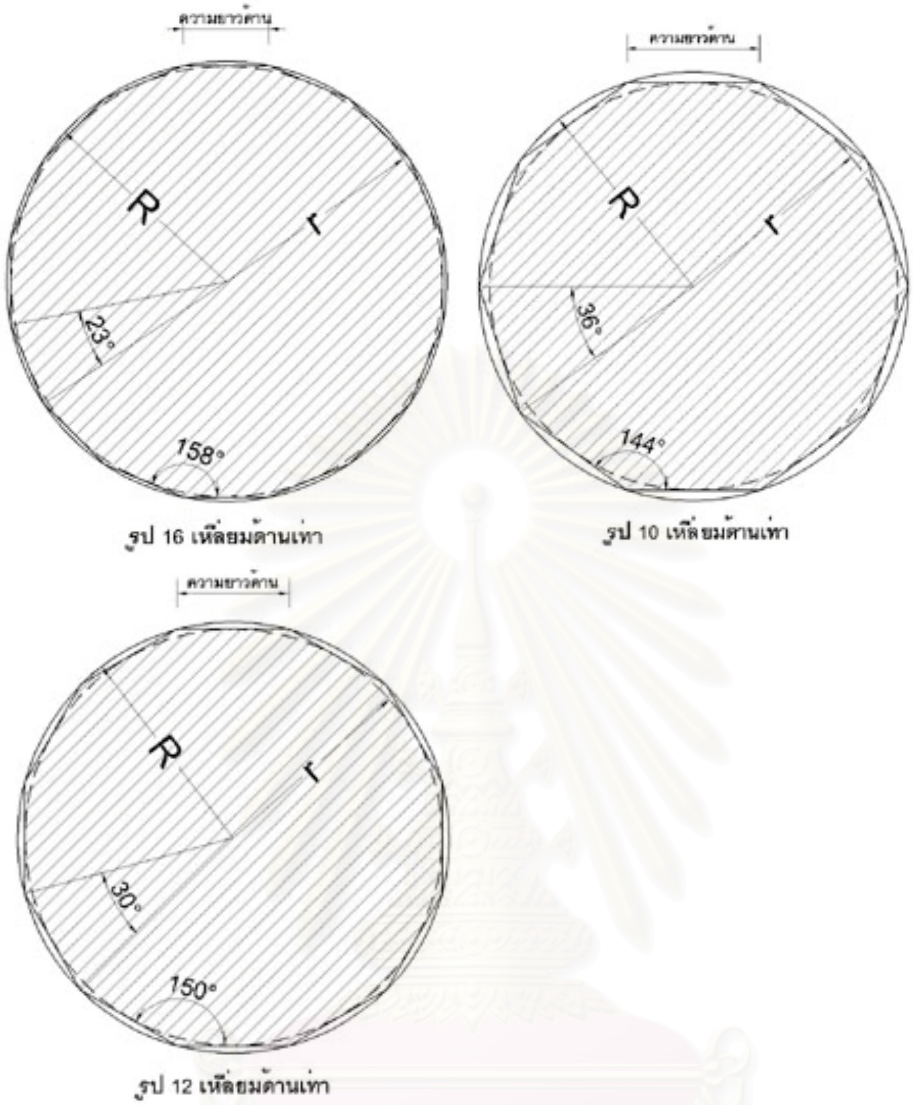
โดยที่ n = จำนวนด้านของรูปหลายเหลี่ยมด้านเท่า

a = ความยาวของแต่ละด้านของรูปหลายเหลี่ยมด้านเท่า

R = รัศมีของวงกลมที่อยู่ภายนอกรูปหลายเหลี่ยมด้านเท่า

r = รัศมีของวงกลมที่อยู่ภายมรรูปหลายเหลี่ยมด้านเท่า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



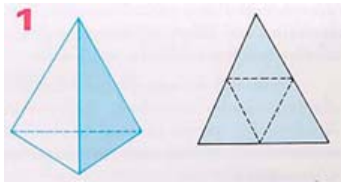
รูปที่ 3-9 แสดงลักษณะต่างๆ ทางเรขาคณิต ของรูป 10, 12 และ16 เหลี่ยมด้านเท่า

3.2.2 รูปทรง และความสูงของบ้านพักอาศัย

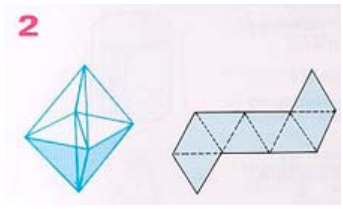
ผลจากการศึกษาพื้นที่ใช้สอยในการออกแบบบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็ก ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคาร ในหัวข้อที่ 3.2.1 จะใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบรูปทรงและความสูงของบ้านพักอาศัย โดยคำนึงถึงความสูงที่มนุษย์สามารถเข้าไปใช้สอยได้ รูปแบบที่เป็นไปได้ในการออกแบบรูปทรงบ้านพักอาศัยให้ใกล้เคียงกับรูปทรงกลมมากที่สุด และขนาดชิ้นส่วน วิธีการก่อสร้างที่เป็นไปได้ เพื่อให้บ้านพักอาศัยที่ออกแบบมีราคาค่าก่อสร้างต่ำที่สุด

โดยศึกษาจากรูปทรงที่มีผิวหน้าเป็นรูปหลายเหลี่ยมด้านเท่าเท่ากันทุกหน้า ที่สามารถคลุมพื้นที่เป็นรูปวงกลมหรือรูปหลายเหลี่ยมที่ใกล้เคียงกับรูปวงกลมได้ มีรูปแบบ 5 รูปแบบ ดังนี้ (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่มที่ 6: 2525)

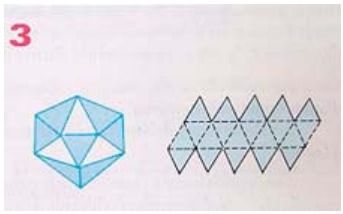
1. รูปเตตราเฮดรอน (Tetrahedron) ลักษณะผิวหน้าเป็นรูปสามเหลี่ยม มีผิวหน้า (Face) 4 หน้า จุดยอดมุม (Vertex) 4 จุด เส้นขอบ (Edge) 6 เส้น



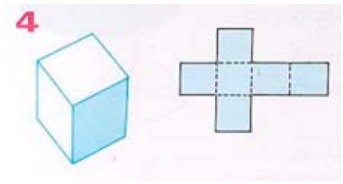
2. รูปออคตาเฮดรอน (Octahedron) ลักษณะผิวหน้าเป็นรูปสามเหลี่ยม มีผิวหน้า 8 หน้า จุดยอดมุม 6 มุม เส้นขอบ 12 เส้น



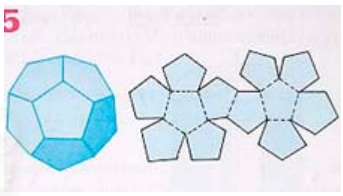
3. รูปอิโคซาเฮดรอน (Icosahedron) ลักษณะผิวหน้าเป็นรูปสามเหลี่ยม มีผิวหน้า 20 หน้า จุดยอดมุม 12 มุม เส้นขอบ 30 เส้น



4. รูปเหลี่ยมลูกบาศก์ (Cube) ลักษณะผิวหน้าเป็นรูปสี่เหลี่ยม มีผิวหน้า 6 หน้า จุดยอดมุม 8 มุม เส้นขอบ 12 เส้น



5. รูปโดเดคาเฮดรอน (Dodecahedron) ลักษณะผิวหน้าเป็นรูปห้าเหลี่ยม มีผิวหน้า 12 หน้า จุดยอดมุม 20 มุม เส้นขอบ 30 เส้น



รูปที่ 3-10 แสดงลักษณะของลูกฟุตบอลเมื่อปรับพื้นผิวให้เรียบ เพื่อศึกษาชิ้นส่วนประกอบเปลือกอาคารให้เป็นรูปทรงกลม

3.2.3 วิธีการก่อสร้างระบบเปลือกอาคารที่เหมาะสม

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ เพื่อศึกษาวิธีการก่อสร้างระบบเปลือกอาคารที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม จึงใช้รูปแบบของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ มาศึกษารูปแบบและขนาดของชิ้นส่วนประกอบเปลือกอาคารตามวิธีการก่อสร้างระบบเปลือกอาคารที่ได้ทำการศึกษาในหัวข้อที่ 3.1.3 ได้แก่ ผนังฉนวนกันความร้อนภายนอกสำเร็จรูป, ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป บุฉนวนกันความร้อนภายใน, ผนังโครงเหล็ก พ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอก บุฉนวนกันความร้อนภายใน และผนังโครงเหล็ก ใช้ฉนวนพันรอบ พ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอก โดยคำนึงถึง

1. ขนาดและจำนวนของชิ้นส่วนประกอบเปลือกอาคาร ซึ่งจำกัดตามน้ำหนักที่คนสามารถจะขนย้าย ติดตั้งได้ โดยไม่อาศัยเครื่องจักรกล
2. จำนวนรอยต่อที่เกิดจากการประกอบชิ้นส่วนเปลือกอาคาร ให้มีรอยต่อน้อยที่สุด เนื่องจากรอยต่อมีผลโดยตรงต่อราคาค่าก่อสร้างอาคารให้สูงขึ้น
3. วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างให้เหลือเศษน้อยที่สุด

3.2.4 การขยายต่อเติม และขนาดของที่ดิน

การศึกษาการขยายต่อเติมของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการต่อเติมของบ้านพักอาศัย โดยยังคงสภาวะการอยู่อาศัยที่ดีภายในบ้าน เมื่อมีการต่อเติมก็ยังคงสามารถอยู่อาศัยในบ้านได้เป็นอย่างดี

ขนาดของที่ดินจะศึกษาขนาดของที่ดินที่เล็กที่สุดในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม แบ่งออกเป็น

- ขนาดของที่ดินในการก่อสร้างบ้าน 1 หลัง
- ขนาดของที่ดินในการก่อสร้างบ้าน 2 หลัง
- ขนาดของที่ดินในการก่อสร้างบ้าน 3 หลัง
- ขนาดของที่ดินในการก่อสร้างบ้าน 4 หลัง

3.3 ประเมินค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการก่อสร้างโดยรวมของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ

ในการศึกษาการประเมินค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการก่อสร้างโดยรวมของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม เปรียบเทียบกับบ้านพักอาศัยขนาดเล็กโดยทั่วไป ในงานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบกับบ้านเดี่ยวสูง 2 ชั้น ของโครงการบ้านเอื้ออาทร

3.3.1 ปริมาณและราคาวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง

ปริมาณและราคาวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม เปรียบเทียบกับบ้านพักอาศัยขนาดเล็กโดยทั่วไป ในงานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบกับบ้านเดี่ยวสูง 2 ชั้น ของโครงการบ้านเอื้ออาทร โดยใช้ข้อมูลราคาขายปลีกที่สามารถซื้อวัสดุได้จริง จากร้านขายวัสดุก่อสร้างทั่วไป ในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ.2546 – เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ประกอบกับราคาจากหนังสือราคาค่าก่อสร้างต่อหน่วยสำเร็จรูป (อัลฟา ทีม:2545) จำแนกค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างแบ่งเป็น

1. หมวดงานโครงสร้าง
2. หมวดงานเปลือกอาคารส่วนทึบ
3. หมวดงานผนังภายใน
4. หมวดงานผิวพื้น
5. หมวดงานประตู-หน้าต่าง
6. หมวดงานบันได ราวระเบียง
7. หมวดงานสุขภัณฑ์
8. หมวดงานระบบบำบัดน้ำเสีย
9. หมวดงานระบบน้ำประปา
10. หมวดงานไฟฟ้าแสงสว่าง
11. หมวดงานโทรศัพท์และโทรทัศน์

สำหรับบ้านพักอาศัยขนาดเล็กโดยทั่วไป ที่ใช้เปรียบเทียบในงานวิจัยนี้ จะรวมหมวดงานเปลือกอาคารส่วนทึบ และหมวดงานผนังภายใน แล้วแบ่งเป็น หมวดงานผนัง, หมวดงานหลังคา และหมวดงานฝ้าเพดาน ทั้งนี้เนื่องจากระบบการก่อสร้างอาคารที่แตกต่างกัน ทำให้หมวดงานเปลือกอาคารของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบจะรวมหมวดงานหลังคา และหมวดงานฝ้าเพดานเป็นหมวดงานเดียวกัน

3.3.2 ระยะเวลาในการก่อสร้าง

ระยะเวลาในการก่อสร้างบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม เปรียบเทียบกับบ้านพักอาศัยขนาดเล็กโดยทั่วไปที่มีความเร็วในการก่อสร้าง 1.40 ตารางเมตรต่อวัน (นรมิตร ลิ่วธนมงคล: 2538) ในงานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบกับบ้านเดี่ยวสูง 2 ชั้น ของโครงการบ้านเอื้ออาทร โดยใช้ข้อมูลระยะเวลาในการก่อสร้างจากประสบการณ์ในการทำงาน ประกอบกับหนังสือราคาค่าก่อสร้างต่อหน่วยสำเร็จรูป และคู่มือรวมข้อมูลก่อสร้าง (นรมิตร ลิ่วธนมงคล: 2538)

3.4 ประเมินศักยภาพในการประหยัดพลังงานของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ

ศักยภาพในการประหยัดพลังงานของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ สำหรับครอบครัวขนาดเล็ก ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม เปรียบเทียบกับบ้านพักอาศัยขนาดเล็กโดยทั่วไป ในงานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบกับบ้านเดี่ยวสูง 2 ชั้น ของโครงการบ้านเอื้ออาทร โดยมีลายระเอียดดังนี้

-	ชั้นที่ 1 มีพื้นที่ใช้สอยรวม	30	ตารางเมตร
	มีพื้นที่ในส่วนที่มีการปรับอากาศ	16	ตารางเมตร
-	ชั้นที่ 2 มีพื้นที่ใช้สอยรวม(ปรับอากาศ)	25	ตารางเมตร
-	รวมพื้นที่ทั้งสิ้น	55	ตารางเมตร
	รวมพื้นที่ในส่วนที่มีการปรับอากาศทั้งสิ้น	41	ตารางเมตร
-	ความสูงระหว่างพื้นชั้นที่ 1 ถึงพื้นชั้นที่ 2	2.60	เมตร
	ความสูงระหว่างพื้นชั้นที่2 ถึงคานรับหลังคา	2.40	เมตร
-	หลังคาเอียงทำมุม	45	องศากับระดับพื้นดิน

รูปที่ 3-11 แสดงผังพื้นของบ้านเดี่ยวสูง 2 ชั้น ของโครงการบ้านเอื้ออาทร

3.4.1 อัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอย

อัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยของบ้าน จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณพื้นที่เปลือกอาคาร กล่าวคือถ้าอาคารมีอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยมาก อาคารนั้นจะมีพื้นที่เปลือกอาคารมากกว่า อาคารที่มีอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบที่พื้นที่ใช้สอยเท่ากัน

ดังนั้นการประเมินอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอย ของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม กับบ้านเอื้ออาทร เพื่อเปรียบเทียบปริมาณพื้นที่เปลือกอาคาร ได้กำหนดขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

1. คำนวณหาพื้นที่เปลือกอาคาร และพื้นที่ใช้สอย ของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบกับบ้านเอื้ออาทร โดย

- พื้นที่เปลือกอาคาร คือพื้นที่ทั้งหมดโดยรอบอาคารที่สัมผัสกับภายนอกในส่วนที่มีการปรับอากาศ ได้แก่ พื้น, ผนัง, ช่องเปิด และหลังคา
- พื้นที่ใช้สอย คือพื้นที่ในระนาบนอนภายในทั้งหมดของอาคาร ในส่วนที่มีการปรับอากาศ

2. คำนวณหาอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอย ของบ้านพักอาศัยทั้ง 2 รูปแบบ

3. วิเคราะห์เปรียบเทียบ อัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยของบ้านพักอาศัยทั้ง 2 รูปแบบ

3.4.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเปลือกอาคาร

การถ่ายเทความร้อนรวมเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณความร้อน ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของบรรยากาศภายนอกได้แก่ อุณหภูมิ และ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ถ่ายเทผ่านเข้าสู่ภายในอาคาร อาจจะกล่าวได้ว่าอาคารใดมีค่า OTTV หรือ RTTV สูงแสดงว่าอาคารนั้นต้องใช้พลังงานในระบบปรับอากาศสูง และ อาคารที่มีค่า OTTV หรือ RTTV ต่ำแสดงว่าอาคารนั้นจะมีความต้องการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศต่ำ

ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเปลือกอาคาร ระหว่างบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม บ้านเอื้ออาทร กับอาคารเก่า และอาคารใหม่ ตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 กำหนดไว้ ได้กำหนดขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

1. ป้อนข้อมูลต่างๆ ของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ และบ้านเอื้ออาทรในโปรแกรม OTTVEE Version 1.0a ให้โปรแกรมคำนวณค่า OTTV และ ค่า RTTV กำหนดให้

- ผนังได้แก่เปลือกอาคารที่มีความเอียง 70-90 องศา จากระดับพื้นดิน
- หลังคาได้แก่เปลือกอาคารที่มีความเอียง 0-65 องศา จากระดับพื้นดิน
- บ้านพักอาศัยที่ออกแบบ

  ผนังมีค่า $U = 0.3\ W/m^2\ ^oC$

เปลือกอาคารในส่วนช่องเปิด มีค่า U = 5.6 W/m^2 ^oC SC = 0.3

หลังค่ามีค่า U = 0.3 W/m^2 ^oC

- บ้านเอื้ออาทร

ผนังมีค่า U = 3.1 W/m^2 ^oC

เปลือกอาคารในส่วนช่องเปิด มีค่า U = 5.6 W/m^2 ^oC SC = 0.96

หลังค่ามีค่า U = 2.0 W/m^2 ^oC

2. วิเคราะห์เปรียบเทียบค่า OTTV และ ค่า RTTV ของบ้านพักอาศัยทั้ง 2 รูปแบบ เปรียบเทียบกับค่า OTTV และ ค่า RTTV ตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535

- ค่า OTTV สำหรับอาคารเก่า ต้องไม่เกินกว่า 55 Watt/m^2สำหรับอาคารใหม่ ต้องไม่เกินกว่า 45 Watt/m^2
- ค่า RTTV สำหรับอาคารเก่าและอาคารใหม่ ต้องไม่เกินกว่า 25 Watt/m^2

3.4.3 ภาระในการปรับอากาศ และการใช้พลังงานรวม

อาคารที่มีค่าภาระในการปรับอากาศสูง แสดงว่าอาคารนั้นต้องใช้พลังงานในระบบปรับอากาศสูงกว่าอาคารที่มีค่าภาระในการปรับอากาศต่ำกว่า ภาระในการปรับอากาศเกิดจากความร้อนและความชื้น ผ่านเปลือกอาคาร, ผู้ใช้อาคาร, การระบายอากาศ, การรั่วซึมของอากาศ, ความร้อนจากไฟฟ้าแสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้า

ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินเปรียบเทียบค่าภาระในการปรับอากาศ และการใช้พลังงานรวมของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม กับบ้านเอื้ออาทร ได้กำหนดขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

1. ป้อนข้อมูลต่างๆ ของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ และบ้านเอื้ออาทรในโปรแกรม OTTVEE Version 1.0a ให้โปรแกรมคำนวณค่า ภาระในการปรับอากาศและการใช้พลังงานรวม กำหนดให้บ้านพักอาศัยที่ออกแบบ และบ้านเอื้ออาทรมีภาระในการปรับอากาศดังนี้

- อุณหภูมิภายในที่ต้องการออกแบบ 25 ^oC
- ความชื้นสัมพัทธ์ภายในที่ต้องการออกแบบ 50 %
- ใช้ข้อมูลภูมิอากาศของกรุงเทพเฉลี่ย 10 ปี
- วันเริ่มต้นของปี คือ วันพฤหัสบดี ที่ 1 มกราคม
- เครื่องปรับอากาศแบบ Split type เบอร์ 5 (EER 10.6)
- เปิดเครื่องปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง

- การรั่วซึมของอากาศในบริเวณปรับอากาศเท่ากับ 0.20 ครั้งต่อชั่วโมง
- มีผู้ใช้อาคาร 2 คน กิจกรรมนั่งดูภาพยนตร์
- ปริมาณการระบายอากาศเท่ากับ 0.20 ครั้งต่อชั่วโมง
- การใช้ไฟฟ้าแสงสว่าง 16 W/m^2
- การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าภายใน 10 W/m^2

2. วิเคราะห์เปรียบเทียบค่า ภาระในการปรับอากาศและการใช้พลังงานรวมของบ้านพักอาศัยทั้ง 2 รูปแบบ

- วิเคราะห์เปรียบเทียบภาระทั้งหมดของระบบปรับอากาศ
- วิเคราะห์เปรียบเทียบภาระจากกรอบอาคารในระบบปรับอากาศ
- วิเคราะห์เปรียบเทียบการใช้พลังงานในวันที่มีการใช้พลังงานสูงสุด
- วิเคราะห์เปรียบเทียบการใช้พลังงานรวม และค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษาตัวแปร และอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการออกแบบบ้านพักอาศัย เพื่อลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม

จากการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการออกแบบบ้านพักอาศัย เพื่อลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม สามารถสรุปตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการออกแบบ ได้แก่

1. ขนาดและรูปแบบของผังพื้นบ้านพักอาศัย
2. รูปทรงและความสูงของบ้านพักอาศัย
3. วิธีการก่อสร้างระบบเปลือกอาคาร

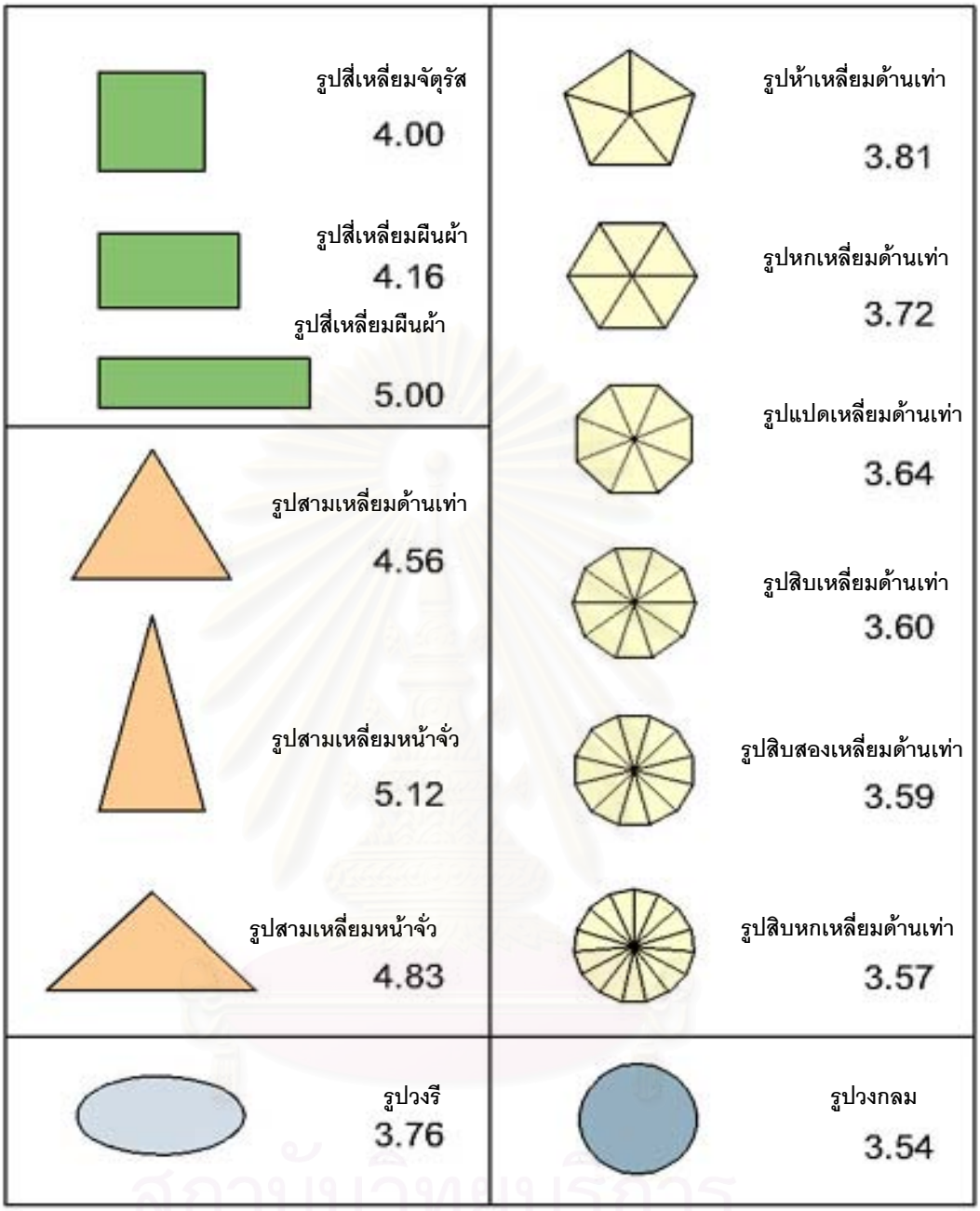
4.1.2 ขนาดและรูปแบบของผังพื้นบ้านพักอาศัย

การศึกษานี้มุ่งแสวงหารูปแบบของผังพื้น ที่มีความยาวของเส้นรอบรูปน้อยที่สุด เพื่อให้อาคารมีแนวโน้มมีพื้นที่เปลือกอาคารน้อยที่สุด จากการกำหนดรูปเรขาคณิตรูปแบบต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่

1. รูปสี่เหลี่ยม ได้แก่ รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส, รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าฐานยาว
2. รูปสามเหลี่ยม ได้แก่ รูปสามเหลี่ยมด้านเท่า, รูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว และรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วฐานยาว
3. รูปหลายเหลี่ยมด้านเท่า ได้แก่ รูปห้าเหลี่ยมด้านเท่า, รูปหกเหลี่ยมด้านเท่า, รูปแปดเหลี่ยมด้านเท่า, รูปสิบเหลี่ยมด้านเท่า, รูปสิบสองเหลี่ยมด้านเท่า และรูปสิบหกเหลี่ยมด้านเท่า
4. รูปวงรี
5. รูปวงกลม

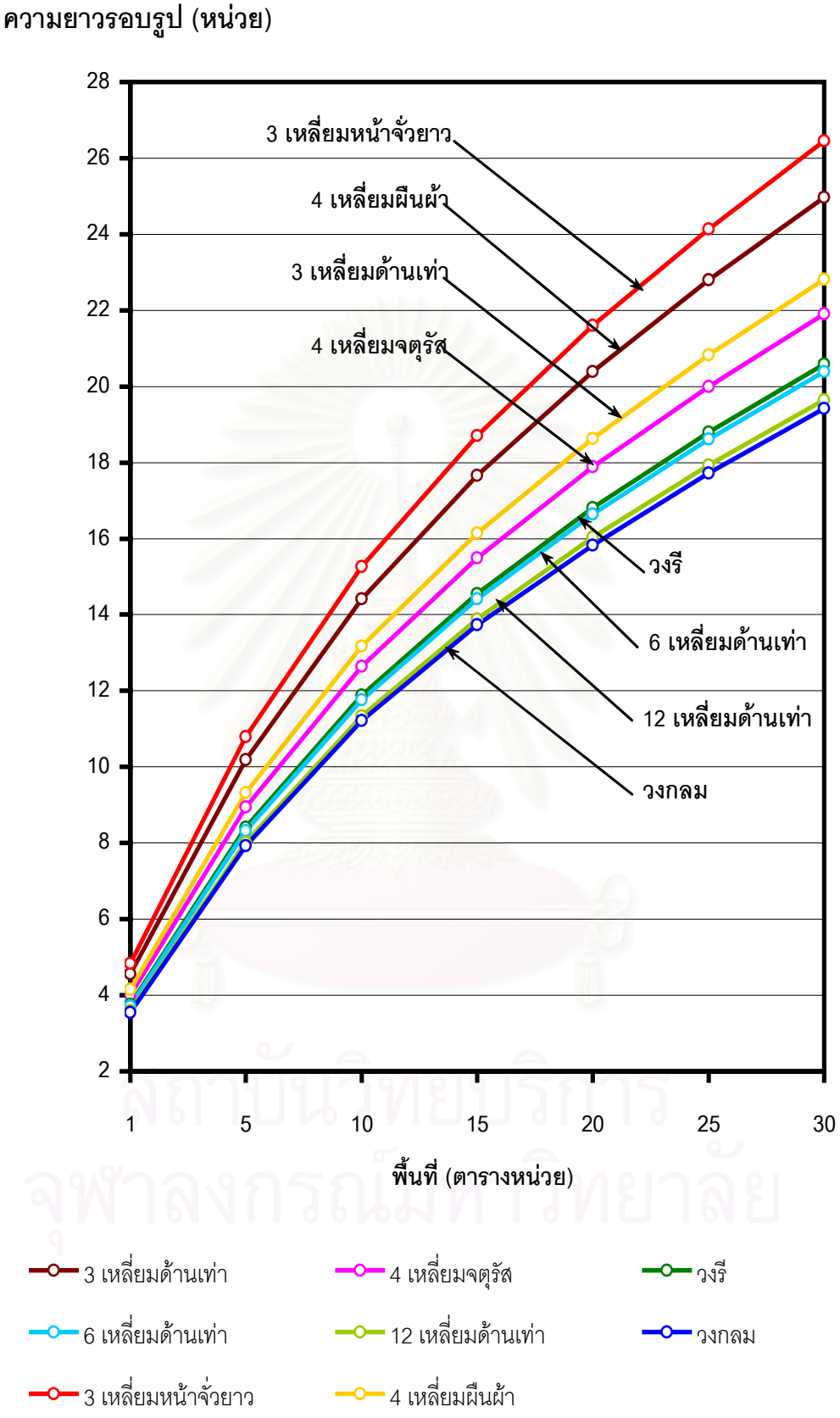
ได้ผลการศึกษา ความยาวเส้นรอบรูปของรูปแบบผังพื้นรูปแบบต่างๆ ที่มีพื้นที่เท่ากับ 1 ตารางหน่วย ดังรูปที่ 4-1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-1 แสดงความยาวเส้นรอบรูป (หน่วย) ของรูปเรขาคณิตรูปแบบต่างๆ เมื่อกำหนดให้พื้นที่ภายในเท่ากัน คือ 1 ตารางหน่วย

จากการศึกษาพบว่ารูปแบบที่มีความยาวของเส้นรอบรูปน้อยที่สุดคือ รูปวงกลม สำหรับรูปสี่เหลี่ยม รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะมีความยาวของเส้นรอบรูปน้อยกว่ารูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในทำนองเดียวกัน รูปสามเหลี่ยมด้านเท่าจะมีความยาวของเส้นรอบรูปน้อยกว่ารูปสามเหลี่ยมอื่นๆ เมื่อมีพื้นที่ภายในเท่ากัน จึงสามารถสรุปได้ว่ารูปแบบของผังพื้นที่มีความยาวของเส้นรอบรูปน้อยที่สุด คือ รูปวงกลม หรือถ้าเป็นรูปหลายเหลี่ยม จะต้องเป็นรูปหลายเหลี่ยมด้านเท่า มุมเท่า ที่มีสัดส่วนใกล้เคียงวงกลมมากที่สุด



แผนภูมิที่ 4-1 แสดงการเปรียบเทียบความยาวของเส้นรอบรูปของผังพื้นรูปแบบต่างๆ เมื่อมีขนาดพื้นที่ใช้สอยภายในเพิ่มขึ้น

เมื่อกำหนดให้พื้นที่ภายในของรูปเรขาคณิตรูปแบบต่างๆ เท่ากับ 5, 10,15, 20, 25 และ 30 ตารางหน่วย แล้วเปรียบเทียบความยาวของเส้นรอบรูป ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4-1 พบว่า เมื่อพื้นที่ภายในเพิ่มขึ้นจะทำให้ความแตกต่างระหว่างความยาวของเส้นรอบรูป ของรูปแบบต่างๆ มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น และสำหรับผังพื้นที่มีขนาดพื้นที่ภายในประมาณ 30 ตารางหน่วย รูปแบบของผังพื้นควรเป็นรูปวงกลมหรือรูปหลายเหลี่ยมด้านเท่า ในการศึกษานี้พบว่ารูปสิบสองเหลี่ยมด้านเท่า จะมีความยาวของเส้นรอบรูปมากกว่ารูปวงกลมเพียง 0.22 หน่วยเท่านั้น

จากการศึกษาอิทธิพลของตัวแปร รูปแบบของผังพื้นที่มีผลต่อพื้นที่เปลือกอาคาร จะพบว่าผังพื้นที่มีความยาวของเส้นรอบรูปน้อยที่สุดคือผังพื้นรูปวงกลม ดังนั้นผังพื้นรูปวงกลมจึงเป็นรูปแบบที่มีแนวโน้มให้อาคารมีพื้นที่เปลือกอาคารน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบผังพื้นอื่นๆ ที่มีพื้นที่ภายในเท่ากัน และสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ภายในที่เพิ่มขึ้นกับความยาวของเส้นรอบรูปของวงกลม ได้จากสมการ

พื้นที่ภายในวงกลม $\pi R^2 = x$

จะได้ $R = \sqrt{x/\pi}$

ความยาวเส้นรอบรูปของวงกลม $= 2\pi R$

แทนค่า R $= 2\pi\sqrt{x/\pi}$

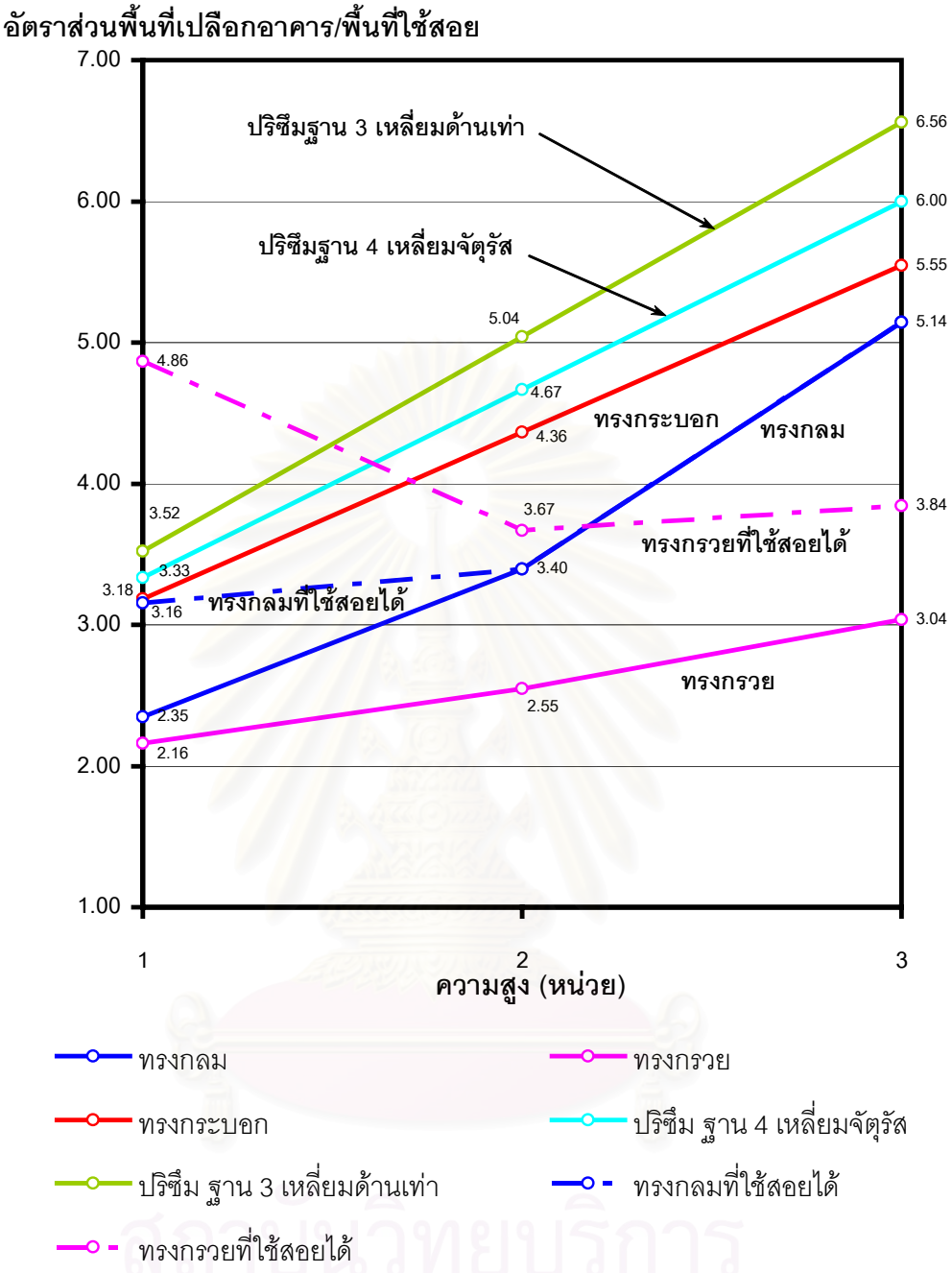
ความยาวเส้นรอบรูปของวงกลม $= 3.5449077\sqrt{x}$

โดยที่ x = พื้นที่ภายในของวงกลม

4.1.2 รูปทรง และความสูงของบ้านพักอาศัย

การศึกษานี้ ต้องการที่จะแสวงหารูปทรงที่มีพื้นที่เปลือกอาคารน้อยที่สุด จากรูปแบบที่ได้จากผลการศึกษารูปแบบของผังพื้นบ้านพักอาศัยในหัวข้อที่ 4.1.1 โดยจำแนกรูปทรงที่ได้จากรูปแบบของผังพื้น ได้แก่ รูปทรงกลม, รูปทรงกรวย และรูปทรงกระบอก เปรียบเทียบกับรูปทรงปริซึมฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส และรูปทรงปริซึมฐานสามเหลี่ยมด้านเท่า

4.1.2.1 อิทธิพลของพื้นที่ภายในที่มีผลต่อพื้นที่เปลือกอาคารของรูปทรงต่าง ๆ โดยมีความสูงต่างกัน

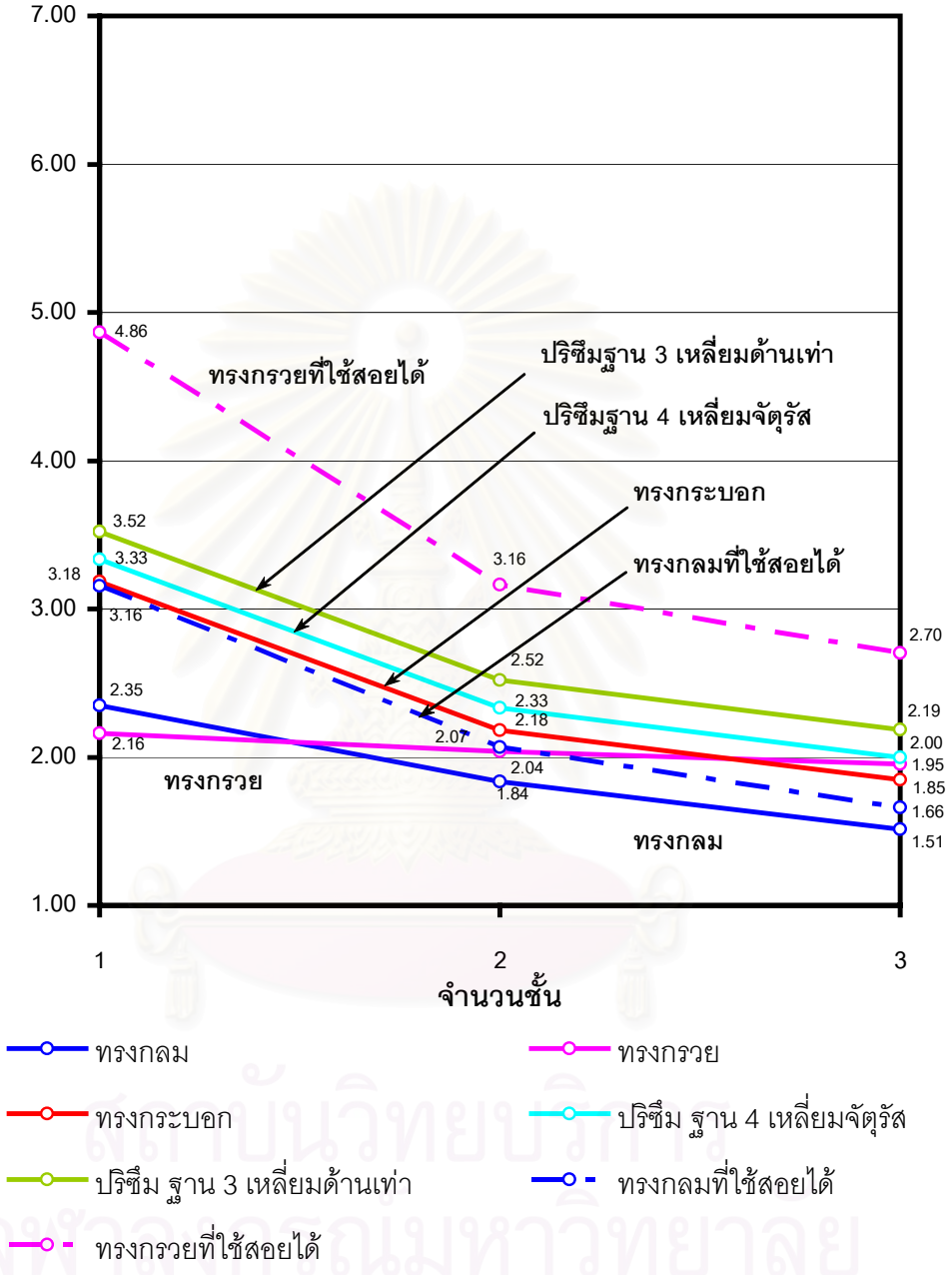


แผนภูมิที่ 4-2 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยภายในของรูปทรงต่างๆ ที่มีพื้นที่ภายในเท่ากัน แต่มีความสูงแตกต่างกัน

จากแผนภูมิที่ 4-2 พบว่า รูปทรงกรวยจะมีอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยต่ำที่สุด ในทุกๆ ความสูง แต่ถ้าคิดพื้นที่ใช้สอยภายในที่สามารถใช้งานได้จริงแล้ว จะพบว่ารูปทรงกลมจะมีอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยต่ำที่สุด ในกรณีที่มีความสูง 1 และ 2 หน่วย ในกรณีที่มีความสูง 3 หน่วย รูปทรงกรวยจะมีอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยต่ำที่สุด ในทางกลับกันถ้ามีความสูง 1 หน่วย รูปทรงกรวยจะมีอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยมากที่สุด

4.1.2.2 อิทธิพลของพื้นที่ภายในที่มีผลต่อพื้นที่เปลือกอาคารของรูปทรงต่าง ๆ โดยมีจำนวนชั้น และความสูงต่างกัน

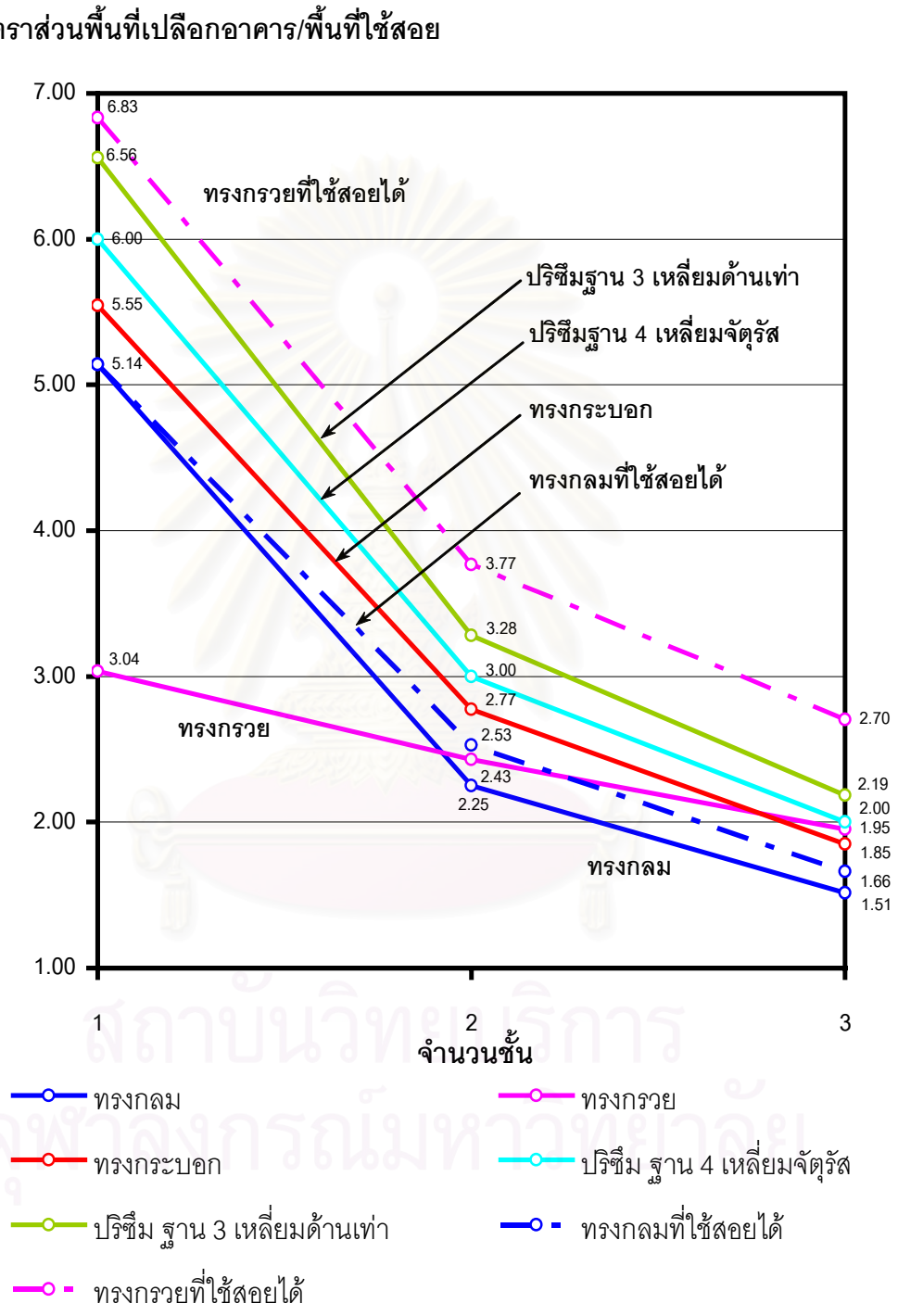
อัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคาร/พื้นที่ใช้สอย



แผนภูมิที่ 4-3 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยภายในของรูปทรงต่างๆ ที่มีพื้นที่ฐานเท่ากัน แต่มีความสูงแตกต่างกันตามจำนวนชั้น

จากแผนภูมิที่ 4-3 พบว่า รูปทรงกลมจะมีอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยต่ำที่สุด เมื่อมีจำนวนชั้น 2 และ 3 ชั้น แต่ถ้าคิดพื้นที่ใช้สอยภายในที่สามารถใช้งานได้จริงแล้วจะพบว่ารูปทรงกลมจะมีอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยต่ำที่สุด และรูปทรงกรวยจะมีอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยมากที่สุด ในทุกกรณี

4.1.2.3 อิทธิพลของพื้นที่ภายในที่มีผลต่อพื้นที่เปลือกอาคารของรูปทรงต่าง ๆ โดยมีความสูงเท่ากัน



แผนภูมิที่ 4-4 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยภายในของรูปทรงต่างๆ ที่มีพื้นที่ฐานเท่ากัน มีจำนวนชั้นต่างกัน โดยแต่ละรูปทรงจะมีความสูงเท่ากัน

จากแผนภูมิที่ 4-4 พบว่า รูปทรงกลมจะมีอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยต่ำที่สุด เมื่อมีจำนวนชั้น 2 และ 3 ชั้น เมื่อมีเพียง 1 ชั้นรูปทรงกลมยังคงมีอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยต่ำกว่ารูปทรงอื่นๆ ยกเว้นรูปทรงกรวย แต่ถ้าคิดพื้นที่ใช้สอยภายในที่สามารถใช้งานได้จริงแล้ว จะพบว่ารูปทรงกลมจะมีอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยต่ำที่สุด และรูปทรงกรวยจะมีอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยมากที่สุด ในทุกกรณี

จากการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรพื้นที่ภายใน และความสูงที่มีผลต่อพื้นที่เปลือกอาคาร จะพบว่ารูปทรงที่มีอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยต่ำที่สุดคือรูปทรงกลม รูปทรงกลมจึงเป็นรูปทรงที่มีพื้นที่เปลือกอาคารน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับรูปทรงอื่นๆ ที่มีพื้นที่ภายในเท่ากัน และสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ภายใน และความสูงกับพื้นที่เปลือกอาคารของรูปทรงกลม ได้จากสมการ

พื้นที่เปลือกอาคารของรูปทรงกลม = พื้นที่ฐาน+พื้นที่ผิว

$$= \pi R^2 + 2\pi RH$$

ความยาวเส้นรอบรูปของวงกลม $= 3.5449077\sqrt{x}$

พื้นที่เปลือกอาคารของรูปทรงกลม $= x + (3.5449077 \times H \times \sqrt{x})$

โดยที่ x = พื้นที่ภายในฐานของรูปทรงกลม

H = ความสูงของรูปทรงกลม

4.1.3 วิธีการก่อสร้างระบบเปลือกอาคารที่เหมาะสม

การศึกษานี้ ต้องการแสวงหาวิธีการก่อสร้างระบบเปลือกอาคารที่เหมาะสมสำหรับบ้านพักอาศัยที่ใช้รูปทรงที่มีพื้นที่เปลือกอาคารน้อยที่สุด โดยศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับวิธีการก่อสร้างระบบเปลือกอาคารด้วยการเปรียบเทียบกับพื้นที่เปลือกอาคาร 1 ตารางเมตร ดังนี้

1. ราคาวัสดุก่อสร้างเปลือกอาคาร
2. ระยะเวลาในการก่อสร้างเปลือกอาคาร
3. น้ำหนักของเปลือกอาคาร

ตารางที่ 4-1 แสดงรายละเอียดของระยะเวลาในการทำงานต่อปริมาณงาน 1 ตารางเมตรต่อคน

รายการ	ระยะเวลา (ชั่นโมง/ตร.ม./คน)
ติดตั้งผนังฉนวนกันความร้อนภายนอกสำเร็จรูป พร้อมฉาบผิว	0.80
ติดตั้งผนังคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป พร้อมฉาบผิว	0.80
ติดตั้งโครงเหล็ก	0.13
ดัดเหล็ก ผูกเหล็ก	0.10
ติดตั้งแบบหล่อคอนกรีต	1.60
พ่นคอนกรีต ด้วยเครื่องพ่น	0.27
พ่นสีด้วยเครื่องพ่น	0.27
พันฉนวน พร้อมยึดติด	0.02
ยิงแผ่นยิปซั่มบอร์ด	0.40
ฉาบรอยต่อผนังยิปซั่ม	0.38
ติดตั้งฉนวนใยแก้ว	0.38

4.1.3.1 ผนังฉนวนกันความร้อนภายนอกสำเร็จรูป

ตารางที่ 4-2 แสดงรายละเอียดราคาของผนังฉนวนกันความร้อนภายนอกสำเร็จรูป

รายการ	หน่วย	ราคา/หน่วย (บาท)	ราคา/ตร.ม. (บาท)	น้ำหนัก/หน่วย (กิโลกรัม)	น้ำหนัก/ตร.ม. (กิโลกรัม)
ผนังฉนวนกันความร้อนภายนอกสำเร็จรูป			1,063.67		38.42
โครงเหล็ก Tube 50x50x1.6 มม. (2.38 kg/m)	ท่อน	336.00	224.00	14.28	9.52
ยิปซั่ม กันชื้น หนา 12 มม.ภายนอก	แผ่น	360.00	125.00	27.65	9.60
โฟมกันไฟลาม หนา 3" ความหนาแน่น 1lb/ft^3	แผ่น	66.00	91.67	0.86	1.20
ตะข่ายฉนวนใยแก้วสีฟ้า	ม้วน	2,700.00	60.00	-	-
ปูน TPI	ถุง	120.00	6.00	50.00	2.50
Base Coat	ถัง	1,320.00	132.00	30.00	3.00
Fisnich Coat	ถัง	1,450.00	145.00	30.00	3.00
ยิปซั่มบอร์ด ธรรมดา หนา 12 มม. ฉาบเรียบทาสี	ตร.ม.	200.00	200.00	9.60	9.60
สีกันสนิม, สกรู, ลวดเชื่อม, ตัด, ฯลฯ	ตร.ม.	80.00	80.00	-	-

ราคา	1,065	**บาท/ตร.ม.**
น้ำหนัก	39	**ก.ก./ตร.ม.**
ระยะเวลาในการติดตั้ง	0.80	**ช.ม./ตร.ม./คน**

4.1.3.2 ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป บุฉนวนกันความร้อนภายใน

ตารางที่ 4-3 แสดงรายละเอียดราคาของผนังคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป บุฉนวนกันความร้อนภายใน

รายการ	หน่วย	ราคา/หน่วย (บาท)	ราคา/ตร.ม. (บาท)	น้ำหนัก/หน่วย (กิโลกรัม)	น้ำหนัก/ตร.ม. (กิโลกรัม)
ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป บุฉนวนกันความร้อนภายใน			1072.50		119.38
คอนกรีตมวลเบา หนา 0.10 ม.	ลบ.ม.	3,600	400.00	900.00	90.00
เหล็กเสริม DB 12 มม. #0.20 ม.	เส้น	198	198.00	8.88	8.88
ปูนฉาบ รอยต่อ	ลบ.ม.	3,600	36.00	900.00	9.00
สีทาภายนอก	ถัง	1,530	51.00	30.00	1.00
ฉนวนใยแก้ว 3" ความหนาแน่น 12 kg/m^3	ม้วน	250	104.17	2.16	0.90
โครงเคร่า C-LINE #26	เส้น	25	33.33	-	-
ยิปซั่มบอร์ด ธรรมดา หนา 12 มม. ฉาบเรียบทาสี	ตร.ม.	200	200.00	9.60	9.60
สีกันสนิม, สกรู, ลวดเชื่อม, ตัด, ฯลฯ	ตร.ม.	50	50.00	-	-

ระยะเวลาในการติดตั้งผนังคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป บุฉนวนกันความร้อนภายใน

ติดตั้งผนังสำเร็จรูป	0.80	ช.ม./ตร.ม./คน
พ่นสีภายนอก	0.27	ช.ม./ตร.ม./คน
ติดตั้งฉนวนใยแก้ว	0.38	ช.ม./ตร.ม./คน
ยิปซั่มภายใน	0.40	ช.ม./ตร.ม./คน
ฉาบรอยต่อยิปซั่ม	0.38	ช.ม./ตร.ม./คน
ทาสีภายใน	0.27	ช.ม./ตร.ม./คน
รวมระยะเวลา	**2.50**	**ช.ม./ตร.ม./คน**

ราคา	1,075	**บาท/ตร.ม.**
น้ำหนัก	120	**ก.ก./ตร.ม.**
ระยะเวลาในการติดตั้ง	2.50	**ช.ม./ตร.ม./คน**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.3.3 ผนังโครงเหล็ก พ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอก บุฉนวนกันความร้อนภายใน

ตารางที่ 4-4 แสดงรายละเอียดราคาของผนังโครงเหล็ก พ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอก บุฉนวนกันความร้อนภายใน

รายการ	หน่วย	ราคา/หน่วย (บาท)	ราคา/ตร.ม. (บาท)	น้ำหนัก/หน่วย (กิโลกรัม)	น้ำหนัก/ตร.ม. (กิโลกรัม)
ผนังโครงเหล็ก พ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอก บุฉนวนกันความร้อนภายใน			**813.50**		**64.67**
โครงเหล็ก Tube 50x50x1.6 มม. (2.38 kg/m)	ท่อน	336	140.00	14.28	5.95
คอนกรีตมวลเบา หนา 0.05 ม.	ลบ.ม.	3,600	200.00	900.00	45.00
เหล็กเสริม RB 6 มม. #0.20 ม.	เส้น	55	55.00	2.22	2.22
สีทาภายนอก	ถัง	1,530	51.00	30.00	1.00
ฉนวนใยแก้ว 3" ความหนาแน่น 12 kg/m^3	ม้วน	250	104.17	2.16	0.90
โครงเคร่า C-LINE #26	เส้น	25	33.33	-	-
ยิปซั่มบอร์ด ธรรมดา หนา 12 มม. ฉาบเรียบทาสี	ตร.ม.	200	200.00	9.60	9.60
สีกันสนิม, สกรู, ลวดเชื่อม, ตัด, ฯลฯ	ตร.ม.	30	30.00	-	-

ระยะเวลาในการติดตั้งผนังโครงเหล็ก พ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอก บุฉนวนกันความร้อนภายใน

ติดตั้งโครงเหล็ก	0.80	ช.ม./ตร.ม./คน
ดัดเหล็ก ผูกเหล็ก	0.10	ช.ม./ตร.ม./คน
ติดตั้งแบบหล่อคอนกรีต	1.60	ช.ม./ตร.ม./คน
พ่นคอนกรีต ด้วยเครื่องพ่น	0.27	ช.ม./ตร.ม./คน
พ่นสีด้วยเครื่องพ่น	0.27	ช.ม./ตร.ม./คน
ติดตั้งฉนวนใยแก้ว	0.38	ช.ม./ตร.ม./คน
ยิปซั่มภายใน	0.40	ช.ม./ตร.ม./คน
ฉาบรอยต่อยิปซั่ม	0.38	ช.ม./ตร.ม./คน
ทาสีภายใน	0.27	ช.ม./ตร.ม./คน
รวมระยะเวลา	**4.47**	**ช.ม./ตร.ม./คน**

ราคา	815	**บาท/ตร.ม.**
น้ำหนัก	65	**ก.ก./ตร.ม.**
ระยะเวลาในการติดตั้ง	4.47	**ช.ม./ตร.ม./คน**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.3.4 ผนังโครงเหล็ก ใช้ฉนวนพันรอบ พ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอก

ตารางที่ 4-5 แสดงรายละเอียดราคาของผนังผนังโครงเหล็ก ใช้ฉนวนพันรอบ พ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอก

รายการ	หน่วย	ราคา/หน่วย (บาท)	ราคา/ตร.ม. (บาท)	น้ำหนัก/หน่วย (กิโลกรัม)	น้ำหนัก/ตร.ม. (กิโลกรัม)
ผนังโครงเหล็ก ใช้ฉนวนพันรอบ พ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอก			**1023.22**		**50.52**
โครงเหล็ก Tube 50x50x1.6 มม. (2.38 kg/m)	ท่อน	336	140.00	14.28	9.52
คอนกรีตมวลเบา หนา 0.03 ม.	ลบ.ม.	3,600	100.00	900.00	27.00
ตาข่ายจีน 1" 0.90x30 ม.	ม้วน	600	22.22	-	-
ฉนวน ท่อ 3" อัดเม็ดโฟมภายใน	ม.	50	650.00	1.00	13.00
สีทาภายนอก	ถัง	1,530	51.00	30.00	1.00
สีกันสนิม, สกรู, ลวดเชื่อม, ตัด, ฯลฯ	ตร.ม.	50	60.00	-	-

ระยะเวลาในการติดตั้งผนังผนังโครงเหล็ก ใช้ฉนวนพันรอบ พ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอก

ติดตั้งโครงเหล็ก	0.80	ช.ม./ตร.ม./คน
พ่นคอนกรีต ด้วยเครื่องพ่น	0.27	ช.ม./ตร.ม./คน
พ่นสีด้วยเครื่องพ่น	0.27	ช.ม./ตร.ม./คน
พันฉนวน พร้อมยึดติด	0.02	ช.ม./ตร.ม./คน
ทาสีภายใน	0.27	ช.ม./ตร.ม./คน
รวมระยะเวลา	1.63	**ช.ม./ตร.ม./คน**

ราคา	815	**บาท/ตร.ม.**
น้ำหนัก	65	**ก.ก./ตร.ม.**
ระยะเวลาในการติดตั้ง	1.63	**ช.ม./ตร.ม./คน**

เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการติดตั้งโครงเหล็ก ซึ่งใช้เวลาค่อนข้างสูง ดังนั้นออกแบบโดยใช้โครงเหล็กเชื่อมต่อสำเร็จรูปแล้วขนมาประกอบในสถานที่ก่อสร้างจะทำให้สามารถลดระยะเวลาในการก่อสร้างลงได้เหลือเพียง 1 ช.ม./ตร.ม./คน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 ผลการออกแบบออกแบบบ้านพักอาศัย เพื่อลดพื้นที่เปลือกอาคาร และค่าใช้จ่ายโดยรวม

4.2.1 ขนาดและรูปแบบของผังพื้นบ้านพักอาศัย

ผลการศึกษาพื้นที่ใช้สอยในการออกแบบบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็ก ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคาร และค่าใช้จ่ายโดยรวม เพื่อหาพื้นที่ใช้สอยรวมทั้งหมดของบ้านพักอาศัย ที่ใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบบ้านพักอาศัยจากผังรูปวงกลม โดยการกำหนดพื้นที่ใช้สอยในส่วนต่างๆ อ้างอิงจาก หนังสือ TIME-SAVER STANDARDS FOR HOUSING and RESIDENTIAL DEVELOPMENT เป็นเกณฑ์ในการหาพื้นที่ใช้สอยที่ใช้ในการออกแบบบ้านพักอาศัย แสดงในตารางที่ 4-6

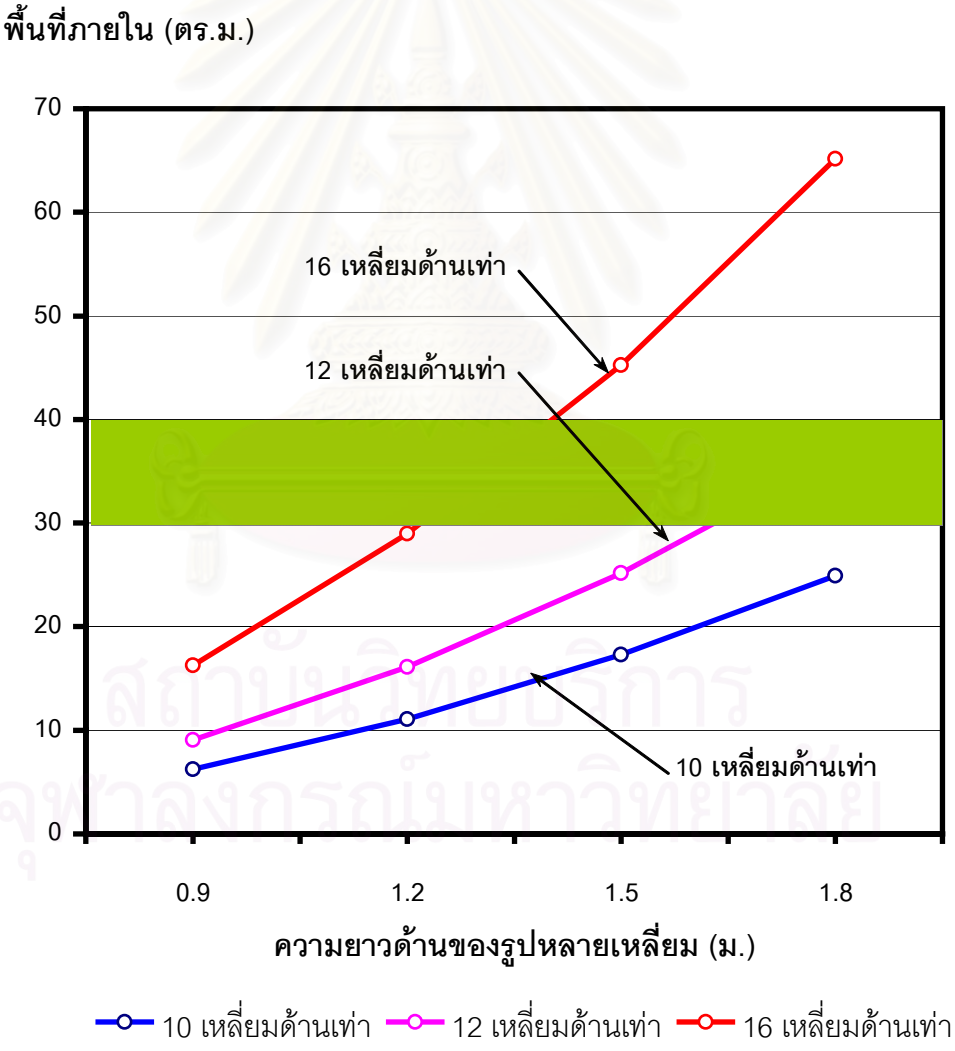
ตารางที่ 4-6 แสดงพื้นที่ใช้สอยในส่วนต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบบ้านพักอาศัย โดยแบ่งเป็น 3 รูปแบบ

พื้นที่ใช้สอย	หน่วย	แบบที่ 1		แบบที่ 2		แบบที่ 3	
		ขนาด	พื้นที่	ขนาด	พื้นที่	ขนาด	พื้นที่
ส่วนรับแขก	Ft.	12' 6"x16'	200	12' 6"x20'	250	12' 6"x22'	275
	m.	3.81x4.88	18.59	3.81x6.10	23.24	3.81x6.71	25.57
ครัวและส่วน	Ft.	9'x11'	99	10'x10' 6"	105	8'x14' 6"	116
รับประทานอาหาร	m.	2.74x3.35	9.18	3.05x3.20	9.76	2.44x4.42	10.78
ห้องน้ำ	Ft.	5'x7' 8"	38.33	6' 6"x7' 6"	48.75	7' 2"x7' 6"	53.75
	m.	1.52x2.34	3.56	1.98x2.29	4.53	2.18x2.29	4.99
ห้องนอน	Ft.	12' 4"x10' 9"	132.55	10' 3"x14'	143.5	12' 4"x15' 6"	191.17
	m.	3.76x3.28	12.33	3.12x4.27	13.32	3.76x4.72	17.75
รวม	**m.**		**43.66**		**50.85**		**59.09**
รวมชั้นที่ 1	**m.**		**31.33**		**37.53**		**41.34**
รวมชั้นที่ 2	**m.**		**12.33**		**13.32**		**17.75**

เมื่อได้พื้นที่ใช้สอยรวมที่ใช้ในการออกแบบบ้านพักอาศัยแล้ว จะทำให้สามารถทราบถึงรัศมีของวงกลม และเส้นรอบรูปของวงกลมที่จะเป็นเปลือกอาคารนั้น จึงกำหนดรูปหลายเหลี่ยมด้านเท่าขึ้นมาแทนวงกลม โดยให้พื้นที่ภายในรูปหลายเหลี่ยมด้านเท่าใกล้เคียงกับพื้นที่ใช้สอยที่ได้จากข้อ 4.2.1 ได้ผลในตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 แสดงพื้นที่ของรูปหลายเหลี่ยมด้านเท่าต่างๆ โดยแบ่งตามความยาวด้านของรูปเหลี่ยม

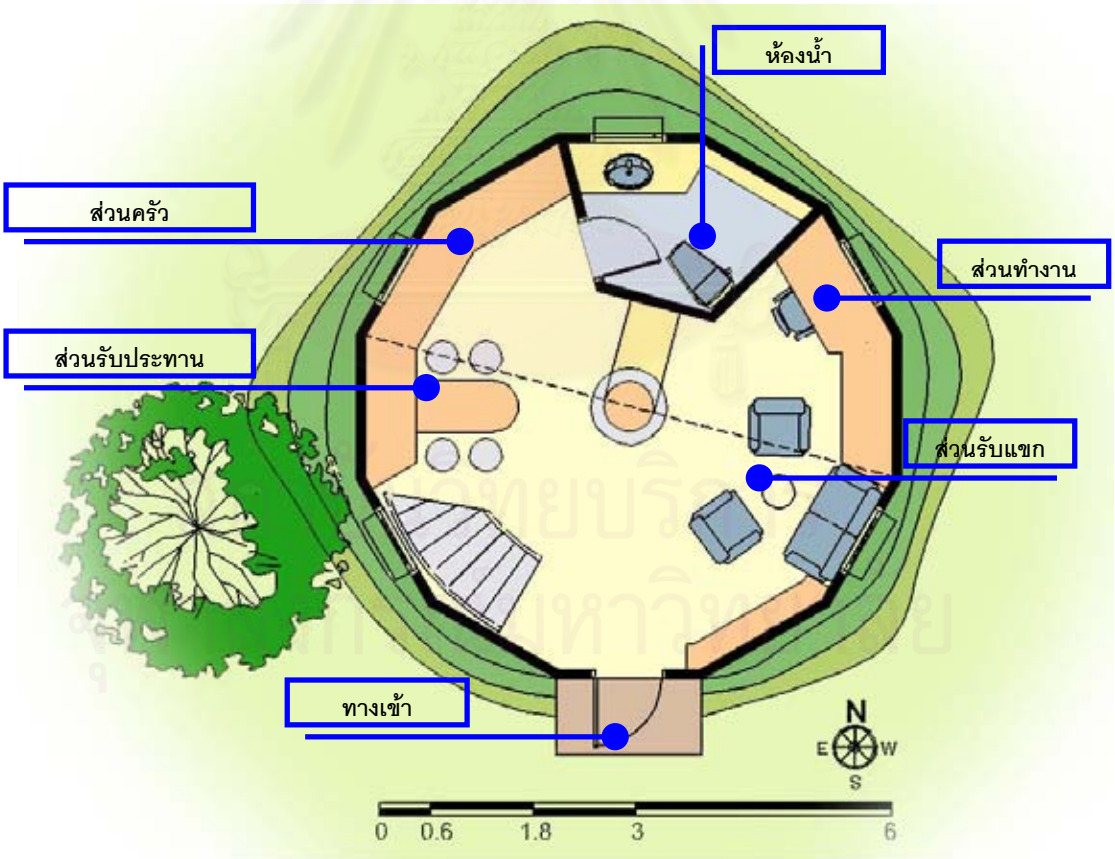
ลักษณะของรูปเหลี่ยมด้านเท่า	ความยาวด้านของรูปเหลี่ยม (m)											
	0.90			1.20			1.50			1.80		
	R (m)	r (m)	พื้นที่ (m^2)	R (m)	r (m)	พื้นที่ (m^2)	R (m)	r (m)	พื้นที่ (m^2)	R (m)	r (m)	พื้นที่ (m^2)
10 เหลี่ยม	1.46	1.39	6.23	1.94	1.85	11.08	2.43	2.31	17.31	2.91	2.77	24.93
12 เหลี่ยม	1.74	1.68	9.07	2.32	2.24	16.12	2.89	2.8	25.19	3.48	3.36	36.28
16 เหลี่ยม	2.31	2.26	16.29	3.08	3.02	28.96	3.84	3.77	45.25	4.61	4.53	65.15



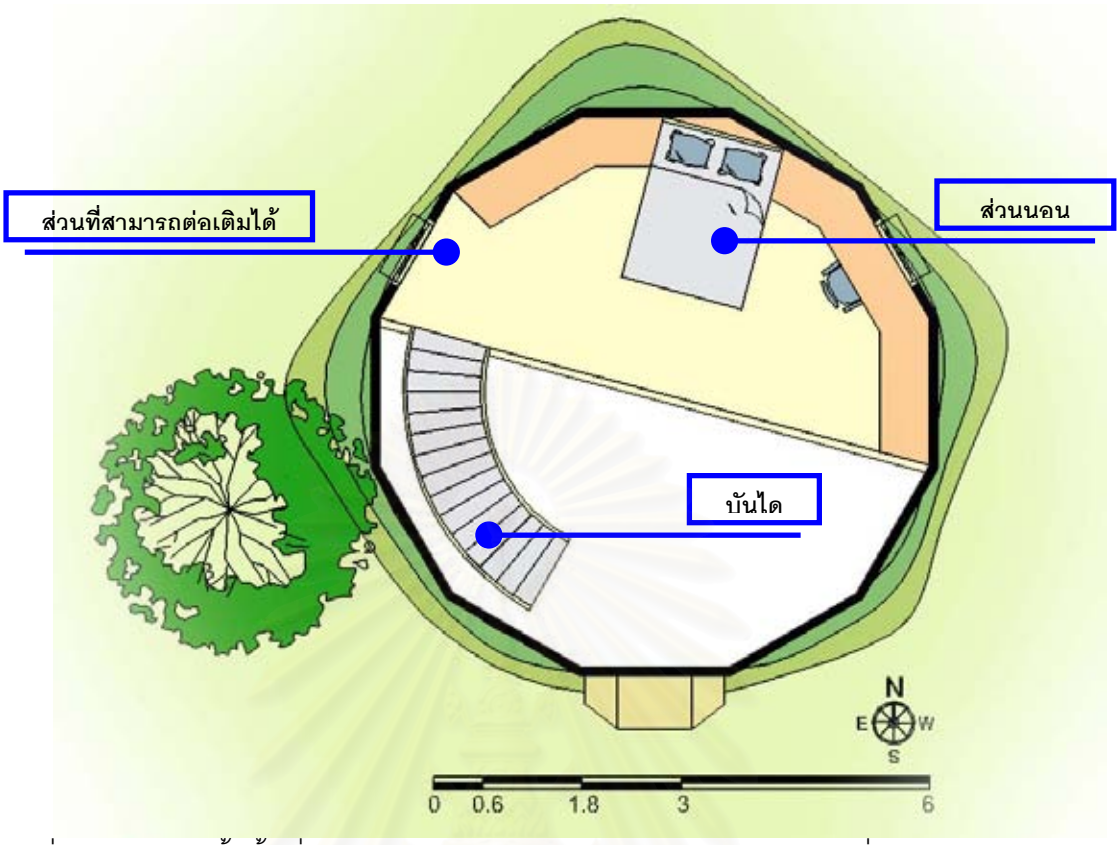
แผนภูมิที่ 4-5 แสดงพื้นที่ภายในชั้นที่ 1 ที่เหมาะสมสำหรับใช้ออกแบบบ้านพักอาศัยขนาดเล็กเปรียบเทียบกับรูปหลายเหลี่ยมด้านเท่า

รูปแบบผังพื้นของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็ก ที่ออกแบบด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม

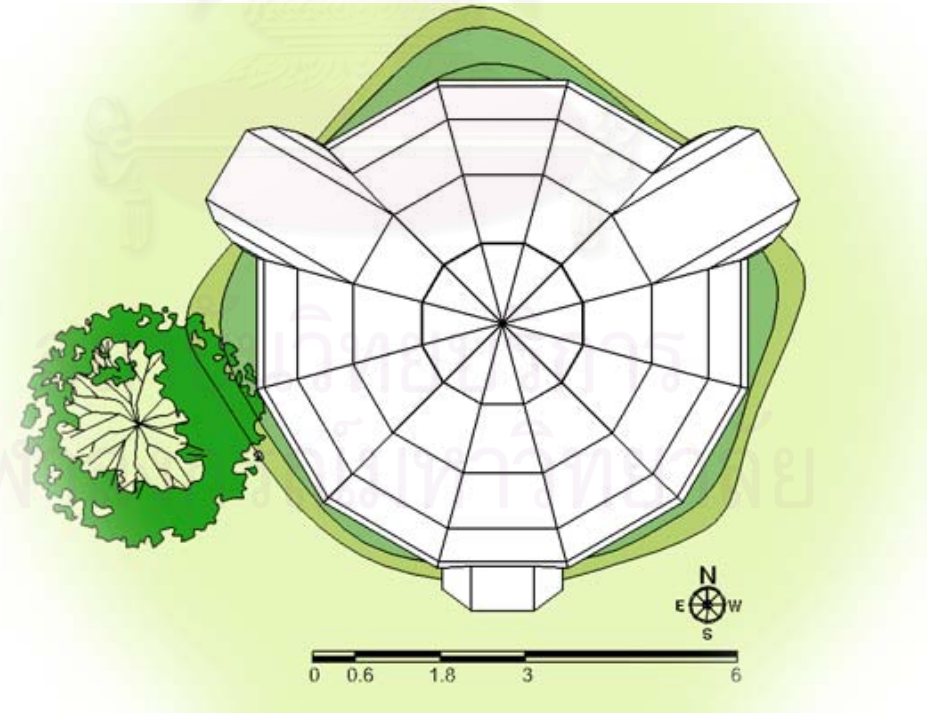
1. ผังพื้นของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม มีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 50 ตารางเมตร แบ่งเป็น
   - พื้นชั้นที่ 1 มีพื้นที่ใช้สอย 32 ตารางเมตร
   - พื้นชั้นที่ 2 มีพื้นที่ใช้สอย 18 ตารางเมตร (ส่วนนอน)
2. ผังพื้นของบ้านพักอาศัยเป็นรูป 12 เหลี่ยมด้านเท่า ที่มีความยาวด้านด้านละ 1.70 เมตร ซึ่งมาจากวงกลมที่มีรัศมี 3.30 เมตร
3. เนื่องจากผังพื้นบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ ออกแบบจากผังพื้นรูปวงกลมจึงทำให้รูปแบบของผังพื้นไม่เป็นเหลี่ยม มุม เหมือนบ้านพักอาศัยทั่วไป ในบางตำแหน่งจึงจำเป็นต้องใช้เฟอร์นิเจอร์ที่ออกแบบมาพิเศษ เพื่อการใช้สอยพื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ และความสวยงาม
4. ในกรณีที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ตำแหน่งติดตั้งเครื่องปรับอากาศ จะติดตั้งบริเวณใต้ฝ้าเพดานของห้องน้ำ เพื่อความสะดวกในการบำรุงรักษา



รูปที่ 4-2 แสดงผังพื้นชั้นที่ 1 ของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบสำหรับครอบครัวขนาดเล็ก ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารละค่าใช้จ่ายโดยรวม



รูปที่ 4-3 แสดงผังพื้นชั้นที่ 2 ของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบสำหรับครอบครัวขนาดเล็ก ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารละค่าใช้จ่ายโดยรวม



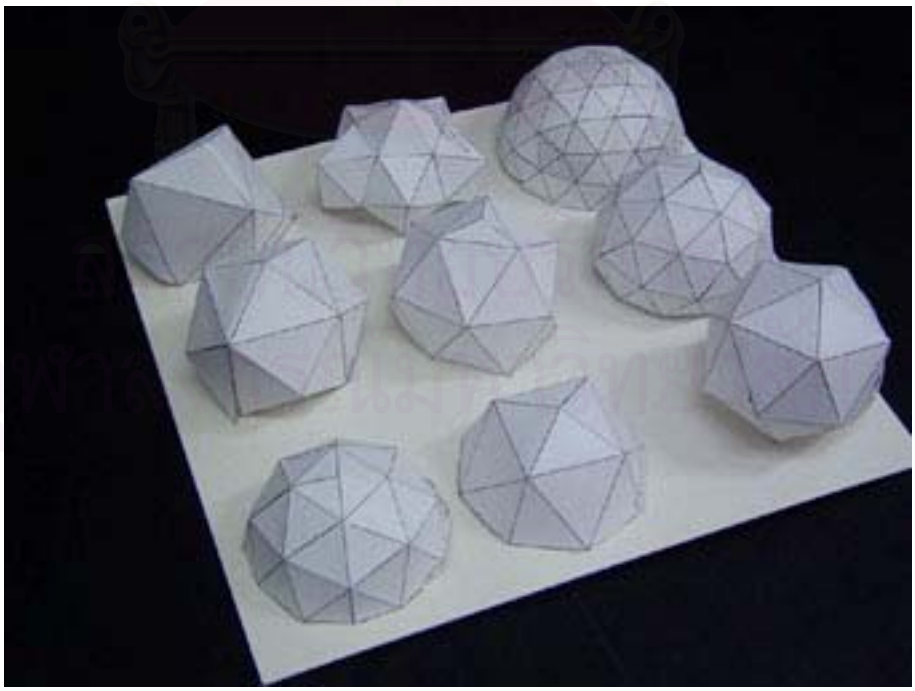
รูปที่ 4-4 แสดงผังหลังคาของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารละค่าใช้จ่ายโดยรวม

4.2.2 รูปทรง และความสูงของบ้านพักอาศัย

ผลจากการศึกษารูปทรงที่มีผิวหน้าเป็นรูปหลายเหลี่ยมด้านเท่าเท่ากันทุกหน้า ที่สามารถคลุมพื้นที่เป็นรูปวงกลมหรือรูปหลายเหลี่ยมที่ใกล้เคียงกับรูปวงกลมได้ มีรูปแบบ 5 รูปแบบ ดังนี้

1. รูปเตตราเฮดรอน (Tetrahedron)
2. รูปออคตาเฮดรอน (Octahedron)
3. รูปอิโคซาเฮดรอน (Icosahedron)
4. รูปเหลี่ยมลูกบาศก์ (Cube)
5. รูปโดเดคาเฮดรอน (Dodecahedron)

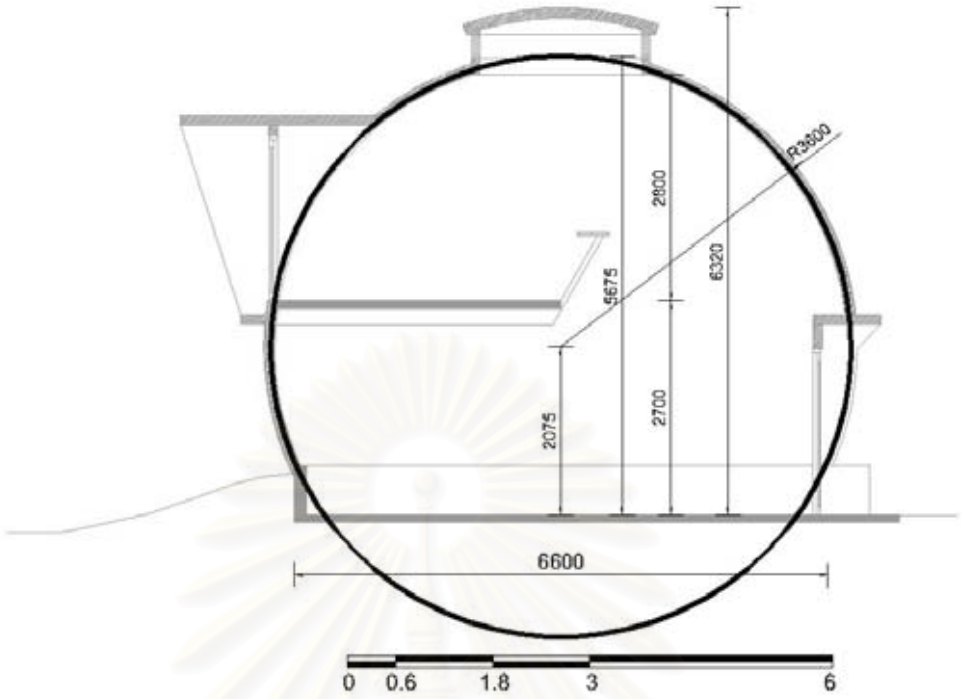
รูปแบบของแต่ละรูปทรงดังรูปที่ 4-5 จะพบว่ารูปทรงที่เกิดจากรูปทรงที่มีผิวหน้าเป็นรูปสามเหลี่ยม มีผิวหน้า 20 หน้า จุดยอดมุม 12 มุม เส้นขอบ 30 เส้น (Icosahedron) จะมีลักษณะใกล้เคียงรูปทรงกลมมากที่สุด ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษารูปทรงดังกล่าวในการออกแบบบ้านพักพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็ก ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 4-6 และ 4-7 พบว่าระบบเปลือกอาคารจะประกอบด้วยรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วเพียง 2 ขนาดเท่านั้น ในการประกอบเป็นรูปทรงกลม แต่ในการก่อสร้างจะเหลือเศษวัสดุ และมีรอยต่อของชิ้นส่วนมาก ทำให้ต้องดัดแปลงรูปแบบเพื่อให้ง่ายต่อการก่อสร้าง โดยมีรูปแบบแสดงในรูปที่ 4-10, 4-11 และ 4-12 ซึ่งเป็นรูปแบบที่เหมาะสมในการก่อสร้างด้วยวิธีการก่อสร้างในหัวข้อที่ 4.1.3



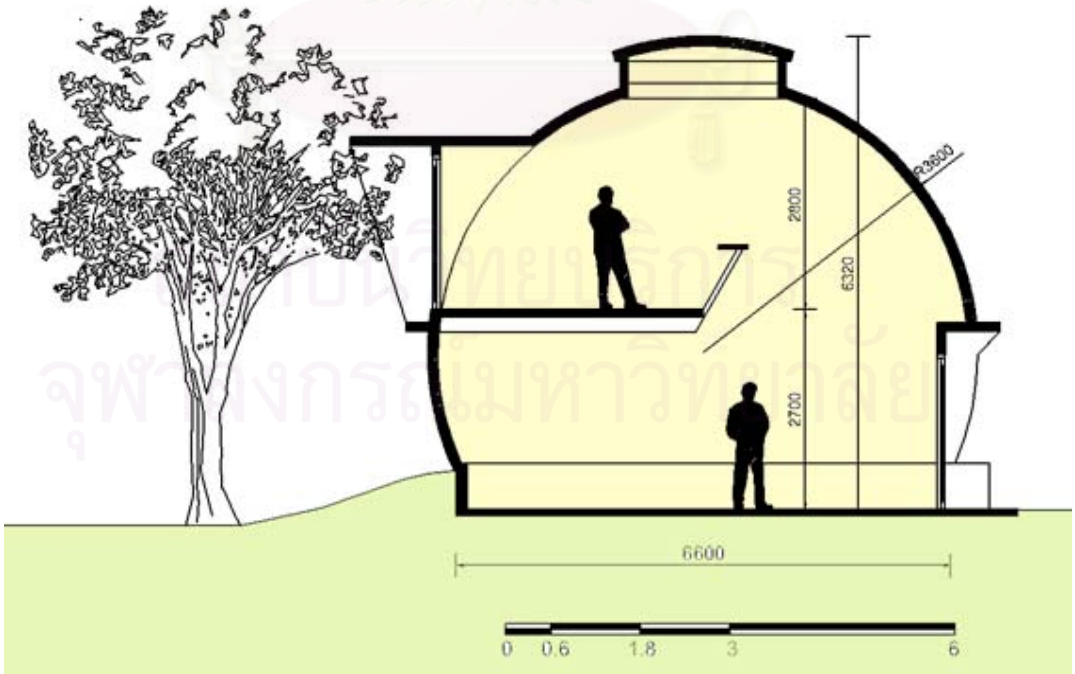
รูปที่ 4-5 แสดงรูปทรงที่มีผิวหน้าเป็นรูปหลายเหลี่ยมด้านเท่าเท่ากันทุกหน้า

รูปที่ 4-6 แสดงโครงสร้างของรูปทรงกลมที่เกิดจากรูปทรงที่มีผิวหน้าเป็นรูปสามเหลี่ยม มีผิวหน้า 20 หน้า จุดยอดมุม 12 มุม เส้นขอบ 30 เส้น (Icosahedron,3 Frequencies) การขึ้นรูปทรงศึกษาจากหนังสือ Polyhedra a visual approach (Pugh a.:1976) ทำให้รูปทรงประกอบด้วยรูปห้าเหลี่ยมด้านเท่าและรูปหกเหลี่ยมด้านเท่า มีลักษณะคล้ายกับลูกฟุตบอล

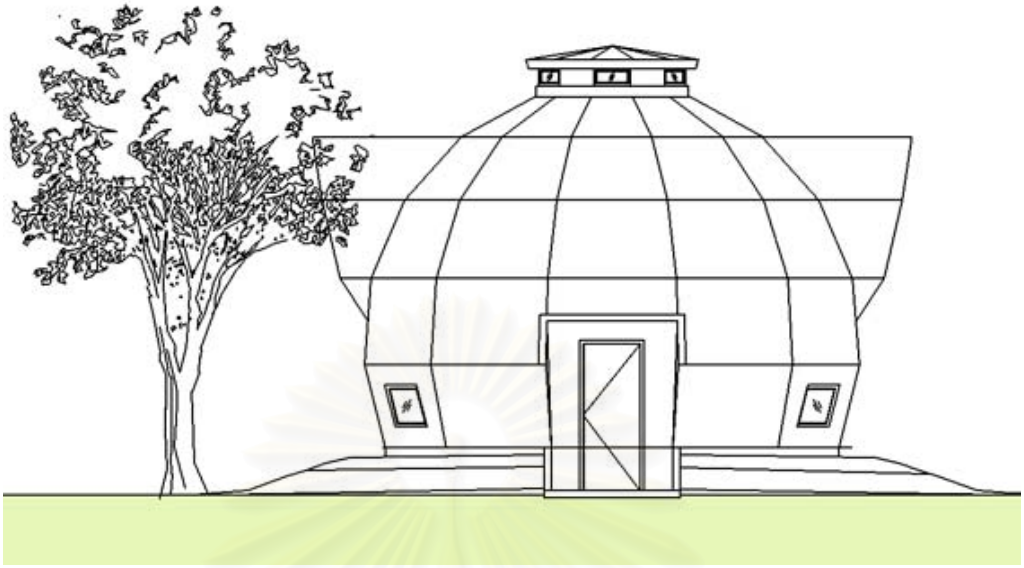
รูปที่ 4-7 แสดงหุ่นจำลองลักษณะของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบให้ใกล้เคียงรูปทรงกลม โดยขึ้นรูปทรงจากรูป Icosahedron, 2 Frequencies ระบบเปลือกอาคารจะประกอบด้วยรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วเพียง 2 ขนาดเท่านั้น แต่ในการก่อสร้างจะเหลือเศษวัสดุ และมีรอยต่อของชิ้นส่วนมาก



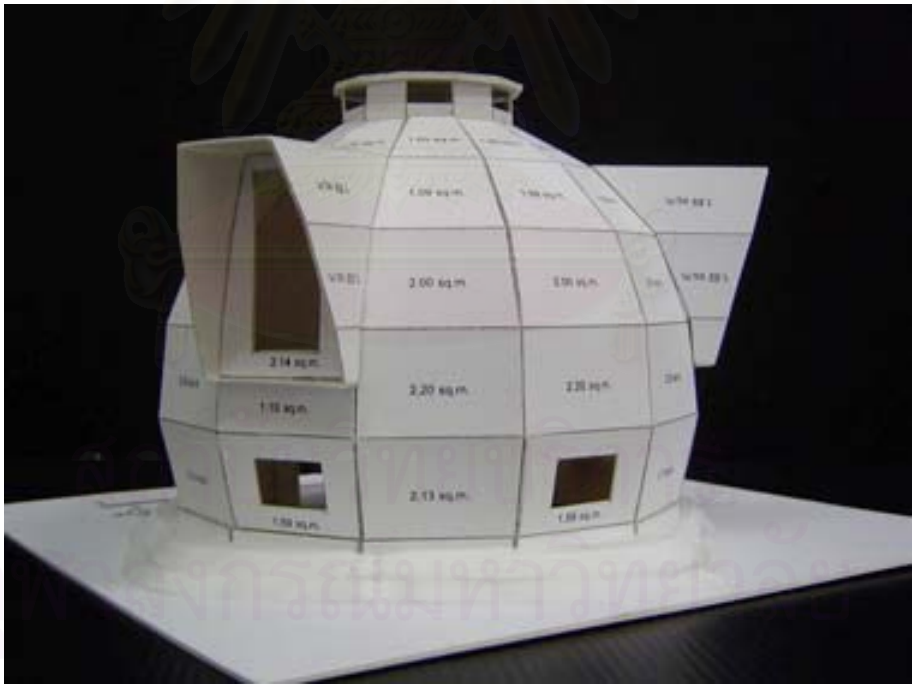
รูปที่ 4-8 แสดงสัดส่วนของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารละค่าใช้จ่ายโดยรวม



รูปที่ 4-9 แสดงรูปตัดของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารละค่าใช้จ่ายโดยรวม



รูปที่ 4-10 แสดงรูปด้านหน้าของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารละค่าใช้จ่ายโดยรวม



รูปที่ 4-11 แสดงหุ่นจำลองลักษณะของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารละค่าใช้จ่ายโดยรวม บริเวณช่องเปิดบนชั้นที่ 2 ออกแบบเพื่อการขยายต่อเติมในอนาคต ในกรณีที่ยังไม่มีการต่อเติมส่วนนี้จะทำหน้าที่เป็นหน้าต่างสำหรับรับแสงธรรมชาติ และเปิดมุมมองให้กับผู้อยู่อาศัย แต่ถ้าจะขยายต่อเติมส่วนนี้จะทำหน้าที่เป็นประตูสำหรับทางสัญจรกับอาคารอื่น

รูปที่ 4-12 แสดงหุ่นจำลองลักษณะของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารละค่าใช้จ่ายโดยรวม ที่ประกอบจากชิ้นส่วนสำเร็จรูป

จากผลการศึกษาในหัวข้อที่ 4.1.2 พื้นที่ฐานของรูปทรงกลมจะมีอิทธิพลต่อพื้นที่เปลือกอาคารมากกว่าความสูง ดังนั้นความสูงของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ เมื่อคำนึงถึงการใช้สอยที่สามารถใช้สอยได้ กับพื้นที่ใช้สอยในชั้นที่ 1 พบว่าในกรณีที่มีความสูง 1 ชั้น จะทำให้บ้านพักอาศัยที่ออกแบบมีพื้นที่เปลือกอาคารประมาณ 138 ตารางเมตร ส่วนในกรณีมีความสูง 2 ชั้น จะทำให้บ้านพักอาศัยที่ออกแบบมีพื้นที่เปลือกอาคารประมาณ 124 ตารางเมตร จึงออกแบบบ้านพักอาศัยมีความสูง 2 ชั้น โดยที่ความสูงจากพื้นชั้นที่ 1 ถึงพื้นชั้นที่ 2 สูง 2.70 เมตร เพื่อติดตั้งเครื่องปรับอากาศภายในฝ้าเพดาน ความสูงจากพื้นชั้นที่ 2 ถึงส่วนยอดสุดของรูปทรงกลมสูง 2.80 เมตร เพื่อพื้นที่ชั้นที่ 2 สามารถใช้สอยบริเวณติดผนังอาคารได้

4.2.3 วิธีการก่อสร้างระบบเปลือกอาคารที่เหมาะสม

จากผลการศึกษาวิธีการก่อสร้างระบบเปลือกอาคารในหัวข้อที่ 4.1.3 สามารถเลือกวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารละค่าใช้จ่ายโดยรวม โดยใช้ผนังฉนวนกันความร้อนภายนอกสำเร็จรูปในส่วนของผนังที่มีช่องเปิด และผนังโครงเหล็ก ฉนวนพันรอบ พ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอกในส่วนของผนังทึบที่ต่อเนื่องกัน แสดงดังรูป 4-15 และ 4-16

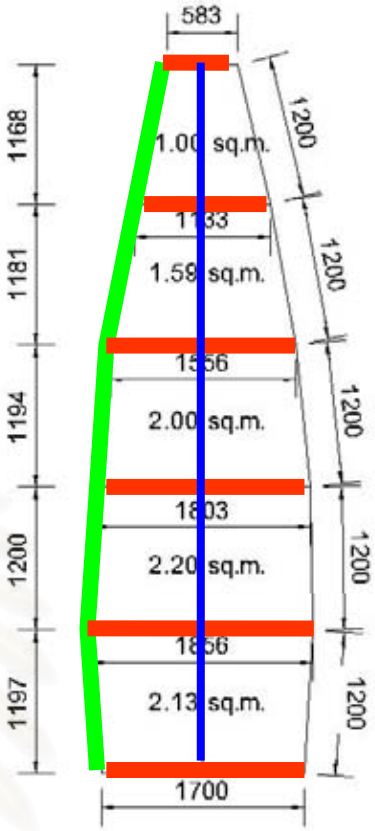
โครงเปลือกอาคาร

ยาวประมาณ 6.00 เมตร

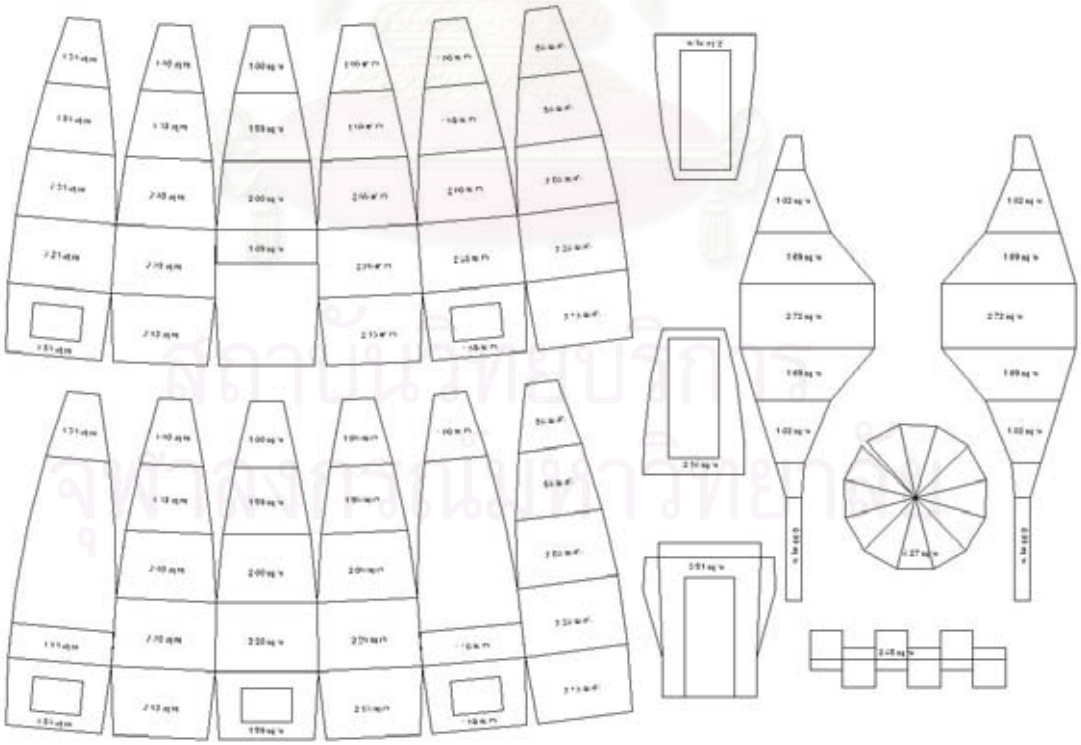
ยาวประมาณ 6.00 เมตร

ยาวประมาณ 9.00 เมตร

ใช้วัสดุมีความยาวทั้งหมด 27 เมตร



รูปที่ 4-13 แสดงขนาดของชิ้นส่วนประกอบเปลือกอาคารของบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารละค่าใช้จ่ายโดยรวม โครงประกอบบ้านออกแบบเพื่อให้เหลือเศษวัสดุให้น้อยที่สุด จากความยาวเหล็ก 6 เมตร



รูปที่ 4-14 แสดงชิ้นส่วนประกอบเปลือกอาคารของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารละค่าใช้จ่ายโดยรวม

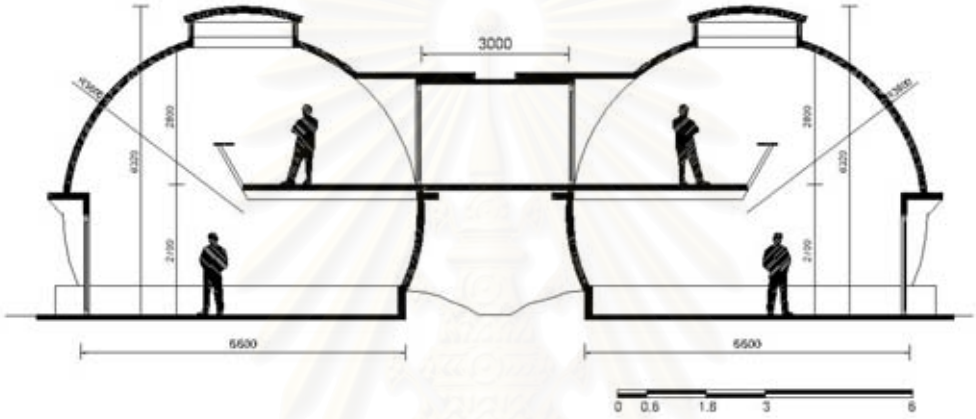
รูปที่ 4-15 แสดงหุ่นจำลองลักษณะของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารละค่าใช้จ่ายโดยรวม เมื่อใช้วิธีการก่อสร้างด้วยผนังฉนวนกันความร้อนภายนอกสำเร็จรูปในส่วนของผนังที่มีช่องเปิด รวมกับผนังโครงเหล็ก ใช้ฉนวนพันรอบ พ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอกในส่วนของผนังทึบที่ต่อเนื่องกัน

รูปที่ 4-16 แสดงหุ่นจำลองลักษณะของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารละค่าใช้จ่ายโดยรวม

4.2.4 การขยายต่อเติม และขนาดของที่ดิน

ผลการศึกษาการขยายต่อเติม และขนาดของที่ดินที่ใช้ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคาร ได้ผลดังนี้

4.2.4.1 การขยายต่อเติมในอนาคต การขยายต่อเติมของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ โดยเมื่อมีการต่อเติมยังคงสามารถอยู่อาศัยในบ้านได้เป็นอย่างดี ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยจะสร้างที่ละหลัง ใช้ทางสัญจรลอยฟ้าเป็นทางเชื่อมระหว่างบ้านพักอาศัย เพื่อเพิ่มบรรยากาศในการอยู่อาศัย และความสะดวกในการต่อเติม แต่ทั้งนี้ควรคำนึงถึงพื้นที่เปลือกอาคารที่เพิ่มขึ้น เปรียบเทียบกับการก่อสร้างบ้านพักอาศัยขนาดใหญ่เพียงหลังเดียว และค่าก่อสร้าง



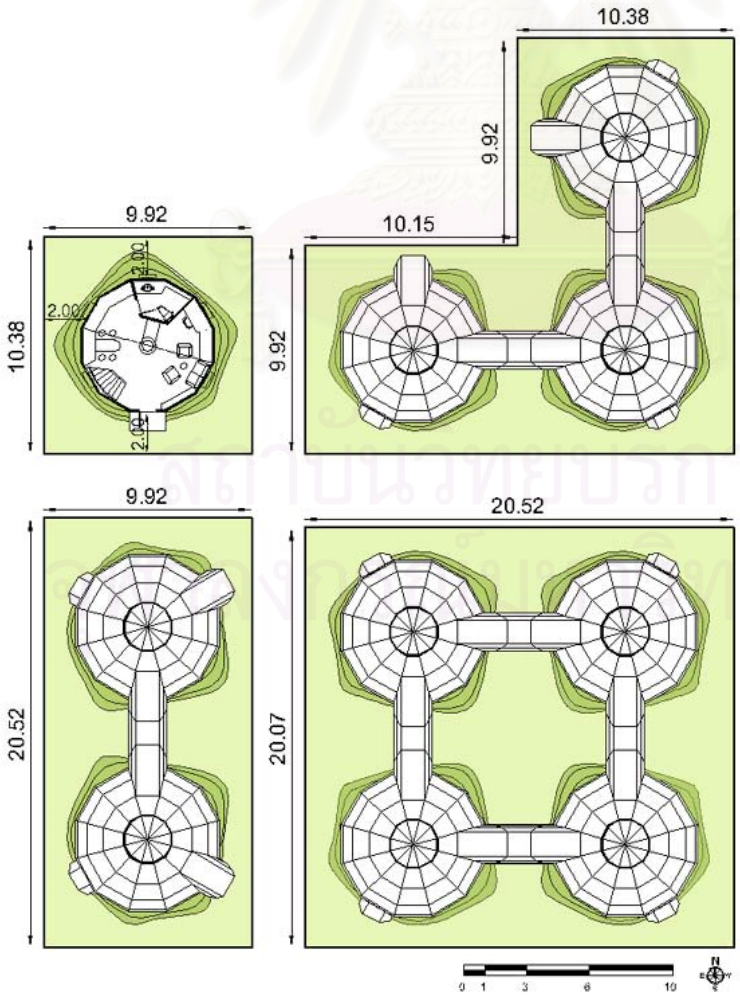
รูปที่ 4-17 แสดงรูปตัดบริเวณที่ออกแบบเพื่อการขยายต่อเติมในอนาคต ของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารละค่าใช้จ่ายโดยรวม

รูปที่ 4-18 แสดงหุ่นจำลองการขยายต่อเติมในอนาคต ของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารละค่าใช้จ่ายโดยรวมที่ออกแบบ

4.2.4.2 **ขนาดของที่ดินที่ใช้ในการก่อสร้าง** ขนาดของที่ดินที่ใช้ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม จะใช้ขนาดที่ดินที่เล็กที่สุด มีรายละเอียดดังนี้

- ขนาดของที่ดินในการก่อสร้างบ้าน 1 หลัง
  ใช้พื้นที่ประมาณ 100 ตารางเมตร หรือ 20 ตารางวา
- ขนาดของที่ดินในการก่อสร้างบ้าน 2 หลัง
  ใช้พื้นที่ประมาณ 200 ตารางเมตร หรือ 40 ตารางวา
- ขนาดของที่ดินในการก่อสร้างบ้าน 3 หลัง
  ใช้พื้นที่ประมาณ 300 ตารางเมตร หรือ 60 ตารางวา
- ขนาดของที่ดินในการก่อสร้างบ้าน 4 หลัง
  ใช้พื้นที่ประมาณ 400 ตารางเมตร หรือ 80 ตารางวา

จากขนาดของที่ดินและรูปแบบของผังพื้นของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ ทำให้สัดส่วนระหว่างพื้นที่อาคารต่อพื้นที่ว่าง 40:60 ดังนั้นในการก่อสร้างจริงควรศึกษารูปแบบอาคารและการวางตำแหน่งอาคาร เพื่อลดระยะร่นให้น้อยที่สุด ส่งผลให้สามารถใช้ขนาดของที่ดินเล็กลง



รูปที่ 4-19 แสดงขนาดที่ดินที่เล็กที่สุด สำหรับก่อสร้างบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ

4.3 ผลการประเมินค่าใช้จ่าย และระยะเวลาในการก่อสร้างโดยรวมของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ

ผลการประเมินค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการก่อสร้างโดยรวมของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวมเปรียบเทียบกับบ้านพักอาศัยขนาดเล็กโดยทั่วไป ในงานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบกับบ้านเดี่ยวสูง 2 ชั้น ของโครงการบ้านเอื้ออาทร

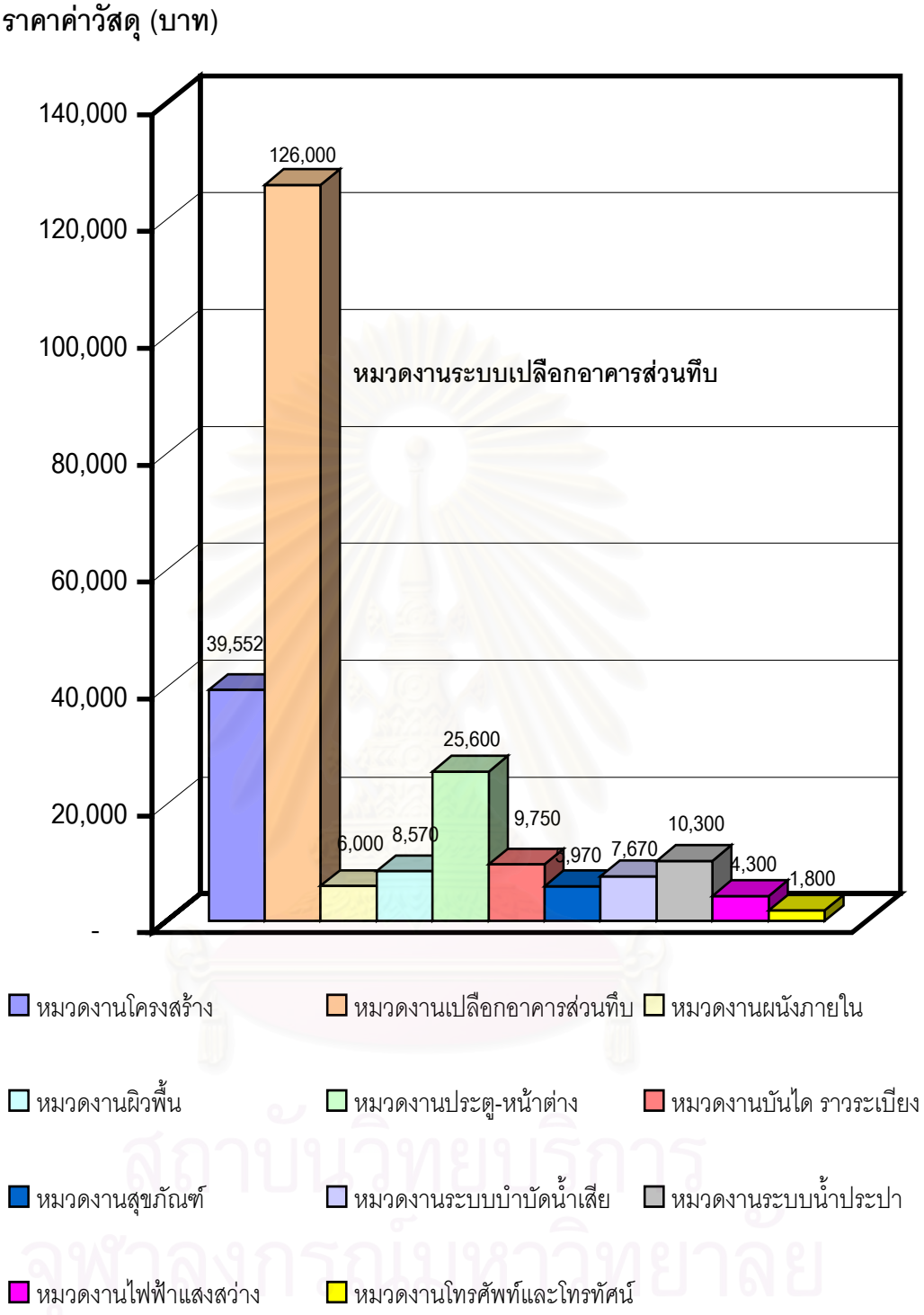
ตารางที่ 4-8 แสดงรายละเอียดของวิธีการก่อสร้างระบบเปลือกอาคารต่างๆ เมื่อใช้ก่อสร้างบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม

รายการ	ราคา/ตร.ม. (บาท)	น้ำหนัก/ตร.ม. (กิโลกรัม)	ระยะเวลา (ชั่วโมง/คน)	ราคารวม (บาท)	น้ำหนักรวม (กิโลกรัม)	รอยต่อ (เมตร)
ผนังฉนวนกันความร้อนภายนอกสำเร็จรูป	1,065	39	96	127,800	4,680	166
ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป บุฉนวนกันความร้อนภายใน	1,075	120	300	129,000	14,400	210
ผนังโครงเหล็ก พ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอก บุฉนวนกันความร้อนภายใน	815	65	536	97,800	7,800	-
ผนังโครงเหล็ก ใช้ฉนวนพันรอบ พ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอก	1,025	51	196	123,000	6,120	-

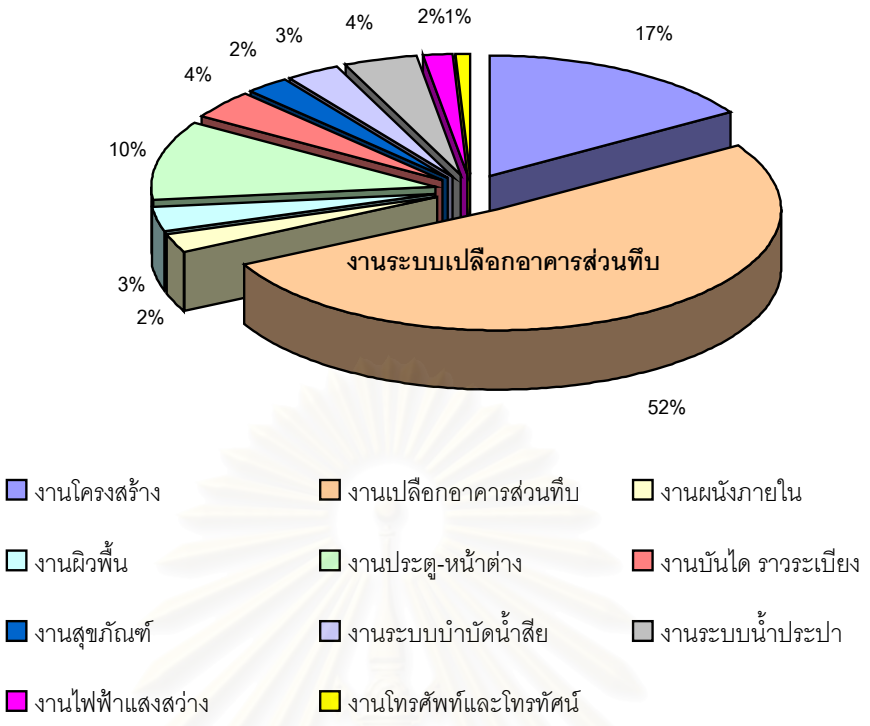
4.3.1 ปริมาณและราคาวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง

ผลการประเมินราคาค่าวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารทั้งหมดประมาณ 245,512 บาท ถ้าคิดค่าแรงงานในการก่อสร้างตามภาคผนวก ค ค่าแรงงานที่ใช้ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยที่ออกแบบประมาณ 77,261 บาท รวมค่าก่อสร้างทั้งสิ้นประมาณ 322,773 บาทต่อหน่วย หรือประมาณ 6,369 บาทต่อตารางเมตร

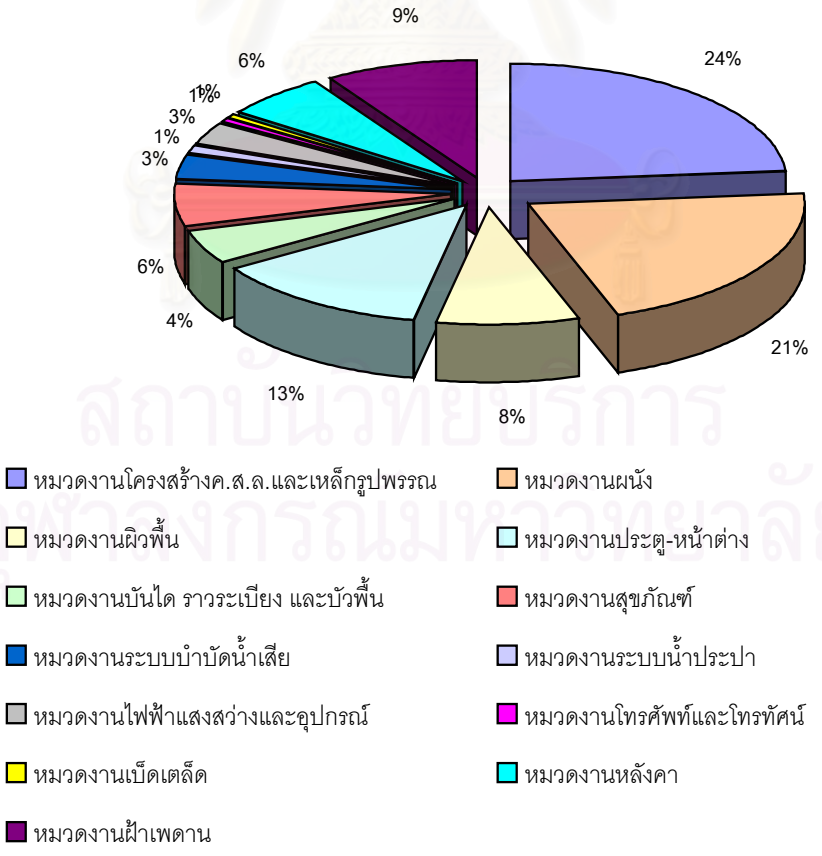
บ้านเอื้ออาทรมีค่าที่ดินประมาณ 100,000 บาทต่อหน่วย ค่าก่อสร้างอีก 240,000-250,000 บาท ค่าดำเนินการบวกดอกเบี้ย ระหว่างก่อสร้างและอื่นๆ รวมแล้วประมาณ 470,000 บาท หักเงินอุดหนุนรัฐบาล 80,000 บาท ราคาขายอยู่ที่ 390,000 บาท (ประทีป อิทธิเมฆินทร์: 2546) เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาคิดราคาค่าก่อสร้างจริงของบ้านเอื้ออาทร โดยหักค่าดำเนินการและอื่นๆ ประมาณ 30%ของค่าก่อสร้างทั้งหมด (คิดจากการประมาณราคาค่าก่อสร้างของบ้านพักอาศัยทั่วไปในปัจจุบัน) และค่าที่ดินประมาณหน่วยละ 100,00 บาท ราคาค่าก่อสร้างจริงของบ้านเอื้ออาทรจะอยู่ที่หน่วยละ 285,000 บาท หรือประมาณ 5,180 บาทต่อตารางเมตร



แผนภูมิที่ 4-6 แสดงการเปรียบเทียบราคาค่าวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม พบว่าราคาค่าวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยที่ออกแบบทั้งหมดประมาณ 245,512 บาท ในหมวดงานเปลือกอาคารส่วนทึบจะมีราคาค่าวัสดุสูงกว่าหมวดงานอื่นๆ คือมีราคาค่าวัสดุประมาณ 126,000 บาท ซึ่งมีราคาค่าวัสดุประมาณครึ่งหนึ่งของราคาค่าวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างบ้านทั้งหมด



แผนภูมิที่ 4-7 แสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนราคาค่าวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม



แผนภูมิที่ 4-8 แสดงเปรียบเทียบสัดส่วนราคาค่าวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างบ้านเอื้ออาทร

4.3.2 ระยะเวลาในการก่อสร้าง

ผลการประเมินราคาค่าวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม ใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างรวมทั้งสิ้น 6 วัน โดยใช้แรงงานช่างฝีมือจำนวน 6 คน โดยแบ่งเป็น

หมวดงานเปลือกอาคารส่วนทึบ

- ผนังที่มีช่องเปิดใช้ผนังฉนวนกันความร้อนสำเร็จรูป มีพื้นที่ประมาณ 30 ตารางเมตร ใช้แรงงานฝีมือจำนวน 6 คน ใช้ระยะเวลาในการก่อสร้าง 4 ชั่วโมง
- ผนังที่เชื่อมต่อเนื่องกันใช้ผนังโครงเหล็ก ฉนวนพันรอบ พ่นหรือเคลือบด้วยคอนกรีต มีพื้นที่ประมาณ 120 ตารางเมตรใช้แรงงานฝีมือจำนวน 6 คน ใช้ระยะเวลาในการก่อสร้าง 20 ชั่วโมง

หมวดงานอื่น ๆ

- งานโครงสร้างใช้ระยะเวลาในการก่อสร้าง	1	วัน
- งานผนังภายใน,งานบันได, ใช้ระยะเวลาในการก่อสร้าง	1	วัน
- งานผิวพื้น และงานประตูหน้าต่างใช้ระยะเวลาในการก่อสร้าง	1	วัน
- งานระบบต่างๆใช้ระยะเวลาในการก่อสร้าง	1	วัน
รวมใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างทั้งหมด	**7**	**วัน**

โดยคิดระยะเวลาในการทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน และเมื่อคิดถึงการจัดลำดับในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยจะทำให้สามารถลดเวลาในการก่อสร้างลงเหลือ 6 วัน

บ้านเอื้ออาทรประเมินระยะเวลาในการก่อสร้างจาก ความเร็วในการก่อสร้างบ้านเดี่ยวพักอาศัยสูง 2 ชั้น ใช้เวลาประมาณ 1.40 ตารางเมตรต่อวัน (นรมิตร ลิ่วธนมงคล: 2538) โดยบ้านเอื้ออาทรมีพื้นที่ใช้สอยรวมทั้งสิ้น 55 ตารางเมตร

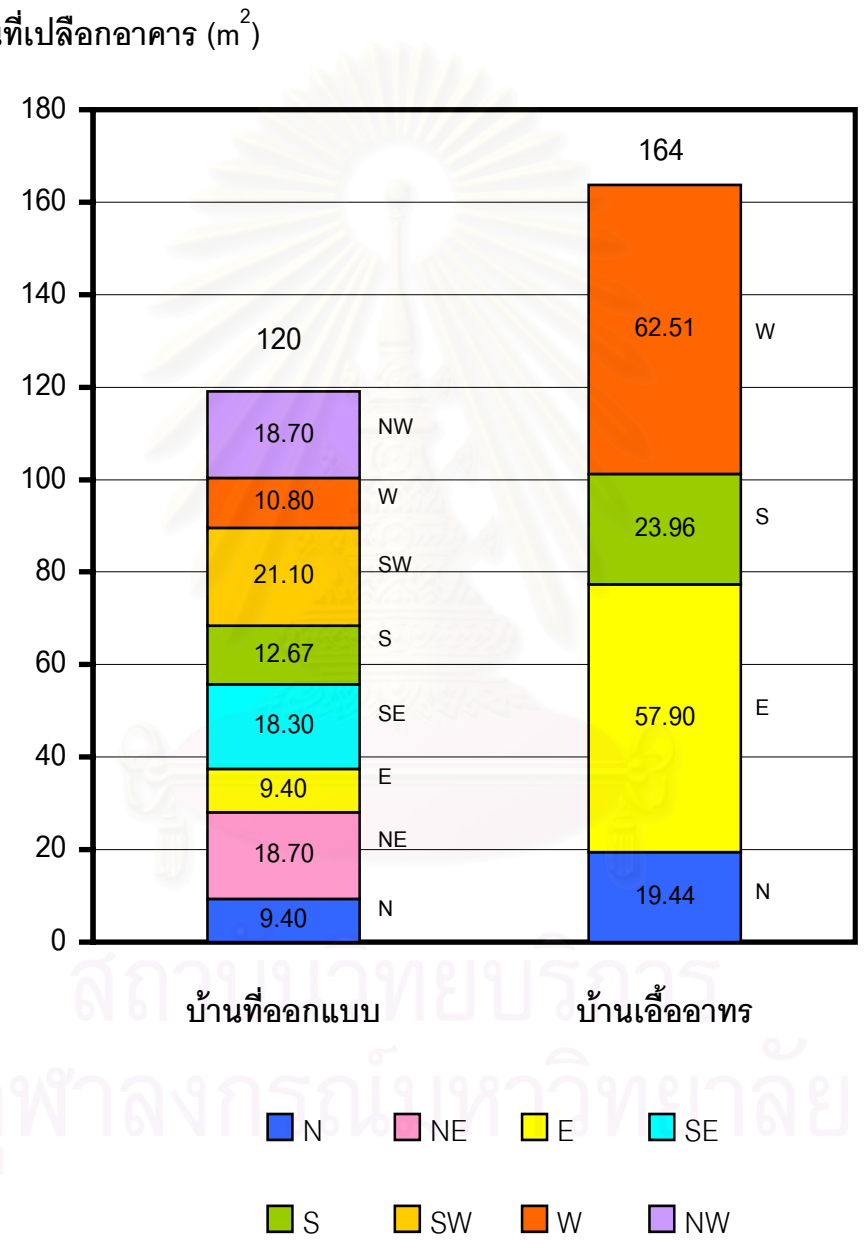
คิดเป็นระยะเวลาในการก่อสร้างประมาณ	**40**	**วัน**

ดังนั้นเมื่อคิดราคาค่าก่อสร้างบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม โดยใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างรวมทั้งสิ้น 6 วัน โดยใช้แรงงานช่างฝีมือจำนวน 6 คน ในการคำนวณค่าแรงจากค่าแรงฝีมือขั้นสูงประมาณ 300 บาทต่อคนต่อวัน (อัลฟา ทีม:2545)

ค่าแรงที่ใช้ในการก่อสร้าง	10,800	บาท
ราคาค่าวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง	245,512	บาท
รวมราคาทั้งสิ้น	**256,312**	**บาท**
คิดเป็นราคา	**5,130**	**บาทต่อตารางเมตร**

4.4 ผลการประเมินศักยภาพในการประหยัดพลังงานของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ

การประเมินศักยภาพศักยภาพในการประหยัดพลังงาน ของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม โดยการเปรียบเทียบกับบ้านพักอาศัยขนาดเล็กทั่วไป ในงานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบกับบ้านเดี่ยวสูง 2 ชั้น ของโครงการบ้านเอื้ออาทร



แผนภูมิที่ 4-9 แสดงการเปรียบเทียบพื้นที่เปลือกอาคาร (ไม่รวมเปลือกอาคารระนาบนอน และเปลือกอาคารที่อยู่ใต้ดิน) ในแต่ละทิศระหว่างบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม กับบ้านเอื้ออาทร พบว่าพื้นที่เปลือกอาคารของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบมีพื้นที่เปลือกอาคารต่ำกว่าบ้านเอื้ออาทรประมาณ 44 ตารางเมตร

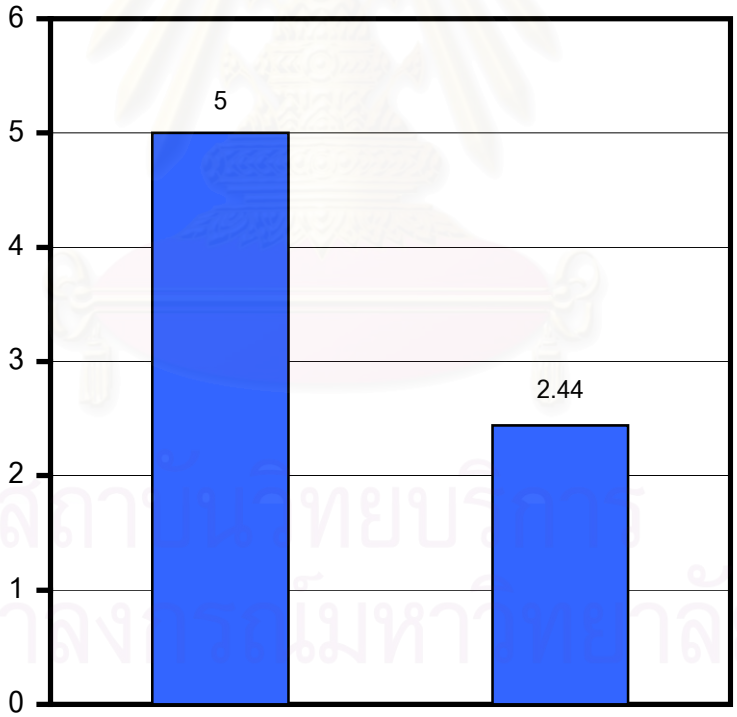
4.4.1 อัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอย

ผลการประเมินอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวมโดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-9 แสดงรายละเอียดที่ใช้คำนวณอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ กับบ้านเอื้ออาทร

รายการ	บ้านพักอาศัยที่ออกแบบ	บ้านเอื้ออาทร
พื้นที่เปลือกอาคาร	132	164
พื้นที่เปลือกอาคารระนาบนอน	34	41
รวมพื้นที่เปลือกอาคาร	166	205
พื้นที่ใช้สอยรวมในส่วนปรับอากาศ	68	41

อัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคาร/พื้นที่ใช้สอย

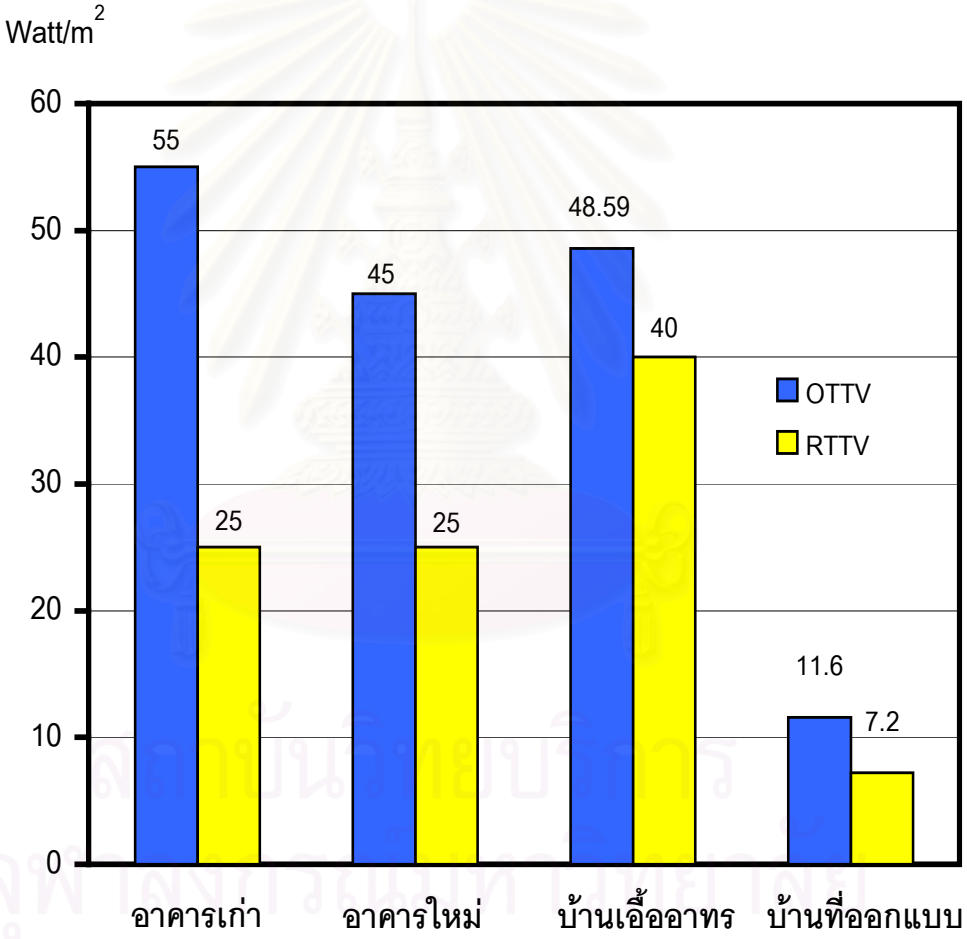


แผนภูมิที่ 4-10 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยระหว่างบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม กับบ้านเอื้ออาทร พบว่าอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ ต่ำกว่าบ้านเอื้ออาทรประมาณ 2 เท่า

4.4.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเปลือกอาคาร

การประเมินเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเปลือกอาคาร บ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม บ้านเอื้ออาทร กับอาคารเก่า และอาคารใหม่ ตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535

ในแผนภูมิที่ 4-10 พบว่า บ้านพักอาศัยที่ออกแบบมีค่า OTTV ต่ำกว่าอาคารใหญ่ตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ประมาณ 3.88 เท่า และต่ำกว่าบ้านเอื้ออาทรประมาณ 4.19 เท่า โดยมีค่า RTTV ต่ำกว่าอาคารใหม่ประมาณ 3.47 เท่าและต่ำกว่าบ้านเอื้ออาทรประมาณ 5.55 เท่า

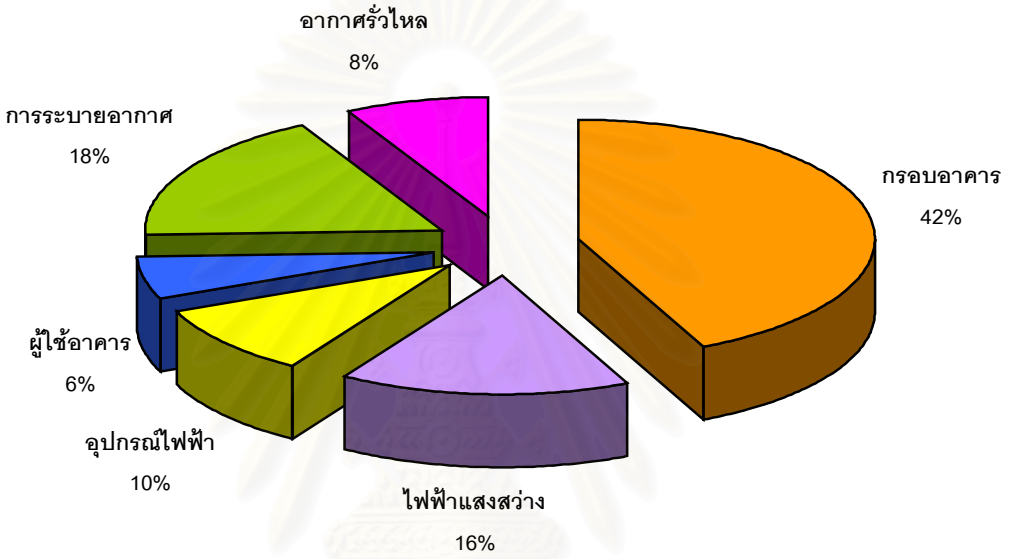


แผนภูมิที่ 4-11 แสดงการเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเปลือกอาคาร บ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม บ้านเอื้ออาทร กับอาคารเก่า และอาคารใหม่ ตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 พบว่าบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ มีค่า OTTV เท่ากับ 11.6 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีค่า RTTV เท่ากับ 7.2 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งต่ำกว่าบ้านเอื้ออาทร อาคารเก่า และอาคารใหม่มาก

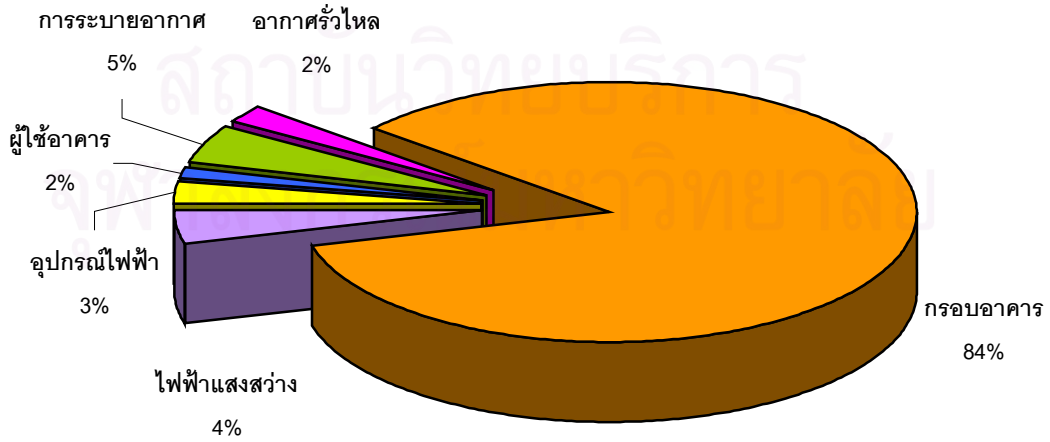
4.4.3 ภาระในการปรับอากาศ และการใช้พลังงานรวม

4.4.3.1 ภาระในการปรับอากาศ ผลการประเมินภาระในการปรับอากาศของบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่าย เปรียบเทียบกับบ้านเอื้ออาทรได้ผลดังนี้

1. สัดส่วนของภาระในการปรับอากาศ ได้แก่ อากาศรั่วไหล, การระบายอากาศ, ผู้ใช้อาคาร, อุปกรณ์ไฟฟ้า, ไฟฟ้าแสงสว่าง และกรอบอาคาร



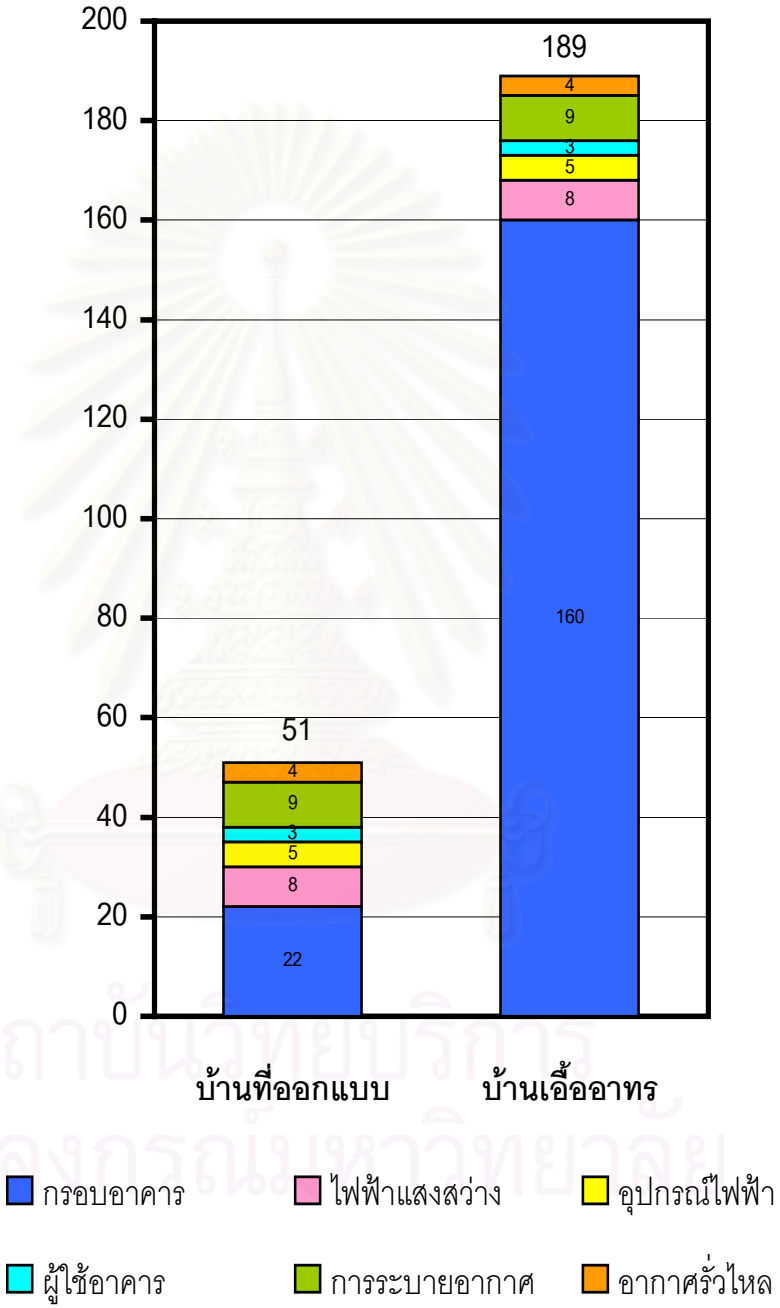
แผนภูมิที่ 4-12 แสดงสัดส่วนของภาระในการปรับอากาศ ของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม พบว่าภาระในการปรับอากาศจากกรอบอาคารมีสัดส่วนประมาณ 42%



แผนภูมิที่ 4-13 แสดงสัดส่วนของภาระในการปรับอากาศ ของบ้านเอื้ออาทร พบว่าภาระในการปรับอากาศจากกรอบอาคารมีสัดส่วนประมาณ 84%

2. ภาระทั้งหมดของระบบปรับอากาศจาก อากาศรั่วไหล, การระบายอากาศ, ผู้ใช้อาคาร, อุปกรณ์ไฟฟ้า, ไฟฟ้าแสงสว่าง และกรอบอาคาร

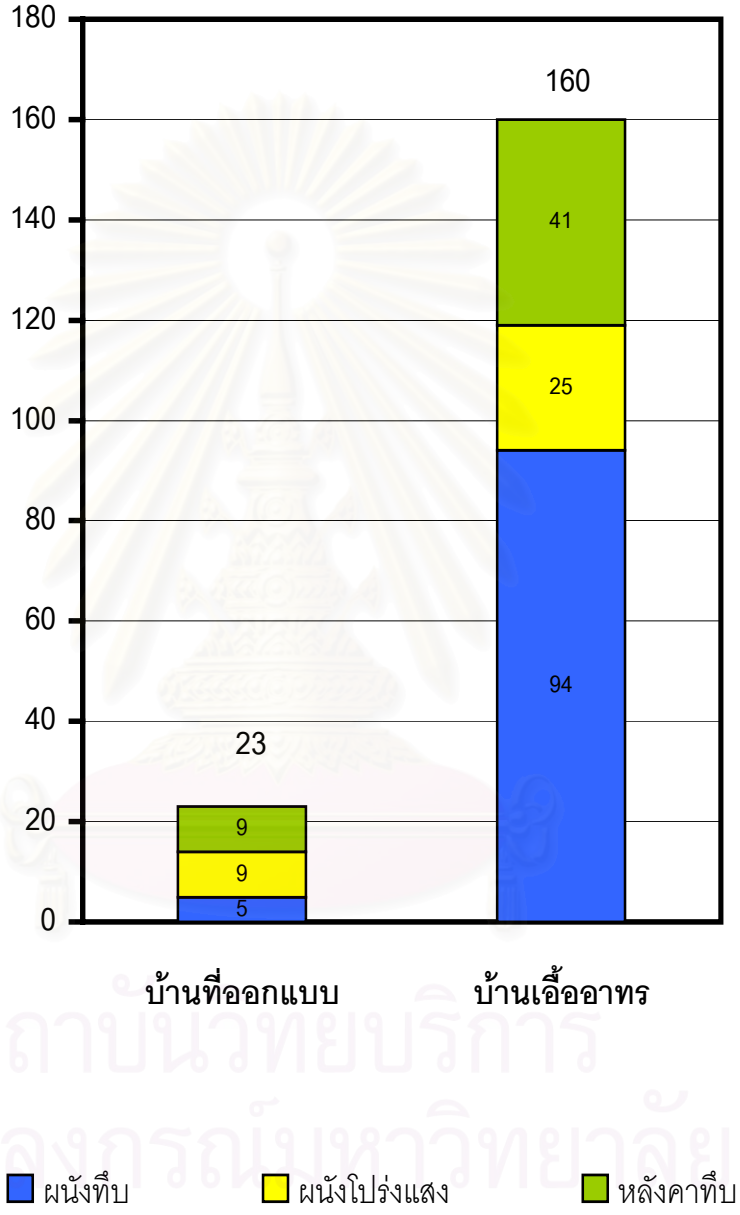
ภาระทั้งหมดของระบบปรับอากาศ (kW-h)



แผนภูมิที่ 4-14 แสดงการเปรียบเทียบภาระทั้งหมดของระบบปรับอากาศระหว่าง บ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม กับบ้านเอื้ออาทร พบว่าภาระทั้งหมดของระบบปรับอากาศ**ข อ ง** บ้านพักอาศัยที่ออกแบบน้อยกว่าบ้านเอื้ออาทรประมาณ 138 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

3. ภาระจากเปลือกอาคารในระบบปรับอากาศจาก ผนังทึบ, ผนังโปร่งแสง และหลังคาทึบ

ภาระจากกรอบอาคารในระบบปรับอากาศ (kW-h)

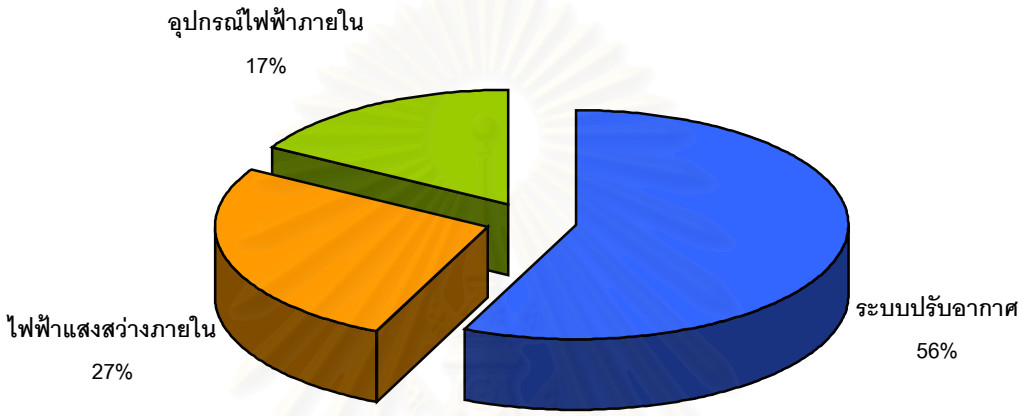


แผนภูมิที่ 4-15 แสดงการเปรียบเทียบภาระจากเปลือกอาคารในระบบปรับอากาศ ระหว่าง บ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม กับบ้านเอื้ออาทร พบว่าภาระจากเปลือกอาคารในระบบปรับอากาศของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบน้อยกว่าบ้านเอื้ออาทรประมาณ 137 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

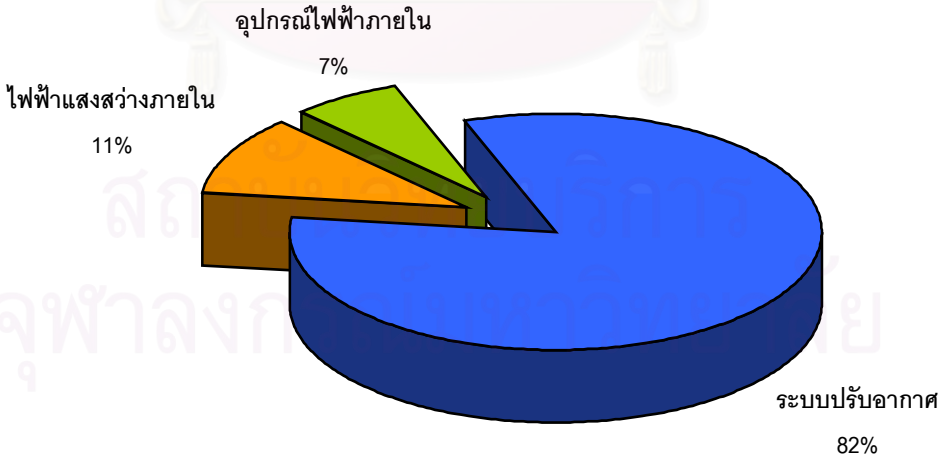
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.3.2 **การใช้พลังงานโดยรวม** ผลการประเมินการใช้พลังงานโดยรวมของบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่าย เปรียบเทียบกับบ้านเอื้ออาทรได้ผลดังนี้

1. สัดส่วนการใช้พลังงานโดยรวมของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายใน ไฟฟ้าแสงสว่างภายใน และระบบปรับอากาศ ในการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง



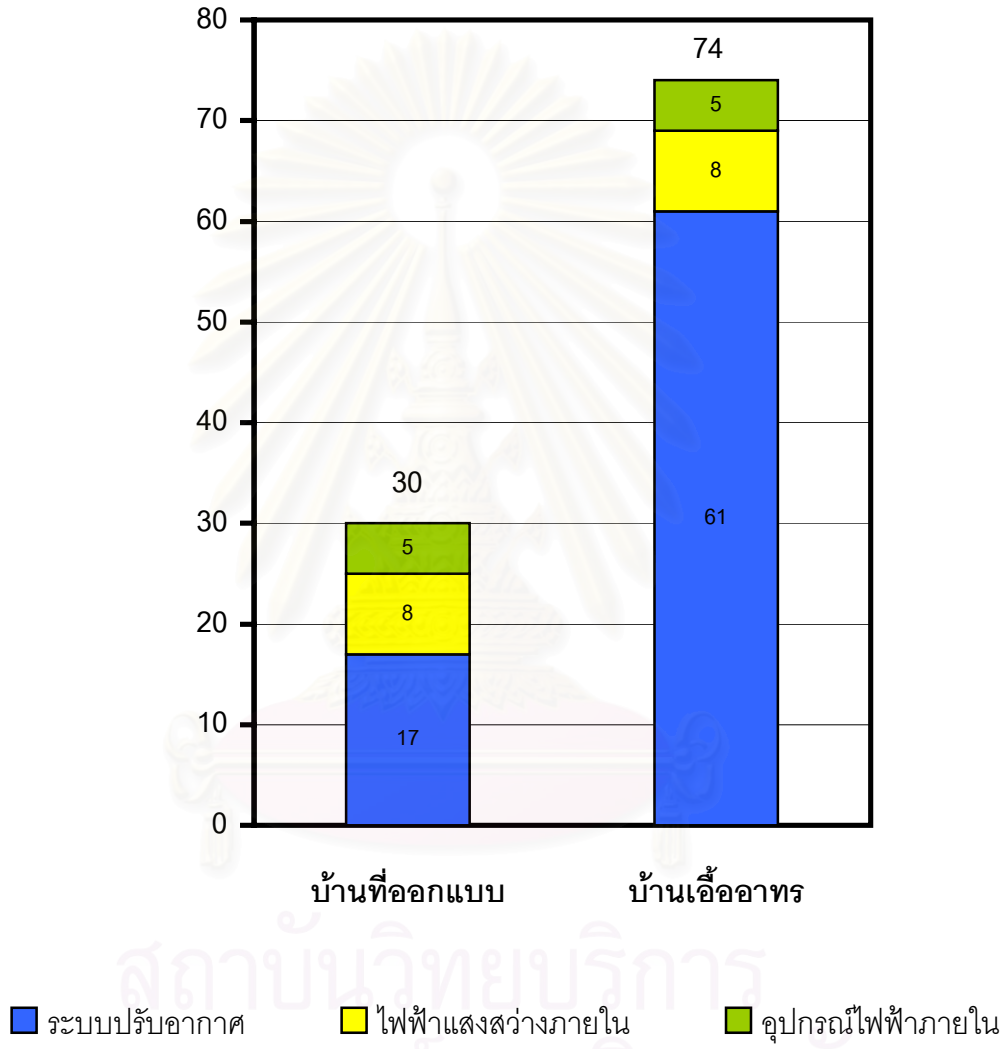
แผนภูมิที่ 4-16 แสดงแสดงสัดส่วนการใช้พลังงานโดยรวมในการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม พบว่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมีสัดส่วนประมาณ 56%



แผนภูมิที่ 4-17 แสดงแสดงสัดส่วนการใช้พลังงานโดยรวมในการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ของบ้านเอื้ออาทร พบว่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมีสัดส่วนประมาณ 82%

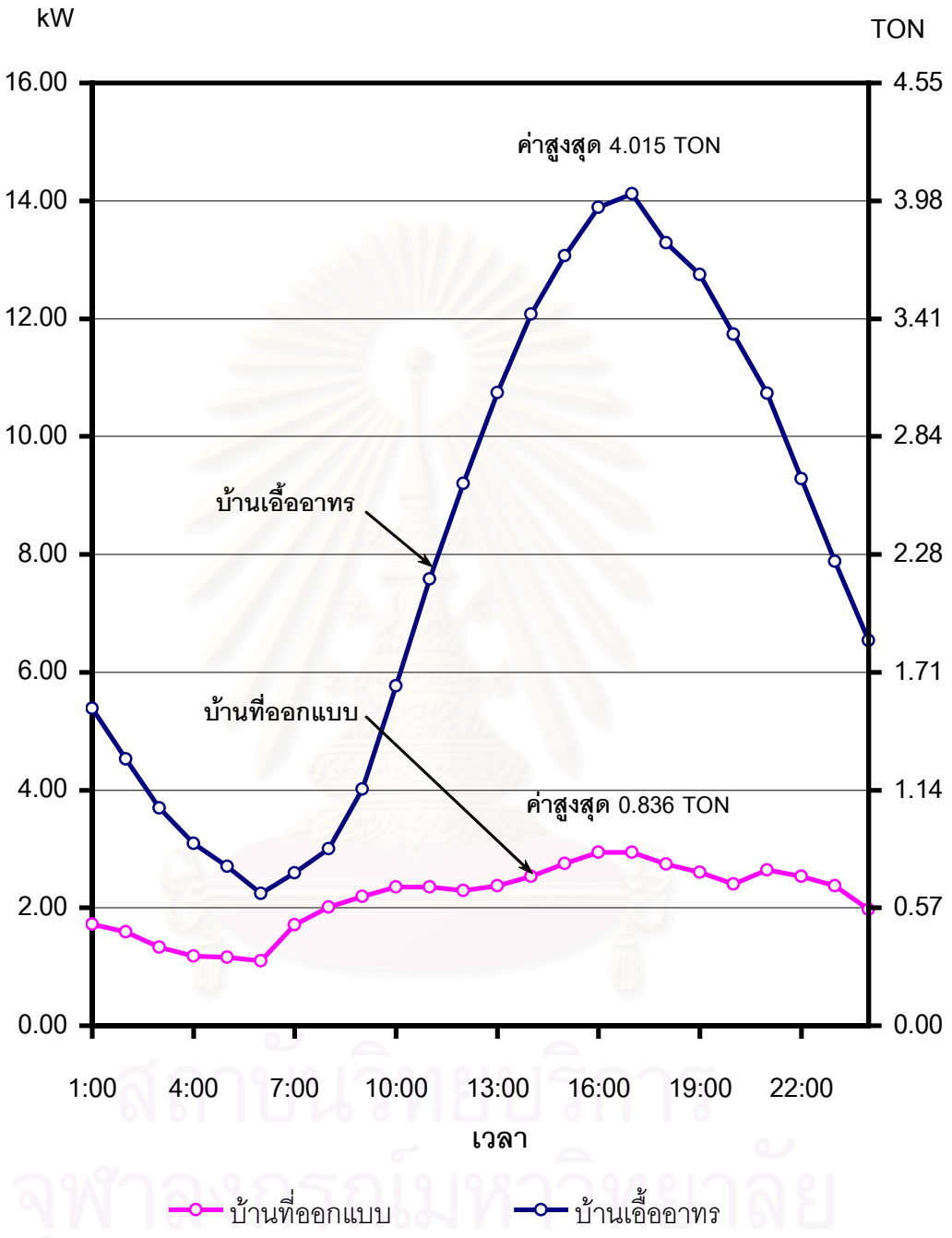
2. การใช้พลังงานในวันที่มีการใช้พลังงานสูงสุด (วันอาทิตย์ที่ 19 เมษายน) ของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายใน ไฟฟ้าแสงสว่างภายใน และระบบปรับอากาศ ในการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง

วันที่มีการใช้พลังงานสูงสุด (kW-h) **ในวันที่** 19 **เม.ย.**



แผนภูมิที่ 4-18 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานโดยรวมในการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ในวันที่มีการใช้พลังงานสูงสุด ของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม กับบ้านเอื้ออาทร พบว่าการใช้พลังงานโดยรวมของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบน้อยกว่าบ้านเอื้ออาทรประมาณ 44 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

3. ขนาดของเครื่องปรับอากาศ ในการปรับอากาศทั้งอาคาร



แผนภูมิที่ 4-19 แสดงแสดงการเปรียบเทียบขนาดของเครื่องปรับอากาศในการปรับอากาศทั้งอาคาร ของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคาร และค่าใช้จ่ายโดยรวม กับบ้านเอื้ออาทร ในวันที่มีการใช้พลังงานสูงสุด พบว่าบ้านพักอาศัยที่ออกแบบจะใช้ขนาดเครื่องปรับอากาศประมาณ 0.9 ตัน (10,800 Btu/h) หรือคิดประมาณ 55 ตารางเมตรต่อตันความเย็น ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าบ้านเอื้ออาทรประมาณ 4 เท่า

4. ค่าไฟฟ้าทั้งหมดของอาคาร คำนวณด้วยโปรแกรม OTTVEE Version 1.0a แสดงในภาคผนวก จ ได้ผลดังนี้

บ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 1,750 บาทต่อเดือน ในการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง โดยมีค่าไฟฟ้าสูงสุดในเดือนมีนาคม, เดือนเมษายน และเดือนพฤษภาคม ประมาณ 2,100 บาทต่อเดือน

บ้านเอื้ออาทรมีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 4,250 บาทต่อเดือน ในการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง โดยมีค่าไฟฟ้าสูงสุดในเดือนมีนาคม, เดือนเมษายน และเดือนพฤษภาคม ประมาณ 5,000 บาทต่อเดือน

สรุปได้ว่าบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนต่ำกว่าบ้านเอื้ออาทรถึงประมาณเดือนละ 2,500 บาท หรืออาจจะสรุปได้ว่าบ้านพักอาศัยที่ออกแบบมีค่าไฟฟ้าต่อปี 21,000 บาท ซึ่งจะสามารถลดค่าไฟฟ้าลงได้ถึงประมาณปีละ 30,000 บาท

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ตัวแปร และอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการออกแบบบ้านพักอาศัย เพื่อลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม

จากการออกแบบบ้านพักอาศัย เพื่อลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม สามารถสรุปตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการออกแบบ ได้ดังนี้

1. **ขนาดและรูปแบบของผังพื้นบ้านพักอาศัย**

อิทธิพลของตัวแปรรูปแบบของผังพื้นที่มีผลต่อพื้นที่เปลือกอาคาร จะพบว่าผังพื้นที่มีความยาวของเส้นรอบรูปน้อยที่สุดคือผังพื้นรูปวงกลม ดังนั้นผังพื้นรูปวงกลมจึงเป็นรูปแบบที่มีแนวโน้มให้อาคารมีพื้นที่เปลือกอาคารน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบผังพื้นอื่นๆ ที่มีพื้นที่ภายในเท่ากัน และสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ภายในที่เพิ่มขึ้นกับความยาวของเส้นรอบรูปของวงกลม ได้จากสมการ

ความยาวเส้นรอบรูปของวงกลม $= 3.5449077\sqrt{x}$

โดยที่ x = พื้นที่ภายในของวงกลม

2. **รูปทรงและความสูงของบ้านพักอาศัย**

อิทธิพลของตัวแปรพื้นที่ภายใน และความสูงที่มีผลต่อพื้นที่เปลือกอาคาร จะพบว่ารูปทรงที่มีอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยต่ำที่สุดคือรูปทรงกลม รูปทรงกลมจึงเป็นรูปทรงที่มีพื้นที่เปลือกอาคารน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับรูปทรงอื่นๆ ที่มีพื้นที่ภายในเท่ากัน และสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ภายใน และความสูงกับพื้นที่เปลือกอาคารของรูปทรงกลม ได้จากสมการ

พื้นที่เปลือกอาคารของรูปทรงกลม $= x + (3.5449077 \bullet H \bullet \sqrt{x})$

โดยที่ x = พื้นที่ภายในฐานของรูปทรงกลม

H = ความสูงของรูปทรงกลม

3. **วิธีการก่อสร้างระบบเปลือกอาคาร**

อิทธิพลของตัวแปรวิธีการก่อสร้างระบบเปลือกอาคารที่เหมาะสมสำหรับบ้านพักอาศัยที่ใช้รูปทรงที่มีพื้นที่เปลือกอาคารน้อยที่สุด ที่สามารถก่อสร้างระบบเปลือกอาคารได้กับอาคารทุกรูปทรง โดยศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับวิธีการก่อสร้างระบบเปลือกอาคารด้วยการเปรียบเทียบกับพื้นที่เปลือกอาคาร 1 ตารางเมตร และใช้โครงเหล็กสำเร็จรูป ดังนี้

ตารางที่ 5-1 แสดงรายละเอียดของวิธีการก่อสร้างเปลือกอาคารต่างๆ โดยเปรียบเทียบกับพื้นที่เปลือกอาคาร 1 ตารางเมตร

รายการ	ราคา/ตร.ม. (บาท)	น้ำหนัก/ตร.ม. (กิโลกรัม)	ระยะเวลา (ชั่วโมง/ตร.ม./คน)
ผนังฉนวนกันความร้อนภายนอกสำเร็จรูป	1,065	39	0.80
ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป บุฉนวนกันความร้อนภายใน	1,075	120	2.50
ผนังโครงเหล็ก พ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอก บุฉนวนกันความร้อนภายใน	815	65	3.84
ผนังโครงเหล็ก ใช้ฉนวนพันรอบ พ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอก	1,025	51	1.00

5.1.2 **การประยุกต์ใช้ตัวแปรต่างๆ ในการออกแบบบ้านพักอาศัย เพื่อลดพื้นที่เปลือกอาคาร และค่าใช้จ่ายโดยรวม**

1. **ขนาดและรูปแบบของผังพื้นบ้านพักอาศัย**

1.1 ขนาดของพื้นที่ใช้สอยของบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็กอยู่ที่ประมาณ 40-60 ตารางเมตร

1.2 รูปแบบผังพื้นของบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็ก ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคาร ควรเป็นรูปวงกลม หรือมีสัดส่วนใกล้เคียงวงกลมมากที่สุด

2. **รูปทรง และความสูงของบ้านพักอาศัย**

2.1 บ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็ก ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารควรออกแบบรูปทรงอาคารเป็นรูปทรงกลม หรือใกล้เคียงรูปทรงกลมให้มากที่สุด เพื่อให้อัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยน้อยที่สุด

2.2 บ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็ก ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคาร มีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 40-60 ตารางเมตร ควรมีความสูง 2 ชั้น เพื่อให้อัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยน้อยที่สุด และมีความสูงของอาคารประมาณ 5.5-6 เมตร

3. วิธีการก่อสร้างระบบเปลือกอาคารที่เหมาะสม

วิธีก่อสร้างระบบเปลือกอาคารที่เหมาะสมกับบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็ก ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารควรมีคุณสมบัติดังนี้

- มีราคาโดยรวมของทั้งระบบไม่แพงกว่าวิธีการก่อสร้างทั่วไป
- สามารถก่อสร้างได้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว
- มีน้ำหนักเบา
- ไม่เหลือเศษวัสดุ หรือเหลือเศษวัสดุในการก่อสร้างให้น้อยที่สุด
- สามารถป้องกันความร้อนและความชื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 5-2 แสดงรายละเอียดของวิธีการก่อสร้างเปลือกอาคารต่างๆ เมื่อใช้ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคาร

รายการ	ราคา/ตร.ม. (บาท)	น้ำหนัก/ตร.ม. (กิโลกรัม)	ระยะเวลา (ชั่วโมง/คน)	ราคารวม (บาท)	น้ำหนักรวม (กิโลกรัม)	รอยต่อ (เมตร)
ผนังฉนวนกันความร้อนภายนอกสำเร็จรูป	1,065	39	96	127,800	4,680	166
ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป บุฉนวนกันความร้อนภายใน	1,075	120	300	129,000	14,400	210
ผนังโครงเหล็ก พ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอก บุฉนวนกันความร้อนภายใน	815	65	461	97,800	7,800	-
ผนังโครงเหล็ก ใช้ฉนวนพันรอบ พ่นหรือเคลือบผิวคอนกรีตภายนอก	1,025	51	120	123,000	6,120	-

5.1.3 ค่าใช้จ่าย และระยะเวลาในการก่อสร้างโดยรวม รวมถึงศักยภาพในการประหยัดพลังงานของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบเพื่อลดพื้นที่เปลือกอาคาร สำหรับครอบครัวขนาดเล็ก

1. ประเมินค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการก่อสร้างโดยรวม ของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ

ราคาค่าก่อสร้างบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคาร มีพื้นที่ใช้สอย 50 ตารางเมตร มีราคาค่าวัสดุ 245,512 บาท ใช้แรงงานก่อสร้างจำนวน 6 คน ใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างแล้วเสร็จ 6 วัน เป็นเงิน 10,800 บาท ซึ่งมีระยะเวลาในการก่อสร้างน้อยกว่าบ้านเอื้ออาทรประมาณ 6.67 เท่า รวมค่าก่อสร้างทั้งสิ้น 256,312 บาท คิดเป็นราคา 5,126.24 บาทต่อตารางเมตร ซึ่งมีราคาใกล้เคียงกันกับบ้านเอื้ออาทร

2. ประเมินศักยภาพในการประหยัดพลังงาน ของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ

2.1 อัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอย อัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารเท่ากับ 2.43 ต่ำกว่าบ้านพักอาศัยทั่วไปประมาณ 2 เท่า

2.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเปลือกอาคาร ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเปลือกอาคารของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารจะมีค่า OTTV 11.6 วัตต์ต่อตารางเมตร ต่ำกว่าบ้านพักอาศัยทั่วไปประมาณ 4 เท่า และมีค่า RTTV 7.2วัตต์ต่อตารางเมตร ต่ำกว่าบ้านพักอาศัยทั่วไปประมาณ 5.5 เท่า

2.3 ภาระในการปรับอากาศ และการใช้พลังงานรวม ภาระในการปรับอากาศของบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคาร 51 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่ำกว่าบ้านพักอาศัยทั่วไปประมาณ 3.7 เท่า โดยใช้ขนาดของเครื่องปรับอากาศประมาณ 0.9 ตัวความเย็น ในการปรับอากาศทั้งอาคาร และมีการใช้พลังงานรวมในวันที่มีการใช้พลังงานสูงสุด 30 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่ำกว่าบ้านพักอาศัยทั่วไปประมาณ 2.47 เท่า

2.4 ค่าไฟฟ้าทั้งหมดของอาคาร บ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 1,750 บาทต่อเดือน ต่ำกว่าบ้านเอื้ออาทรประมาณเดือนละ 2,500 บาท หรืออาจจะสรุปได้ว่าบ้านพักอาศัยที่ออกแบบมีค่าไฟฟ้าต่อปี 21,000 บาท ซึ่งจะสามารถลดค่าไฟฟ้าลงได้ถึงประมาณปีละ 30,000 บาท

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

ปัจจุบันความต้องการบ้านพักอาศัยขนาดเล็กราคาถูกมีมากขึ้น บ้านพักอาศัยส่วนใหญ่ไม่คำนึงถึงคุณภาพชีวิตในการอยู่อาศัย จากปัญหาและความต้องการดังกล่าว จึงทำการศึกษาบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็ก ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม เพื่อพัฒนารูปแบบบ้านพักอาศัยให้มีราคาถูก ก่อสร้างได้ง่าย รวดเร็ว และสามารถขยายต่อเติมได้ในอนาคต โดยยังคงคุณภาพชีวิตที่ดี

การออกแบบบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็ก ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม มีความเป็นไปได้ในการก่อสร้าง สามารถลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและช่วยประหยัดพลังงานได้มากกว่าบ้านพักอาศัยขนาดเล็กทั่วๆ ไป อีกทั้งยังมีคุณภาพชีวิตที่ดีในการอยู่อาศัย ในกรณีที่อยู่ในเมืองสามารถใช้ระบบปรับอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนในกรณีที่อยู่ในชนบทที่สภาพแวดล้อมยังสมบูรณ์ ยังสามารถใช้ระบบธรรมชาติได้เป็นอย่างดี

ดังนั้นจึงเน้นที่การออกแบบผังพื้นและรูปทรงของอาคารให้มีพื้นที่เปลือกอาคารน้อยที่สุด มีอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยให้ต่ำที่สุด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการลงทุนในการก่อสร้าง โดยออกแบบอาคารให้มีรูปทรงใกล้เคียงกับรูปทรงกลมมากที่สุด และใช้วิธีการก่อสร้างเปลือกอาคารที่สามารถก่อสร้างกับอาคารดังกล่าวได้อย่างเหมาะสม สามารถก่อสร้างได้ง่าย รวดเร็ว มีน้ำหนักเบา เหลือเศษวัสดุในการก่อสร้างน้อยหรือไม่เหลือเศษวัสดุ และสามารถป้องกันความร้อน ความชื้นได้เป็นอย่างดี

ดังนั้นบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็ก ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคาร และค่าใช้จ่ายโดยรวมในงานวิจัยนี้ จึงเป็นบ้านพักอาศัยที่เหมาะสมอย่างยิ่งกับประชาชนคนไทยส่วนใหญ่ในปัจจุบันที่ยังไม่มีบ้านที่มีคุณภาพอย่างสมบูรณ์แบบ และมีราคาถูกเหมาะสมกับรายได้ของครอบครัว อีกทั้งยังก่อสร้างได้รวดเร็ว ไม่มีมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. วิจัยการใช้วัสดุพื้นถิ่นอื่นๆ ในการก่อสร้างเปลือกอาคารที่เหมาะสม กับวิธีการก่อสร้างบ้านพักอาศัย ที่ออกแบบด้วยรูปทรงที่มีพื้นที่เปลือกอาคารน้อย เพื่อลดราคาค่าวัสดุในการก่อสร้างระบบเปลือกอาคารลง เนื่องจากราคาค่าวัสดุเปลือกอาคารในส่วนทึบมีสัดส่วนถึงประมาณ 50% ของราคาค่าวัสดุที่ใช้ก่อสร้างทั้งหมด จะเป็นผลให้ราคาค่าก่อสร้างโดยรวมของบ้านพักอาศัยลดลงได้อีกมาก รวมกับการวิจัยการผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูปในส่วนอื่นๆ เพื่อลดต้นทุนในการผลิตวัสดุอาคาร และสามารถป้องกันความร้อน ความชื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ดำเนินการก่อสร้างบ้านพักอาศัยต้นแบบ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ กับการก่อสร้างจริง ว่ามีความสอดคล้องกับแนวความคิดในการออกแบบบ้านพักอาศัยที่เสนอแนะมากน้อยเพียงใด เพื่อค้นหาแนวทางในการพัฒนารูปแบบและวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมมากยิ่งขึ้น ในอนาคต

3. การประยุกต์กับรูปทรงอื่นๆ เช่น รูปทรงกรวย รูปทรงกระบอก รวมถึงการขยายต่อเติม และเชื่อมต่อกันระหว่างรูปทรง โดยต้องคำนึงถึงพื้นที่เปลือกอาคารที่มากขึ้นระหว่างการสร้างบ้านหลังเล็กๆ ที่ละหลังกับการสร้างบ้านหลังใหญ่ เปรียบเทียบกับเงินที่ใช้ลงทุนในการก่อสร้างและอัตราดอกเบี้ย

4. ศึกษาการหมุนเปลือกอาคารตามทิศทางดวงอาทิตย์ เนื่องจากการเปิดช่องเปิดขนาดใหญ่จะส่งผลโดยตรงต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาภายในอาคารสูงขึ้นมาก แต่ในขณะเดียวกัน ยังมีความต้องการช่องเปิดขนาดใหญ่เพื่อการสัมผัสกับธรรมชาติให้มากที่สุด ดังนั้นการศึกษาการหมุนเปลือกอาคารโดยคำนึงถึงทิศทางของดวงอาทิตย์ จะเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าวให้สามารถเปิดช่องเปิดได้มาก โดยที่ช่องเปิดไม่โดนรังสีจากดวงอาทิตย์โดยตรง

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. **คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร**. 2536.

ชิง, ฟรานซิส ดี. เค. และ อาดัม, คาสแซนดรา. **ก่อสร้างอาคาร บรรยายด้วยภาพ**. แปลโดย ทัต สัจจะวาที. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2545.

ตรึงใจ บูรณสมภพ. **การออกแบบสถาปัตยกรรมเมืองร้อนในประเทศไทย**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: นำอักษรการพิมพ์, 2521.

นรมิตร ลิ่วธนมงคล. **คู่มือรวมข้อมูลก่อสร้าง**. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : รุ่งแสงการพิมพ์, 2538.

ประทีป อิทธิเมฆินทร์. (รองผู้อำนวยการฝ่ายปรับปรุงชุมชน: การเคหะแห่งชาติ). **อาษา** (สิงหาคม-กันยายน 2546): 79-88.

สมสิทธิ์ นิตยะ. **การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

สุจริต คูณธนกุลวงศ์ และ ทักษิณ เทพชาตรี. **การก่อสร้างโครงสร้างเหล็ก**. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2542.

สุนทร บุญญาธิการ. **การออกแบบประสานระบบ มหาวิทยาลัยชินวัตร**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โอเอส. พริ้นติ้งเฮ้าส์, 2545.

สุนทร บุญญาธิการ. **การเลือกใช้วัสดุเพื่อใช้ในการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน**, เอกสารประกอบการอบรม หลักสูตร ข้อกำหนดมาตราฐานการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารควบคุมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2539.

สุนทร บุญญาธิการ. **เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน: เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

สำนักงานสถิติแห่งชาติ, กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. **สถิติประชากรและเคหะ**[Online]. 2543. แหล่งที่มา: http://www.nso.go.th/[2546, มิถุนายน 26]

อัลฟา ทีม. **ราคาค่าก่อสร้างต่อหน่วยสำเร็จรูป**. กรุงเทพฯ : นวสาส์นการพิมพ์, 2545.

โครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. **สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่มที่ 6**[Online]. 2539. แหล่งที่มา: http://kanchanapisek.or.th/kp6/home.htm [2547, มกราคม 5]

ภาษาอังกฤษ

America Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineerings. **ASHRAE Handbook Fundamental, I-P Edition.** Atlanta Georgia, 1989.

Buckminster Fuller Institute. **Geodesic Domes**[Online]. (n.d.). Available from: http://www.bfi.org[2003, May 9]

Drexel University, The Math Forum. **Geometric Formulas**[Online]. (n.d.). Available from: http://mathforum.org[2003, November 18]

Fuller, B. R. Inventions: The Patented Works of R. Buckminster Fuller. New York: St. Martin's Press, 1983.

Incropera, F.P., and Dewitt, D.P. **Introduction to Heat Transfer.** 2nd ed. Newyork : John Willey & Sons, 1990.

Lin, T.Y., and Stotesbury, S.D. **Structural Concepts and Systems for Architects and Engineers.** 2nd ed. Newyork : Van Nostrand Reinhold Company, 1988

Pearce , P., and Pearce, S. **Polyhedra Primer.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1978.

Pugh, A. **Polyhedra a visual approach.** Berkeley: University of California Press, 1976.

Salvadori, M., and Heller, R. **Structure in Architecture.** New Jersey: Prentice-Hall, 1963.

Schueller, W. **Horizontal- Span Building Structures.** New York: John Willey & Sons, 1983.

Shoji Sadao. Geodesic Domes. Encyclopedia of architecture: Design, engineering & construction. Vol. 2 (1988): 577-585.

Stein, B., and Reynolds, J.S. **Mechanical and Electrical Equipment for Buildings.** 8th ed. New York: John Willey & Sons, 1992.

.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การคำนวณหาพื้นที่รูปเรขาคณิต

Quadrilateral

A polygon (plane figure) with 4 angles and 4 sides.

Sides: a, b, c, d

Angles: A, B, C, D

Around the quadrilateral are a, A, b, B, c, C, d, D, and back to a, in that order

Altitudes: h_a , etc.

Diagonals: p = BD, q = AC, intersect at O

Angle between diagonals: theta

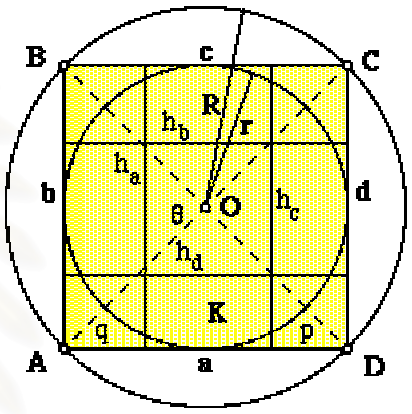
Perimeter: P

Semiperimeter: s

Area: K

Radius of circumscribed circle: R

Radius of inscribed circle: r



General

P = a + b + c + d.

s = P/2 = (a+b+c+d)/2

A + B + C + D = 2 Pi radians = 360°

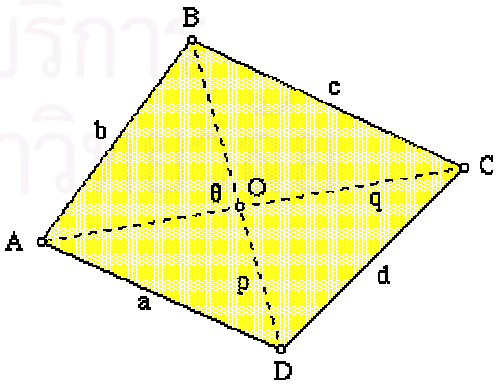
K = pq sin(theta)/2

$K = (b^2+d^2-a^2-c^2)\tan(\text{theta})/4$

$K = \text{sqrt}[4p^2q^2-(b^2+d^2-a^2-c^2)^2]/4$

K = sqrt[(s-a)(s-b)(s-c)(s-d)-abcd $\cos^2([A+C]/2)$]

(Bretschneider's Formula)



Square

A quadrilateral with four right angles and all four sides of equal length.

a = b = c = d

A = B = C = D = Pi/2 radians = 90^{o}

theta = Pi/2 radians = 90^{o}

$h_a = a$

p = q = a sqrt(2)

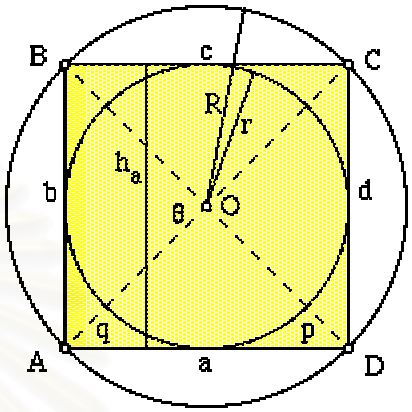
P = 4a

s = 2a

$K = a^2$

R = a sqrt(2)/2

r = a/2



Rectangle

A quadrilateral with adjacent sides perpendicular (all four angles are therefore right angles).

a = c, b = d.

A = B = C = D = Pi/2 radians = 90^{o}

$h_a = b$

$h_b = a$

p = q = sqrt(a^2+b^2)

theta = 2 arctan(a/b)

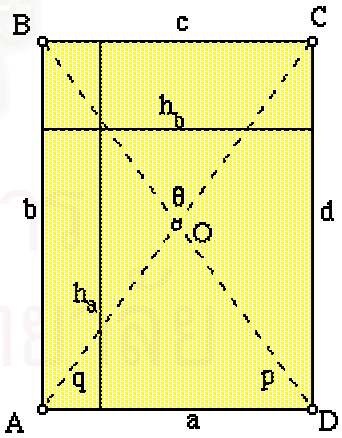
P = 2(a+b)

s = a + b

K = ab

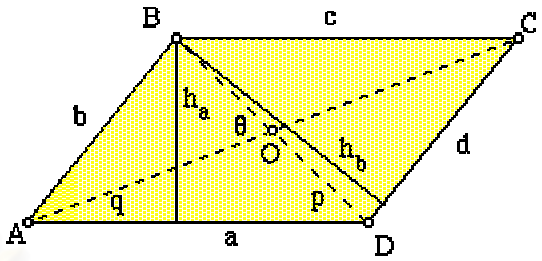
R = p/2 = sqrt(a^2+b^2)/2

r = minimum(a,b)/2



Parallelogram

A quadrilateral with opposite sides parallel.



a = c, b = d

A = C, B = D

A + B = Pi radians = 180°

$h_a = b \sin(A) = b \cos(B-Pi/2)$

$h_b = a \sin(A) = a \cos(B-Pi/2)$

$p = \text{sqrt}[a^2+b^2-2ab \cos(A)]$

$q = \text{sqrt}[a^2+b^2-2ab \cos(B)]$

$p^2+q^2 = 2(a^2+b^2)$

$\text{theta} = \arccos([a^2-b^2]/pq)$

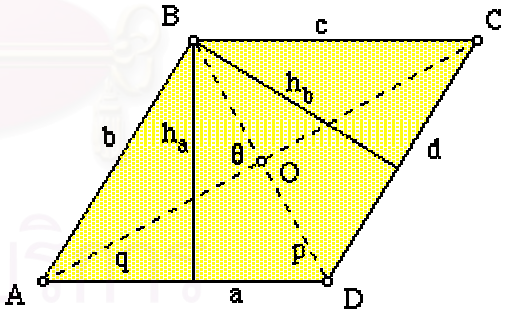
P = 2*(a+b)

s = a + b

$K = ab \sin(A) = ab \sin(B) = bh_b = pq \sin(\text{theta})/2$

Rhombus

A parallelogram with all sides equal.



a = b = c = d

A = C, B = D

theta = Pi/2 radians = 90°

A + B = Pi radians = 180°

$h_a = a \sin(A) = a \cos(B-Pi/2)$

$h_a = h_b$

$p = a \text{ sqrt}[2-2 \cos(A)]$

$q = a \text{ sqrt}[2-2 \cos(B)]$

$p^2+q^2 = 4a^2$

P = 4a

s = 2a

$K = a^2\sin(A) = a^2\sin(B) = ah_a = pq/2$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

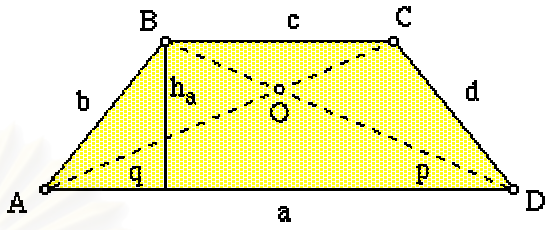
Trapezoid, Trapezium

a parallel to c, m = (a+c)/2

A + B = C + D = Pi radians = 180^{o}

P = a + b + c + d

K = $h_a m = h_a(a+c)/2$



If a = c, the trapezoid is actually a parallelogram, so b = d, and the height and area cannot be determined from a, b, c, and d alone. If a and c are not equal, then

$h_a^2 = (a+b-c+d)(-a+b+c+d)(a-b-c+d)(a+b-c-d)/[4(a-c)^2]$.

If $h_a^2 < 0$, no trapezoid having those side lengths exists.

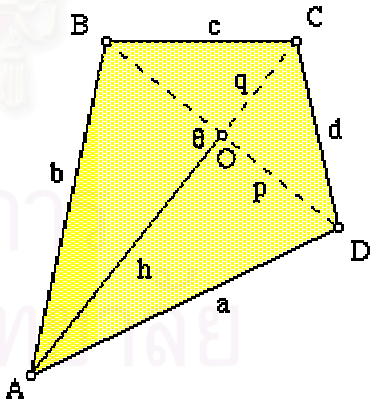
Kite

A quadrilateral with two pairs of distinct adjacent sides equal in length.

a = b, c = d

theta = Pi/2 radians = 90^{o}

OB = OD = p/2, OA = h, OC = q - h



h = sqrt(a^2-p^2/4)

q = sqrt(a^2-p^2/4) + sqrt(c^2-p^2/4)

P = 2(a+c)

K = pq/2

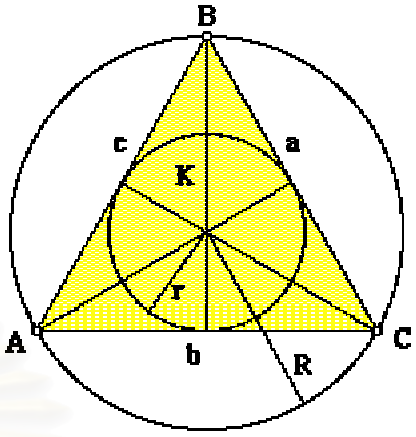
Triangle

A polygon (plane figure) with

3 angles and 3 sides.

Sides: a, b, c

Opposite angles: A, B, C



Altitudes: h_a , h_b , h_c

Medians: m_a , m_b , m_c

Angle bisectors: t_a , t_b , t_c

Perimeter: P

Semiperimeter: s

Area: K

Radius of circumscribed circle: R

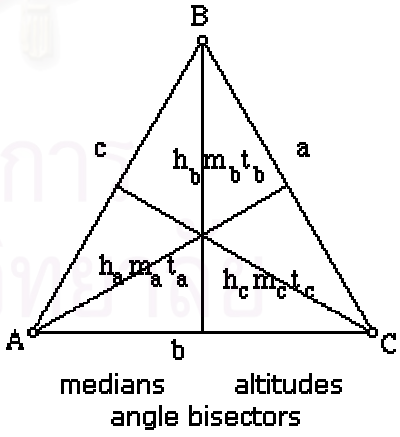
Radius of inscribed circle: r

Equilateral Triangle

A triangle with all three sides of equal length.

a = b = c.

A = B = C = Pi/3 radians = 60°



P = 3a

s = 3a/2

K = a^2sqrt(3)/4

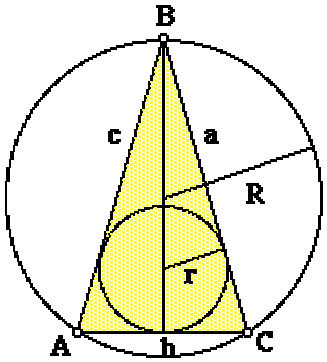
$h_a = m_a = t_a$ = a sqrt(3)/2

R = a sqrt(3)/3

r = a sqrt(3)/6

Isosceles Triangle

A triangle with two sides of equal length.



a = c

A = C

B + 2A = Pi radians = 180°

P = 2a + b

s = a + b/2

K = b sqrt($4a^2$-b^2)/4 = a^2 sin(B)/2 = ab sin(A)/2

h_a = b sqrt($4a^2$-b^2)/(2a) = a sin(B) = b sin(A)

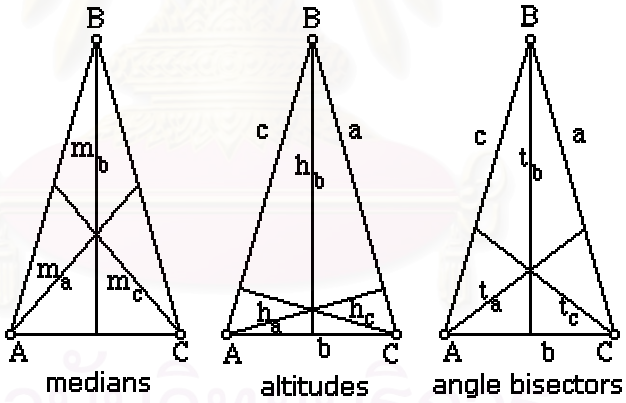
m_a = sqrt(a^2+$2b^2$)/2

t_a = b sqrt(a[2a+b])/(a+b) = b sin(A)/sin(3A/2)

h_b = m_b = t_b = sqrt($4a^2$-b^2)/2 = a cos(B/2)

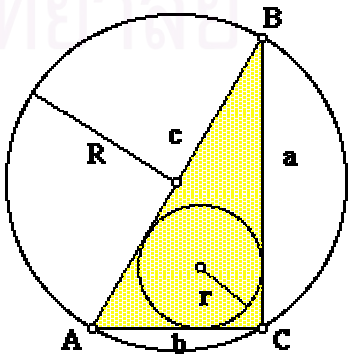
R = a^2b/4K = a/[2 sin(A)] = b/[2 sin(B)]

r = K/s = b sqrt[(2a-b)/(2a+b)]/2



Right Triangle

A triangle with one right angle.



C = A + B = Pi/2 radians = 90°

c^2 = a^2 + b^2

(Pythagorean Theorem)

P = a + b + c

s = (a+b+c)/2

K = ab/2

h_a = b

h_b = a

h_c = ab/c

m_a = sqrt($4b^2+a^2$)/2

m_b = sqrt($4a^2+b^2$)/2

m_c = c/2

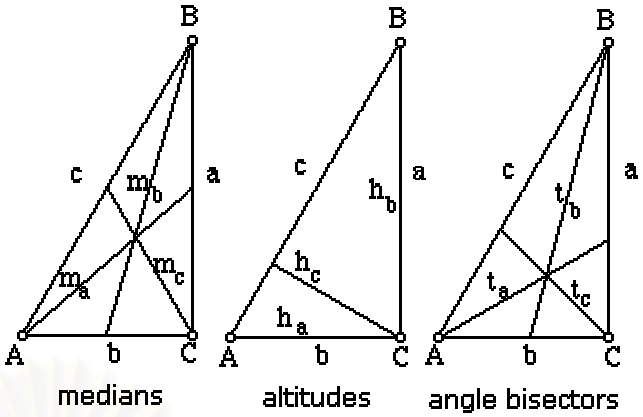
t_a = 2bc cos(A/2)/(b+c) = sqrt[bc(1-a^2/[b+c]^2)]

t_b = 2ac cos(B/2)/(a+c) = sqrt[ac(1-b^2/[a+c]^2)]

t_c = ab sqrt(2)/(a+b)

R = c/2

r = ab/(a+b+c) = s - c

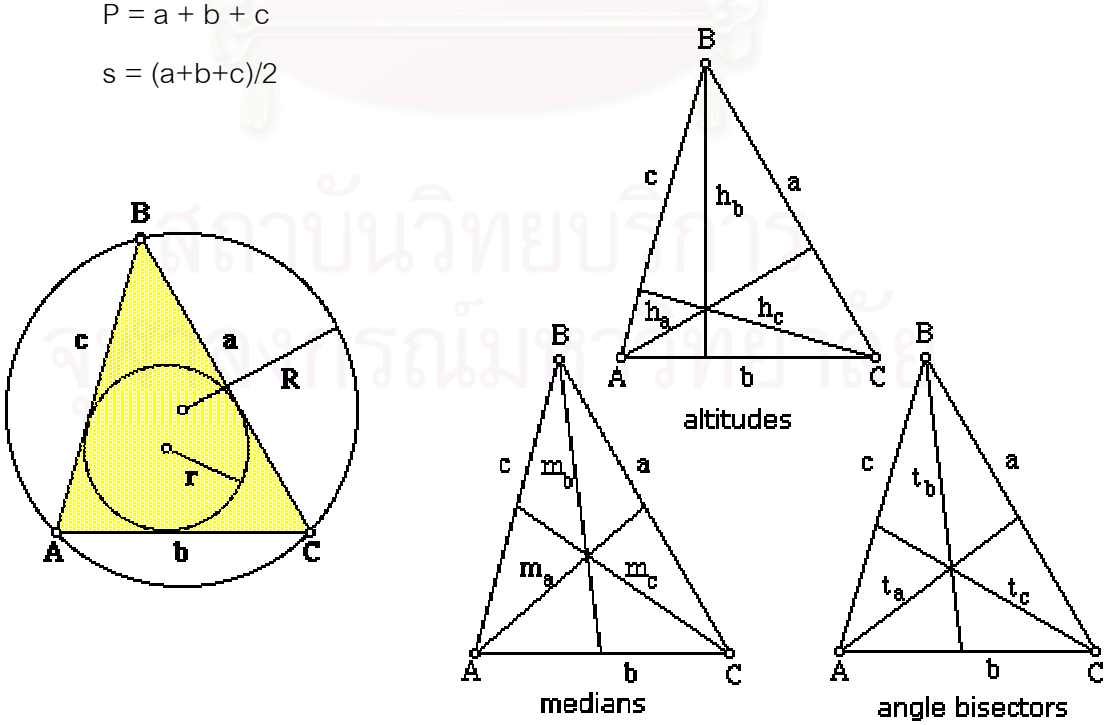


Scalene Triangle

A triangle with no two sides equal. (Note that the following formulas work with all triangles, not just scalene triangles.)

P = a + b + c

s = (a+b+c)/2



$K = ah_a/2 = ab\sin(C)/2 = a^2\sin(B)\sin(C)/[2\sin(A)] = \text{sqrt}[s(s-a)(s-b)(s-c)]$

(Heron's or Hero's Formula)

$h_a = c\sin(B) = b\sin(C) = 2K/a$

$m_a = \text{sqrt}(2b^2+2c^2-a^2)/2$

$t_a = 2bc\cos(A/2)/(b+c) = \text{sqrt}[bc(1-a^2/[b+c]^2)]$

$R = abc/4K = a/[2\sin(A)] = b/[2\sin(B)] = c/[2\sin(C)]$

$r = 2K/P = K/s = \text{sqrt}[(s-a)(s-b)(s-c)/s] = c\sin(A/2)\sin(B/2)/\cos(C/2) =$

$ab\sin(C)/(2s) = (s-c)\tan(C/2)$

Regular Polygon

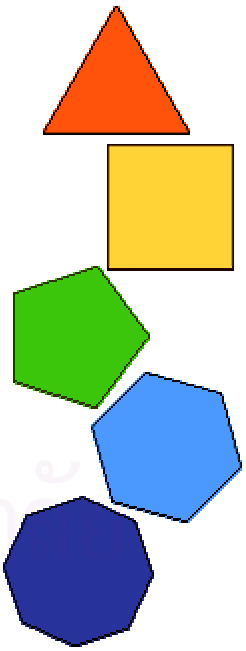
Number of sides, all equal length a: n

Number of interior angles, all equal measure beta: n

Central angle subtending one side: alpha

Perimeter: P

Area: K



Radius of circumscribed circle: R

Radius of inscribed circle: r

$\text{beta} = \text{Pi}(n-2)/n \text{ radians} = 180^\circ(n-2)/n$

$\text{alpha} = 2\,\text{Pi}/n \text{ radians} = 360^\circ/n$

$\text{alpha} + \text{beta} = \text{Pi radians} = 180^\circ$

$P = na = 2nR\sin(\text{alpha}/2)$

$K = na^2\cot(\text{alpha}/2)/4$

$= nR^2\sin(\text{alpha})/2$

$= nr^2\tan(\text{alpha}/2)$

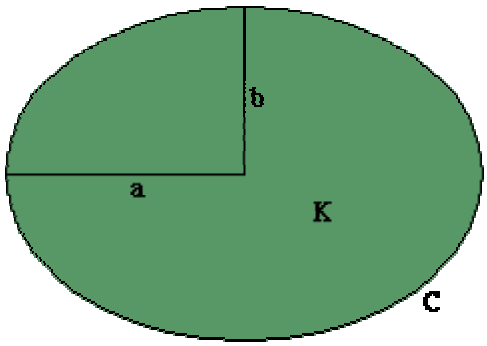
$= na\,\text{sqrt}(4R^2-a^2)/4$

$R = a\csc(\text{alpha}/2)/2$

$r = a\cot(\text{alpha}/2)/2$

$a = 2r\tan(\text{alpha}/2) = 2R\sin(\text{alpha}/2)$

Ellipse



Semi-axes: a, b

Eccentricity: e = sqrt(a^2-b^2)/a

Area: K

Circumference: C

K = Pi ab

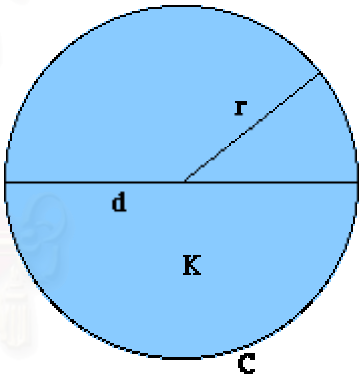
C = 4aE, where E is an elliptic integral with k = e, which can be used to derive the following formulas:

C = π(a+b)[1 + x^2/4 + x^4/64 + ...], where x = (a-b)/(a+b)

C = π(a+b)(1 + 3x^2/[10 + sqrt(4 - 3x^2)]), approximately

Circle

All points on the circumference of a circle are equidistant from its center.



Radius: r

Diameter: d

Circumference: C

Area: K

d = 2r

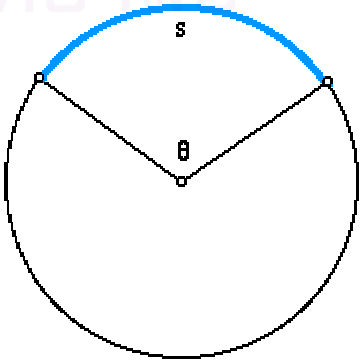
C = 2 Pi r = Pi d

K = Pi r^2 = Pi d^2/4

C = 2 sqrt(Pi K)

K = C^2/4 Pi = Cr/2

Arc of a Circle



A curved portion of a circle.

Length: s

Central angle: theta (in radians),

alpha (in degrees)

s = r theta = r alpha Pi/180

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Segment of a Circle

Either of the two regions into which a secant or a chord cuts a circle.

Chord length: c

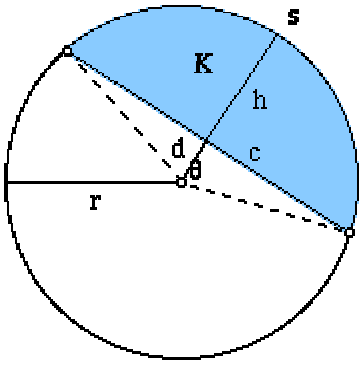
Height: h

Distance from center of circle to chord's midpoint: d

Central angle: theta (in radians), alpha (in degrees)

Area: K

Arc length: s



theta = 2 arccos(d/r) = 2 arctan(c/(2d)) = 2 arcsin(c/(2r))

h = r - d

$c = 2\sqrt{r^2-d^2} = 2r \sin(\text{theta}/2) = 2d \tan(\text{theta}/2) = 2\sqrt{h(2r-h)}$

$d = \sqrt{4r^2-c^2}/2 = r \cos(\text{theta}/2) = c \cot(\text{theta}/2)/2$

$K = r^2[\text{theta}-\sin(\text{theta})]/2 = r^2\arccos([r-h]/r) - (r-h)\sqrt{2rh-h^2}$

$= r^2\arccos(d/r) - d\sqrt{r^2-d^2}$

theta = s/r

$K = r^2[s/r - \sin(s/r)]/2$

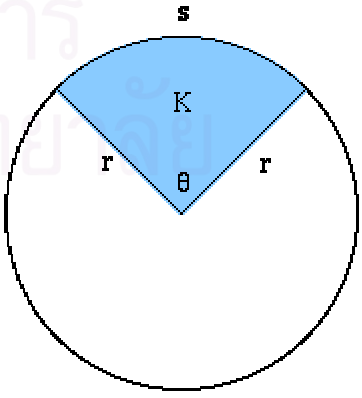
Sector of a Circle

The pie-shaped piece of a circle 'cut out' by two radii.

Central angle: theta (in radians), alpha (in degrees)

Area: K

Arc length: s



$K = r^2\text{theta}/2 = r^2\text{alpha Pi}/360$

theta = s/r

K = rs/2

Available from: Drexel University, http://mathforum.org

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

รูปทรงเรขาคณิต

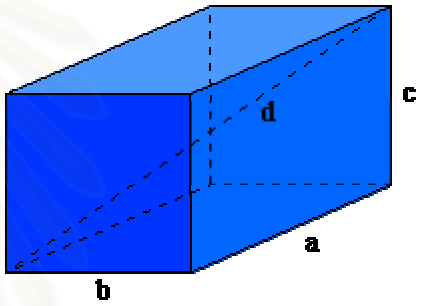
Rectangular Parallelepiped

A three-dimensional figure all of whose face angles are right angles, so all its faces are rectangles and all its dihedral angles are right angles. (A dihedral angle is an angle created by two intersecting planes.)

Edges: a, b, c

Diagonal: d

Volume: V



Total surface area (total area of all the faces of the figure): T

$d = \sqrt{a^2+b^2+c^2}$

$T = 2(ab+ac+bc)$

$V = abc$

Face diagonals $\sqrt{a^2+b^2}$, $\sqrt{a^2+c^2}$, $\sqrt{b^2+c^2}$

Cube

A three-dimensional figure with six congruent square sides.

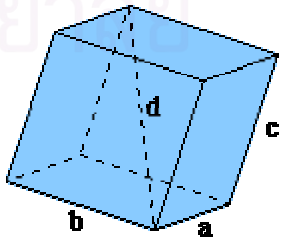
$a = b = c$

$d = a\sqrt{3}$

$T = 6a^2$

$V = a^3$

Face diagonal $a\sqrt{2}$



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Prism

A polyhedron with two congruent, parallel bases that are polygons, and all remaining faces parallelograms.

Height: h

Area of base: B

Length of lateral edge: l

Area of right section: A

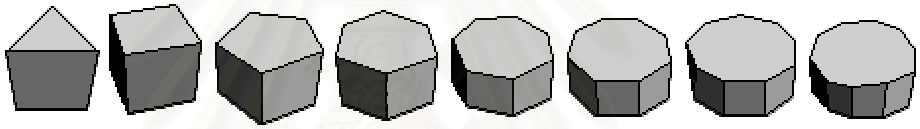
Perimeter of right section: P

Lateral surface area: S

Volume: V

$S = lP$

$V = hB = lA$



Pyramid

A pyramid is a polyhedron of which one side, the base, is a polygon (not necessarilya regular polygon), and all the rest are triangles sharing a common point, the vertex.

A pyramid is regular if the base is a regular polygon and the other faces are congruent isosceles triangles

Height: h

Area of base: B

Slant height: s (regular pyramid)

Perimeter of base: P

Lateral surface area: S

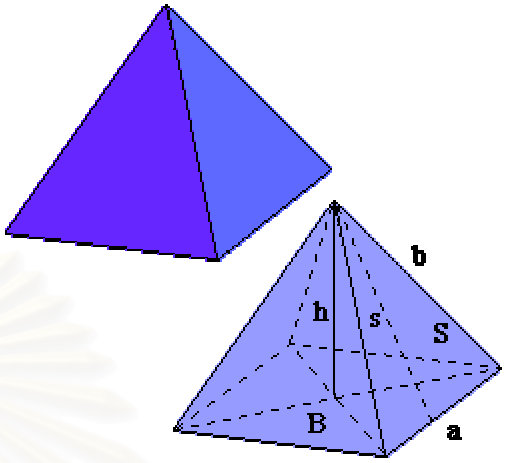
Volume: V

$S = sP/2$ (regular pyramid)

$V = hB/3$

Square Pyramid

The base is a square, and all triangular faces are congruent isosceles triangles.



Side of base: a

Other edges: b

Height: h

Slant height: s

Vertex angle of faces: alpha

Base angle of faces: theta

Base-to-face dihedral angle: beta

Face-to-face dihedral angle: phi

Lateral surface area: S

Total surface area (including base): T

Volume: V

$a = \text{sqrt}[2(b^2-h^2)] = 2\ \text{sqrt}(b^2-s^2) = 2\ \text{sqrt}(s^2-h^2)$

$b = \text{sqrt}(h^2+a^2/2) = \text{sqrt}(s^2+a^2/4) = \text{sqrt}(2s^2-h^2)$

$h = \text{sqrt}(b^2-a^2/2) = \text{sqrt}(s^2-a^2/4) = \text{sqrt}(2s^2-b^2)$

$s = \text{sqrt}(b^2-a^2/4) = \text{sqrt}(h^2+a^2/4) = \text{sqrt}[(b^2+h^2)/2]$

$\text{theta} = \arccos(a/2b) = \arcsin(s/b) = \arctan(2s/a)$

$\text{alpha} = \arccos(h^2/b^2) = \arcsin(as/b^2) = \arctan(as/h^2)$

$\text{beta} = \arccos(a/2s) = \arcsin(h/s) = \arctan(2h/a)$

$\text{phi} = \arccos(-a^2/4s^2) = \arcsin(bh/s^2) = \arctan(-4bh/a^2)$

$S = 2as$

$T = a(2s+a)$

$V = a^2h/3$

Circular Cylinder

A cylinder whose bases are circles. The line connecting the centers of the bases is called the axis.

Height: h

Area of base: B

Length of lateral edge: l

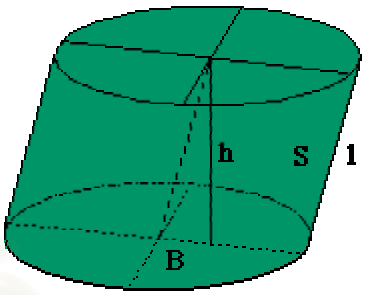
Area of right section: A

Perimeter of right section: P

Lateral surface area: S

Total surface area: T

Volume: V



$S = lP$

$T = lP + 2B$

$V = hB = lA$

Right Circular Cylinder

A circular cylinder in which the axis is perpendicular to the bases. (If the axis of a circular cylinder is not perpendicular to the bases, it is called an oblique circular cylinder.)

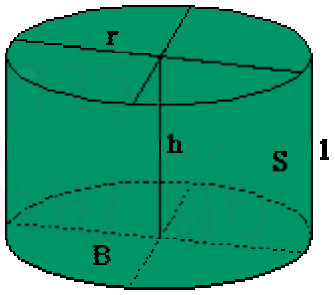
Height: h

Radius of base: r

Lateral surface area: S

Total surface area: T

Volume: V



$S = 2 \text{ Pi } rh$

$T = 2 \text{ Pi } r(r+h)$

$V = \text{Pi } r^2 h$

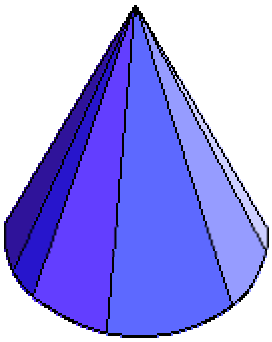
$A = B = \text{Pi } r^2$

$P = 2 \text{ Pi } r$

$l = h$

Cone

A cone is a surface generated by a family of all lines through a given point (the vertex) and passing through a curve in a plane (the directrix). More commonly, a cone includes the solid enclosed by a cone and the plane of the directrix. The region of the plane enclosed by the directrix is called a base of the cone. The perpendicular distance from the vertex to the plane of the base is the height of the cone.



Height: h

Area of base: B

Volume: V

$V = hB/3$

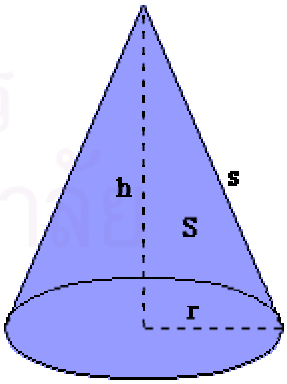
Circular Cone

A cone whose base is a circle. The line connecting the center of the base to the vertex is called the axis of the circular cone.

Right Circular Cone

In a right circular cone, the axis is perpendicular to the base. (If the axis of a circular cone is not perpendicular to the base, it is called an oblique circular cone.)

The length of any line segment connecting the vertex to the directrix is called the slant height of the cone.



Height: h

Radius of base: r

Slant height: s

Lateral surface area: S

Total surface area: T

Volume: V

$B = Pi\ r^2$

$s = sqrt[r^2+h^2]$

$S = Pi\ rs$

$T = Pi\ r(r+s)$

$V = Pi\ r^2h/3$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

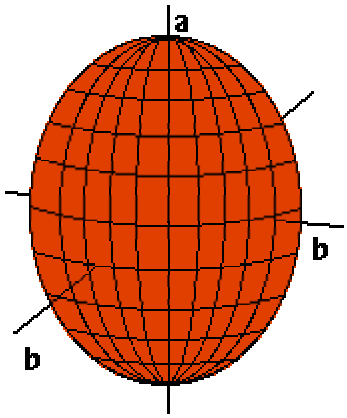
Ellipsoid

A three-dimensional figure all planar cross-sections of which are either ellipses or circles.

Semi-axes: a, b, c (the semi-axis is half the length of the axis, and corresponds to the radius of a sphere)

Volume: V

$V = (4 Pi/3)abc$



Prolate Spheroid

Semi-axes: a, b, b (a > b)

Surface area: S

$S = 2 Pi\ b(b+a \arcsin[e]/e)$,

where $e = \sqrt{(a^2-b^2)}/a$

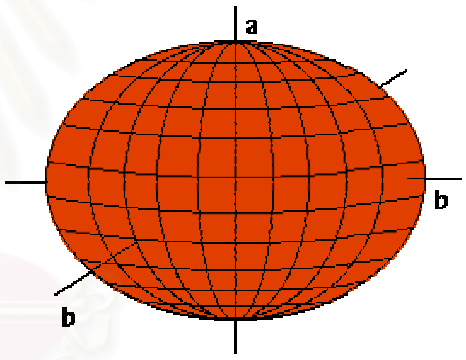
Oblate Spheroid

Semi-axes: a, b, b (a < b)

Surface area: S

$S = 2 Pi\ b(b+a \operatorname{arcsinh}[be/a]/[be/a])$,

where $e = \sqrt{(b^2-a^2)}/b$



Sphere

A three-dimensional figure with all of its points equidistant from its center.

Radius: r

Diameter: d

Surface area: S

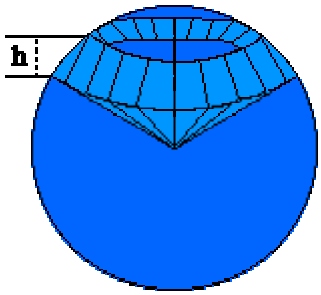
Volume: V

$S = 4 Pi\ r^2 = Pi\ d^2$

$V = (4 Pi/3)r^3 = (Pi/6)d^3$

Sector of a Sphere

The part of a sphere between two right circular cones that have a common vertex at the center of the sphere, and a common axis. (The interior cone may have a base with zero radius.)



Radius: r

Height: h

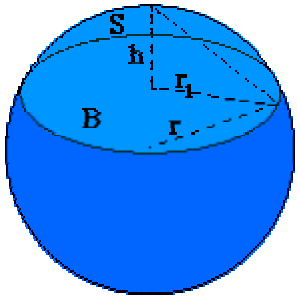
Volume: V

$S = 2 \text{ Pi } rh$

$V = (2 \text{ Pi}/3)r^2h$

Spherical Cap

The portion of a sphere cut off by a plane. If the height, the radius of the sphere, and the radius of the base are equal: $h = r (= r_1)$, the figure is called a hemisphere.



Radius of sphere: r

Radius of base: r_1

Height: h

Surface area: S

Volume: V

$r = (h^2+r_1^2)/(2h)$

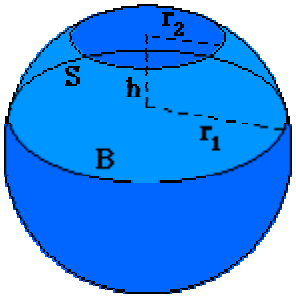
$S = 2 \text{ Pi } rh$

$V = (\text{Pi}/6)(3r_1^2+h^2)h$

Segment and Zone of a Sphere

Segment: the portion of a sphere cut off by two parallel planes.

Zone: the curved surface of a spherical segment.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Radius of sphere: r

Radii of bases: r_1, r_2

Height: h

Surface area: S

Volume: V

$S = 2 \text{ Pi } rh$

$V = (Pi/6)(3r_1^2+3r_2^2+h^2)h$

Lune of a Sphere

The curved surface of the intersection of two hemispheres.

Radius: r

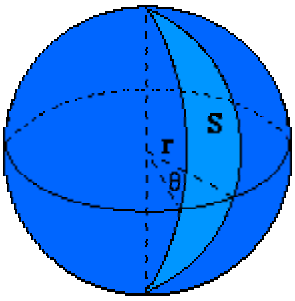
Central dihedral angle: theta (in radians), alpha (in degrees)

Surface area: S

Volume enclosed by the lune and the two planes: V

$S = 2r^2\text{theta} = (Pi/90)r^2\text{alpha}$

$V = (2/3)r^3\text{theta} = (Pi/270)r^3\text{alpha}$



Available from: Drexel University, http://mathforum.org

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ราคาค่าก่อสร้างบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ

ตารางที่ ค-1 แสดงสรุปราคาค่าก่อสร้างบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ

	รายการ	ค่าวัสดุ (บาท)	ค่าแรงงาน (บาท)	รวม (บาท)	คิดเป็น% ของค่าก่อสร้าง
1	หมวดงานโครงสร้าง	39,552	8,641	48,192	15.13
2	หมวดงานเปลือกอาคารส่วนทึบ	126,000	36,000	162,000	50.87
3	หมวดงานผนังภายใน	6,000	3,000	9,000	2.83
4	หมวดงานผิวพื้น	8,570	1,920	10,490	3.29
5	หมวดงานประตู-หน้าต่าง	25,600	6,450	32,050	10.06
6	หมวดงานบันได ราวระเบียง	9,750	9,000	18,750	5.89
7	หมวดงานสุขภัณฑ์	5,970	1,450	7,420	2.33
8	หมวดงานระบบบำบัดน้ำเสีย	7,670	1,650	9,320	2.93
9	หมวดงานระบบน้ำประปา	10,300	4,350	14,650	4.60
10	หมวดงานไฟฟ้าแสงสว่าง	4,300	3,300	3,300	1.04
11	หมวดงานโทรศัพท์และโทรทัศน์	1,800	1,500	3,300	1.04
	รวมทั้งสิ้น	245,512	77,261	318,472	100.00
สรุป	**รวมค่าก่อสร้างเป็นเงินทั้งสิ้น**			318,472	
	เฉลี่ยราคาประมาณ	6,369	**บาท/ตร.ม.**		

ราคาที่ประเมินยังไม่รวมรายการต่างๆ ดังนี้

- ค่าที่ดินที่ใช้ในการก่อสร้าง และค่าถมที่
- งานระบบปรับอากาศ
- ค่าดำเนินการ ดอกเบี้ย และกำไร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-2 แสดงรายละเอียดราคาค่าก่อสร้างบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ

	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคาวัสดุ		ค่าแรงงาน		รวมทั้งหมด
				ราคา	รวม	ราคา	รวม	
	งานบ้านพักอาศัย 2 ชั้น							
1	**หมวดงานโครงสร้าง**							
	พื้น ค.ส.ล. ชั้น 1							
	ทรายหยาบรองพื้น(บดอัดแน่น)	1.8	ลบ.ม.	312	562	60	108	670
	เหล็กเสริม SR-24 RB 12 มม. #0.20	52.0	ตร.ม.	170	8,840	15	780	9,620
	คอนกรีตผสมเสร็จ	3.0	ลบ.ม.	1,800	5,400	350	1,050	6,450
	ผนัง ค.ส.ล.							
	เหล็กเสริม SR-24 RB 12 มม. #0.20	12.5	ตร.ม.	170	2,125	15	188	2,313
	คอนกรีตผสมเสร็จ	1.8	ลบ.ม.	1,800	3,240	350	630	3,870
	ไม้แบบ	12.5	ตร.ม.	250	3,125	100	1,250	4,375
	เสาชั้น 1							
	แผ่นเหล็กรองใต้เสา 8"x8" หนา 6 มม.	4.0	ชิ้น	100	400	20	80	480
	เสาเหล็กชั้นที่ 1 Tube 75x75x3.2	2.0	ท่อน	925	1,850	185	370	2,220
	คานและตงพื้นชั้น 2							
	ตง Tube 100x50x2.3 mm.	6.0	ท่อน	700	4,200	175	1,050	5,250
	พื้น ค.ส.ล.ชั้น 2							
	คอนกรีตผสมเสร็จ	0.9	ลบ.ม.	1,800	1,620	350	315	1,935
	ไม้อัดซีเมนต์ หนา 12 mm.	18.0	ตร.ม.	160	2,880	100	1,800	4,680
	โครงสร้างบันได							
	แม่บันได C200x100x3.2 mm.	1.0	ท่อน	1,500	1,500	300	300	1,800
	L50x50x6 mm.	6.0	ท่อน	635	3,810	120	720	4,530
	รวมหมวดงานโครงสร้าง				39,552		8,641	48,192
2	**หมวดงานเปลือกอาคารส่วนทึบ**							
	ผนังฉนวนกันความร้อนภายนอก	30.0	ตร.ม.	1,200	36,000	300	9,000	45,000
	ผนังโครงเหล็ก ฉนวนพันรอบ	90.0	ตร.ม.	1,000	90,000	300	27,000	117,000
	รวมหมวดงานเปลือกอาคารส่วนทึบ				126,000		36,000	162,000
3	**หมวดงานผนังภายใน**							
	ผนังยิปซั่ม โครงสังกะสี บุกระเบื้องเซรามิค	12.0	ตร.ม.	500	6,000	250	3,000	9,000
	รวมหมวดงานผนังภายใน				6,000		3,000	9,000
4	**หมวดงานผิวพื้น**							
	พื้นชั้นที่ 1							
	พลาสติกใส กันชื้น(10 ม.)	4.0	ม้วน	190	760	-	-	760
	พื้นซีเมนต์ขัดมัน	32.0	ตร.ม.	57	1,824	20	640	2,464

ตารางที่ ค-2 แสดงรายละเอียดราคาค่าก่อสร้างบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ (ต่อ)

	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคาวัสดุ		ค่าแรงงาน		รวมทั้งหมด
				ราคา	รวม	ราคา	รวม	
	โฟมรองพื้น	32.0	ตร.ม.	120	3,840	10	320	4,160
	กระเบื้องเซรามิค 8"X8" ผสมน้ำยากันซึม	4.0	ตร.ม.	280	1,120	150	600	1,720
	พื้นชั้นที่ 2							
	พื้นซีเมนต์ขัดมัน	18.0	ตร.ม.	57	1,026	20	360	1,386
	รวมหมวดงานพื้น				8,570		1,920	10,490
5	**หมวดงานประตู-หน้าต่าง**							
	ประตูบานเปิดเดี่ยวไม้อัดสัก พร้อมอุปกรณ์ (0.90x2.00)	1.0	ชุด	3,000	3,000	500	500	3,500
	ประตูบานเปิดเดี่ยว พร้อมอุปกรณ์ (0.80x2.00)	1.0	ชุด	2,500	2,500	500	500	3,000
	ประตูบานเปิดเดี่ยว พร้อมอุปกรณ์ (0.90x2.00)	2.0	ชุด	3,800	7,600	850	1,700	9,300
	หน้าต่าง บานกระทุ้ง พร้อมอุปกรณ์ (0.60x0.90)	5.0	ชุด	2,500	12,500	750	3,750	16,250
	หน้าต่าง บานติดตาย พร้อมอุปกรณ์ (0.30x0.60)	6.0	ชุด	500	3,000	200	1,200	4,200
	รวมหมวดงานประตู-หน้าต่าง				25,600		6,450	32,050
6	**หมวดงานบันได ราวระเบียง**							
	บันได							
	บันได 2"x12" ยาว 1.00 ม. ไม้เนื้อแข็งย้อมสี	15.0	ขั้น	350	5,250	200	3,000	8,250
	ราวบันได	30.0	ม.	150	4,500	200	6,000	10,500
	รวมหมวดงานบันได ราวระเบียง				9,750		9,000	18,750
7	**หมวดงานสุขภัณฑ์**							
	โถสุขภัณฑ์+สายชำระ+สต็อปวาล์ว	1.0	ชุด	3,500	3,500	300	300	3,800
	อ่างล้างมือ	1.0	ชุด	870	870	300	300	1,170
	ก๊อกผสมอ่างล้างมือ	1.0	ชุด	250	250	100	100	350
	ฝักบัว+ก๊อกผสมฝังผนัง	1.0	ชุด	300	300	100	100	400
	ที่ใส่กระดาษชำระ	1.0	ชุด	100	100	100	100	200
	ที่ใส่สบู่	1.0	ชุด	100	100	100	100	200
	ราวแขวนผ้า	1.0	ชุด	100	100	100	100	200
	กระจกเงา	1.0	ตร.ม.	750	750	350	350	1,100
	รวมหมวดงานสุขภัณฑ์				5,970		1,450	7,420

ตารางที่ ค-2 แสดงรายละเอียดราคาค่าก่อสร้างบ้านพักอาศัยที่ออกแบบ (ต่อ)

	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคาวัสดุ		ค่าแรงงาน		รวมทั้งหมด
				ราคา	รวม	ราคา	รวม	
8	**หมวดงานระบบบำบัดน้ำเสีย**							
	บ่อเกรอะบ่อซึม	1	จุด	1,000	1,000	500	500	1,500
	ท่อ P.V.C. ชั้น 8.5 ขนาด 1" ยาว 4 ม.	1	เหมา	220	220	100	100	320
	ท่อ P.V.C. ชั้น 8.5 ขนาด 2" ยาว 4 ม.	1	เหมา	2,200	2,200	500	500	2,700
	ท่อ P.V.C. ชั้น 8.5 ขนาด 4" ยาว 4 ม.	1	เหมา	3,900	3,900	500	500	4,400
	FD. ระบายน้ำทิ้งที่พื้น	1	จุด	350	350	50	50	400
	รวมหมวดงานระบบนำเสีย				7,670		1,650	9,320
9	**หมวดงานระบบน้ำประปา**							
	ถังเก็บน้ำ 1000 ลิตร	1.0	ชุด	1,300	500	1,500	1,500	2,000
	โครงสร้างถังเก็บน้ำใต้ดิน	1.0	เหมา	3,000	3,000	1,400	1,400	4,400
	ปั๊มน้ำ ขนาด 150 Watt	1.0	เครื่อง	4,000	4,000	500	500	4,500
	มิเตอร์น้ำ	1.0	ชุด	350	350	50	50	400
	วาล์วเปิด/ปิดน้ำ (Gate Valve)	10.0	ตัว	100	1,000	50	500	1,500
	เช็กวาล์ว 1"	2.0	ตัว	150	300	50	100	400
	ฟุตวาล์ว 1"	1.0	ตัว	50	50	50	50	100
	ลูกลอย 1"	1.0	ตัว	200	200	50	50	250
	ท่อ P.V.C. ชั้น 13.5 ขนาด 1/2" และอุปกรณ์	1.0	เหมา	900	900	200	200	1,100
	รวมหมวดงานระบบน้ำประปา	-			10,300		4,350	14,650
10	**หมวดงานไฟฟ้าแสงสว่าง**							
	มิเตอร์ไฟ	1.0	ชุด	700	700	-	-	700
	แผงควบคุมไฟฟ้าย่อย	1.0	ชุด	1,500	1,500	300	300	1,800
	โคมไฟฟลูออเรสเซนต์และสวิทช์ไฟฟ้า	4.0	จุด	300	1,200	300	1,200	2,400
	เต้ารับไฟฟ้า	6.0	จุด	150	900	300	1,800	2,700
	รวมหมวดงานไฟฟ้าแสงสว่าง				4,300		3,300	7,600
11	**หมวดงานโทรศัพท์และโทรทัศน์**							
	งานโทรศัพท์ และอินเตอร์คอม							
	ตู้รวมสายโทรศัพท์	1.0	ชุด	1,000	1,000	300	300	1,300
	เต้ารับโทรศัพท์	2.0	จุด	200	400	300	600	1,000
	เต้ารับโทรทัศน์	2.0	จุด	200	400	300	600	1,000
	รวมหมวดงานโทรศัพท์และโทรทัศน์				1,800		1,500	3,300

ภาคผนวก ง

สถิติความสามารถในการทำงานต่อวัน

สถิติความสามารถในการทำงานต่อวัน รวบรวมจากการก่อสร้างอาคารเมื่อปี พ.ศ.2519-2522 จากการสร้างทาวส์เฮ้าส์จำนวน 100 คูหา และอาคารพักอาศัยจำนวน 6 หลัง และทดลองปฏิบัติงานของช่างอาชีพในแต่ละแขนงงาน โดยเลือกช่างฝีมืออายุ 25-45 ปี ลูกมือช่างอายุ 18-25 ปี ทำงานวันละ 6 ชั่วโมง แล้วเฉลี่ยผลงานทุก 6 วัน (นรมิตร ลิ่วธนมงคล, 2538)

	ลักษณะงาน	จำนวนคน	งาน	หน่วย	หมายเหตุ
1	งานดิน-ขนย้ายวัสดุทั่วไป				
1	ขุดดินธรรมดา	1	2.2	$ม^3$	ดินเหนียวปนทราย
2	ขุดหลุมฐานรากขนาด 80×80×100 ซม.	1	2.5	หลุม	ดินเหนียวปนทราย
3	ขุดร่องฝังท่อระบาย ขนาด ø 0.60	1	8	ม	ดินร่วนปนทราย
4	ขนถ่ายถมดิน ระยะห่าง 12 ม.	2	2.8	$ม^3$	คนหนึ่งตักใส่ปุ้งกี๋
5	ขนถ่ายถมดิน ระยะห่าง 2-3 ม.	1	3	$ม^3$	พร้อมเกลี่ยเสมอ
6	โกยหิน # 2 ลงข้างรถบรรทุก	1	14	$ม^3$	รวมเวลารอรถเข้าที่
7	โกยทรายลงข้างรถบรรทุก	1	45	$ม^3$	รวมเวลารอรถเข้าที่
8	ตักหิน # 2 จากพื้นขึ้นรถบรรทุก	2	19	$ม^3$	ระยะห่าง 12 ม.
9	รื้อทุบทิ้งตึกเก่า (เฉพาะกำแพงอิฐ)	1	4	$ม^3$	ผนังอิฐหนา 10 ซม.
10	ย่อยอิฐหักพร้อมกับเกลี่ยถม	1	2	$ม^3$	คนงานหญิง
11	ยกอิฐมอญขึ้นที่สูง 3 ม. มีทางลาดให้	1	15000	ก้อน	ใช้เข่งหาบ 2 ใบ
12	ยกอิฐบล็อกขึ้นที่สูง 3 ม.มีทางลาดให้	1	550	ก้อน	ใช้เข่งหาบ 2 ใบ
13*	แบกทรายจากเรือ เทห่าง 15 ม.	5	25-30	$ม^3$	2 คนตัก 3 คนแบก
14*	ขนอิฐมอญจากพื้นขึ้นที่สูง 30 ม.	3	120000	ก้อน	มีปั้นจั่นช่วยงานตึกสูง
15*	ย้านเหล็กเส้นขึ้นที่สูง 42 ม.	4	48-55	ตัน	มีปั้นจั่นช่วยงานตึกสูง
2	งานตอกเข็ม				
1	ตอกเข็มไม้ขนาด ø 3" (4 เกลอ)	4	75	ต้น	งานริ้วริมคูน้ำ
2	ตอกเข็มไม้ขนาด ø 4"-6" (4 เกลอ)	4	40	ต้น	เลื่อมปลายและแบกตั้ง
3	ตัดหัวเสา + เลื่อมปลายเสาเข็มไม้	1	40	ต้น	ยกเคลื่อนเสาเอง
4	ตอกเข็ม ค.ส.ล. รูปตัด ไอ 30×21 ม	4	2-5	ต้น	รวมย้ายปั้นจั่น
5	เข็มเจาะขนาด ø 0.50×21.00 ม	5	0.4-0.8	ต้น	พื้นที่ก่อสร้างคับแคบ
3	งานช่างปูน				
1	ก่ออิฐมอญ 1/2 แผ่นอิฐ	1	8	$ม^2$	มีผู้ช่วยผสมปูนและส่งอิฐ
2	ก่ออิฐมอญ 1/2 แผ่นอิฐ ระยะสูง 3 ม.	1	4.5	$ม^2$	มีผู้ช่วยผสมปูนและส่งอิฐ
3	ก่ออิฐบล็อกหนา 7 ซม.(ไม่เซาะร่อง)	1	6.5	$ม^2$	มีผู้ช่วยผสมปูนและส่งอิฐ
4	ก่ออิฐ บ.ป.ก โชว์แนว	1	3.5	$ม^2$	มีผู้ช่วยผสมปูนและส่งอิฐ
5	ก่ออิฐมอญโชว์แนว	1	5	$ม^2$	มีผู้ช่วยผสมปูนและส่งอิฐ

สถิติความสามารถในการทำงานต่อวัน (ต่อ)

	ลักษณะงาน	จำนวนคน	งาน	หน่วย	หมายเหตุ
6	ก่อกำแพงหินหนา 30 ซม.	2	1.5	$ม^2$	1 คนก่อ 1 คนคัดและส่งหิน
7	บุหินกาบผนัง	1	2.2	$ม^2$	มีผู้ช่วยคัดและจัดหิน
8	ทำบัวปูนผนัง	1	5	ม.	แบบบัวอย่างง่าย
9	ฉาบปูนผนัง	1	10	$ม^2$	
10	ฉาบปูนคาน 3 ด้าน 30×50×50 ซม.	1	0.90	ม.	รวมจับเชี้ยมแต่งแนว
11	ฉาบปูนเสา 4 ด้าน 30×30 ซม.		1	ม.	รวมจับเชี้ยมแต่งแนว
12	ฉาบปูนเสากลม ø 0.40 ม.	1	2	ม.	
13	บุกระเบื้องเคลือบ 4" ผนัง	1	2.2	$ม^2$	ไม่รวมการฉาบรองพื้น
14	ปูกระเบื้องโมเสค 2" พื้น	1	2.7	$ม^2$	รวมแต่งปูนทราย
15	ทำผนังทรายล้าง	1	5	$ม^2$	ไม่รวมการทำรองพื้น ปรับระดับ
16	ทำผนังกรวดล้าง	1	4.8	$ม^2$	ไม่รวมการทำรองพื้น ปรับระดับ
17	ทำพื้นหินขัด	2	18	$ม^2$	ไม่รวมลงยาขัดเงา
18	ทำหินขัดเสากลม ø 0.40 ม.	2	2	ม.	ไม่รวมลงยาขัดเงา
19	ปูกระเบื้อง 8" × 8" พื้น	2	5.5	$ม^2$	ไม่รวมการปรับพื้น
20	ปูกระเบื้องหินขัดสำเร็จรูป 8" × 8"	2	5.5	$ม^2$	ไม่รวมการปรับพื้น
21	ปูพื้นหินอ่อน 30×50×01 ซม.	2	1.8	$ม^2$	รวมงานปรับระดับ
22	เทพื้นปูนทราย หนา 5 ซม.	1	12	$ม^2$	
23	เทพื้นคอนกรีตหนา 10 ซม.	1	10	$ม^2$	เฉลี่ยจากช่างทำ 3 คน
24	เทเสาคอนกรีต 0.30×0.30×3.00ม.	2	13	ม.	
25*	เทคานคอนกรีตธรรมดา ระดับสูง 3 ม.	3	1.5	$ม^3$	ส่งถังปูนโดยวิธีโยน
26*	เทคอนกรีตพื้นหนา 14 ซม. ตึกสูง	8	150-180	$ม^2$	มีปั้นจั่นยกปูนให้
27	ผสมคอนกรีตด้วยกะบะ	3	5	$ม^3$	
28	ผสมคอนกรีตด้วยเครื่องผสม 0.50 $ม^3$	4	22.5	$ม^3$	วัสดุผสมห่าง 3-6 ม.
4	งานช่างไม้				
1	ตั้งเสาไม้ 6" × 4.00 ม.ติดยึด	2	6.5	ต้น	
2	ทำโครงหลังคาไม้	3	12	$ม^2$	ไม่รวมมุงหลังคา
3	มุงหลังคาสังกะสี	1	12	$ม^2$	
4	มุงหลังคากระเบื้องลอนคู่	1	10	$ม^2$	
5	ตีไม้ระแนง	1	2	$ม^2$	ความสูงเท่าบ้าน 2 ชั้น
6	ตีฝาไม้ทับเกล็ด	1	6	$ม^2$	
7	ตีฝาไม้บังใบ/เข้าลิ้น	1	3	$ม^2$	
8	ตีฝาตั้งทับเกล็ด	1	4.5	$ม^2$	

สถิติความสามารถในการทำงานต่อวัน (ต่อ)

	ลักษณะงาน	จำนวนคน	งาน	หน่วย	หมายเหตุ
9	ไสไม้ฝา	1	80	ม2	ไสด้านเดียว
10	ไสไม้พื้น	1	42.5	$ม^2$	ไสด้านเดียว
11	ปูพื้นไม้ตีชิด	1	10	$ม^2$	
12*	ปูพื้นไม้เข้าลิ้น	1	4	$ม^2$	
13	ปูพื้นไม้ปาเก้	2	9	$ม^2$	
14	วางและติดตั้ง คาน/ดงไม้	3	20	$ม^2$	
15*	ตีไม้ระแนงฝา	1	40	$ม^2$	
16*	ทำลูกกรงไม้ (ใช้เครื่องกลึง)	1	20	อัน	2"×2"×1.05 ม.
17*	ทำบันไดไม้ ขนาดกว้าง 1.50 ม.	2	6	ขั้น	ไม่รวมราว
18*	ติดตั้งลูกกรงไม้-ราวไม้	1	1.50	ม.	
19	ติดตั้งวงกบขนาด 1.05×1.60 ม.	2	10	วง	
20*	ทำกรอบบานหน้าต่าง 0.80×1.05 ม.	1	5	บาน	ใช้เครื่องจักรช่วย
21*	ทำบานประตูไม้ลูกฟัก 0.80×2.00 ม.	1	0.8	บาน	ไม่ใช้เครื่องจักรช่วย
22	ติดตั้งบานหน้าต่างขนาด 0.80×1.05 ม.	1	8	บาน	บานพับแบบวิหโก้
23	ติดตั้งบานประตูไม้+ลูกบิด 0.90×2.00	2	5	บาน	
24	ทำโครง+ ตีฝาไม้อัด 6 มม. 2 ด้าน	2	18	$ม^2$	คราวไม้ # 0.40 ม.
25	ทำโครงไม้ฝีฝ้าเพดานกระเบื้อง 4 มม.	2	10	$ม^2$	คร่าวไม้ # 0.40 ม.
26*	ทำแบบหล่อคอนกรีตคาน+พร้อมติดตั้ง	2	10	$ม^2$	บ้านพักอาศัย
27*	ทำแบบหล่อคอนกรีตพื้น+พร้อมติดตั้ง	2	8	$ม^2$	บ้านพักอาศัย
5	งานเหล็ก				
1	ตัดเหล็ก+ผูกเหล็กโครงสร้างทั่วไป	1	72	กก.	
2	เชื่อมทำลูกกรงบันได(แบบเรียบแนวตั้ง)	2	16	ม.	ไม่รวมร้อยราว พีวีซี
3	ตัดเหล็ก+เชื่อมหน้าต่างลวดลาย(ลายอิฐ)	1	2	บาน	ตัดเหล็กเตรียมไว้แล้ว
4*	ติดตั้งประตูเหล็กดัด	2	8	บาน	ช่าง 1 คน,ลูกมือ 1 คน
5*	ติดตั้งประตูเหล็กยืด (ทาวน์เฮ้าส์)	4	2	ชุด	ช่าง 1 คน,ลูกมือ 1 คน
6*	ติดตั้งประตูเหล็กม้วน	3	1	ชุด	
7*	ทำโครงหลังคาโรงงานขนาดเล็ก	4	5	ม.	แบบโครงจั่วธรรมดา
6	งานช่างสี				
1	ทาสีน้ำปูน	1	35	$ม^2$	ทา 1 ครั้ง
2	ทาสีน้ำมัน ผนัง	1	18	$ม^2$	ทา 1 เที่ยว
3	ทาสีน้ำมันหน้าต่างกรอบไม้	1	6	บาน	ทา 2 เที่ยว
4	ทาสีน้ำพลาสติก เพดาน	1	8	$ม^2$	ทา 2 เที่ยว

สถิติความสามารถในการทำงานต่อวัน (ต่อ)

	ลักษณะงาน	จำนวนคน	งาน	หน่วย	หมายเหตุ
5	ทาสีน้ำพลาสติก ผนัง	1	12	$ม^2$	ทา 2 เที่ยวไม่รวมรองพื้น
6*	ทาแชลแล็คประตูไม้อัด 0.90×2.00 ม.	1	14.5	$ม^2$	ทา 2 เที่ยว
7*	ทาน้ำมันวานิชเงาบานประตู	1	2	บาน	ทา 2 เที่ยวไม่รวมการขัดแต่-
8*	ขัดพื้นไม้ด้วยเครื่องขัด	1	40	$ม^2$	
9*	ขัดกระดาษทรายบานประตูลูกฟักลวดลาย	1	1	บาน	ช่างลูกมือ
10	ทาวานิชพื้นไม้	1	10	$ม^2$	ทา 1 เที่ยว
11*	ผูกนั่งร้านไม้ไผ่	2	150	$ม^2$	สูงไม่เกิน 3 ชั้น
7	งานช่างประปา				
1	ติดตั้งอ่างล้างมือ	1	4	อ่าง	
2	ติดตั้งที่ปัสสาวะชาย แบบแขวน	2	5	ที่	รวมติดตั้งอุปกรณ์
3	ติดตั้งส้วมนั่งราบ	1	2	ที่	มีงานปูนบ้างเล็กน้อย
4	ติดตั้งส้วมนั่งยองๆ	1	2.5	ที่	มีงานปูนบ้างเล็กน้อย
5	ติดตั้งก๊อกน้ำทั่วไป	1	12	จุด	ไม่รวมการเดินท่อพีวีซี
6*	เดินท่อน้ำ พีวีซี รวมงานสกัดผนัง	1	12	ม.	บ้านพักอาศัย
7*	เดินท่อน้ำทิ้ง พีวีซี รวมงานสกัด	1	10	ม.	บ้านพักอาศัย
8*	เดินท่อส้วม พีวีซี รวมงานสกัด	1	8	ม.	บ้านพักอาศัย
9*	เดินท่อน้ำประปา ท่อเหล็ก	2	10	ม.	บ้านพักอาศัย มีงานสกัดบ้าง
10*	เดินท่อน้ำขนาดไม่เกิน ø 2" พีวีซี	2	20	ม.	อาคารสูงมีเว้นช่องรูให้
11	ติดตั้งเครื่องสูบน้ำ	1	1	จุด	บ้านพักอาศัย
8	งานช่างไฟฟ้า				
1	เดินสายไฟแบบเดินลอย	1	4.5	จุด	งานตีกแถวไม่รวมติดตั้งโคม
2	ติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์(นีออน)	1	4	จุด	1×40 วัตต์พร้อมโป๊ะ
3*	เดินสายไฟร้อยท่อพร้อมสกัดปูนผนัง	2	4	จุด	บ้านพักอาศัย
4*	ติดตั้งกระดิ่งไฟฟ้า	1	6	จุด	ทาวน์เฮ้าส์
5*	ติดตั้งโคมไฟระย้า	2	4	ชุด	
6*	ทำแผงควบคุมไฟฟ้า + ติดตั้ง	1	1	แผง	แผงไม้ควบคุม 25 จุด
9	งานช่างกระจกและอลูมิเนียม				
1*	ติดตั้งกระจก 2.5×3.5 ฟุตหนา 5 มม.	1	12	บาน	งานหน้าต่าง
2	ติดตั้งกระจกบานเกล็ด 4"	1	120	เกล็ด	
3*	ติดตั้งกระจกตู้โชว์ ขนาด 6×8 ฟุต	3	4	บาน	ไม่รวมการขนย้ายกระจก
4	ทำโครงอลูมิเนียม ประตู,หน้าต่าง	2	6	$ม^2$	บ้านพักอาศัย,ทาวน์เฮ้าส์
5	ติดตั้งแขวนอลูมิเนียมเพดาน T-BAR	2	60	$ม^2$	ไม่รวมใส่แผ่นฝ้า

สถิติความสามารถในการทำงานต่อวัน (ต่อ)

	ลักษณะงาน	จำนวนคน	งาน	หน่วย	หมายเหตุ
10	งานช่างอื่นๆ				
	1* ติดตั้งแขวนรางผ้าม่าน	1	16	ม.	ไม่รวมเย็บผ้าม่าน
	2* ปูพรมทอ/ถัก พร้อมยางรองพื้น	2	90	$ม^2$	ขนาดห้อง 5×6 ม.
	3 ปูกระเบื้องยาง พื้น	1	20	$ม^2$	ปรับพื้นเรียบแล้ว
	4* ปูกระเบื้องยางบันได	1	8.5	ขั้น	บันไดกว้าง 1.20 ม.
	5* ปูพรม พีวีซี	3	300	$ม^2$	พื้นที่ผืนเดียว
	6* ปิดกระดาษติดผนัง (ผนัง)	1	31	$ม^2$	ผนังปรับเรียบแล้ว
	7* ติดตั้งกระดาษติดผนัง (เสา)	1	12.5	$ม^2$	
	8* ติดตั้งเค้าเตอร์บาร์ทรงรูป "แอล"	2	6.5	ม.	เฉพาะงานติดตั้ง(เฉลี่ยง่ายยาก)
	9* ติดตั้งตู้เสื้อผ้าจากพื้นจรดเพดาน	3	9	ม.	เฉพาะงานติดตั้ง(เฉลี่ยง่ายยาก)
	10* ทำตู้เสื้อผ้าชนเพดาน	1	0.30-0.6	ม.	ทำและประกอบในโรงงาน
	11* ทำเก้าอี้รับประทานอาหารธรรมดา	1	0.80	ตัว	งานช่างฝีมือ

* = สถิติใหม่ทดสอบปี พ.ศ. 2527-2529

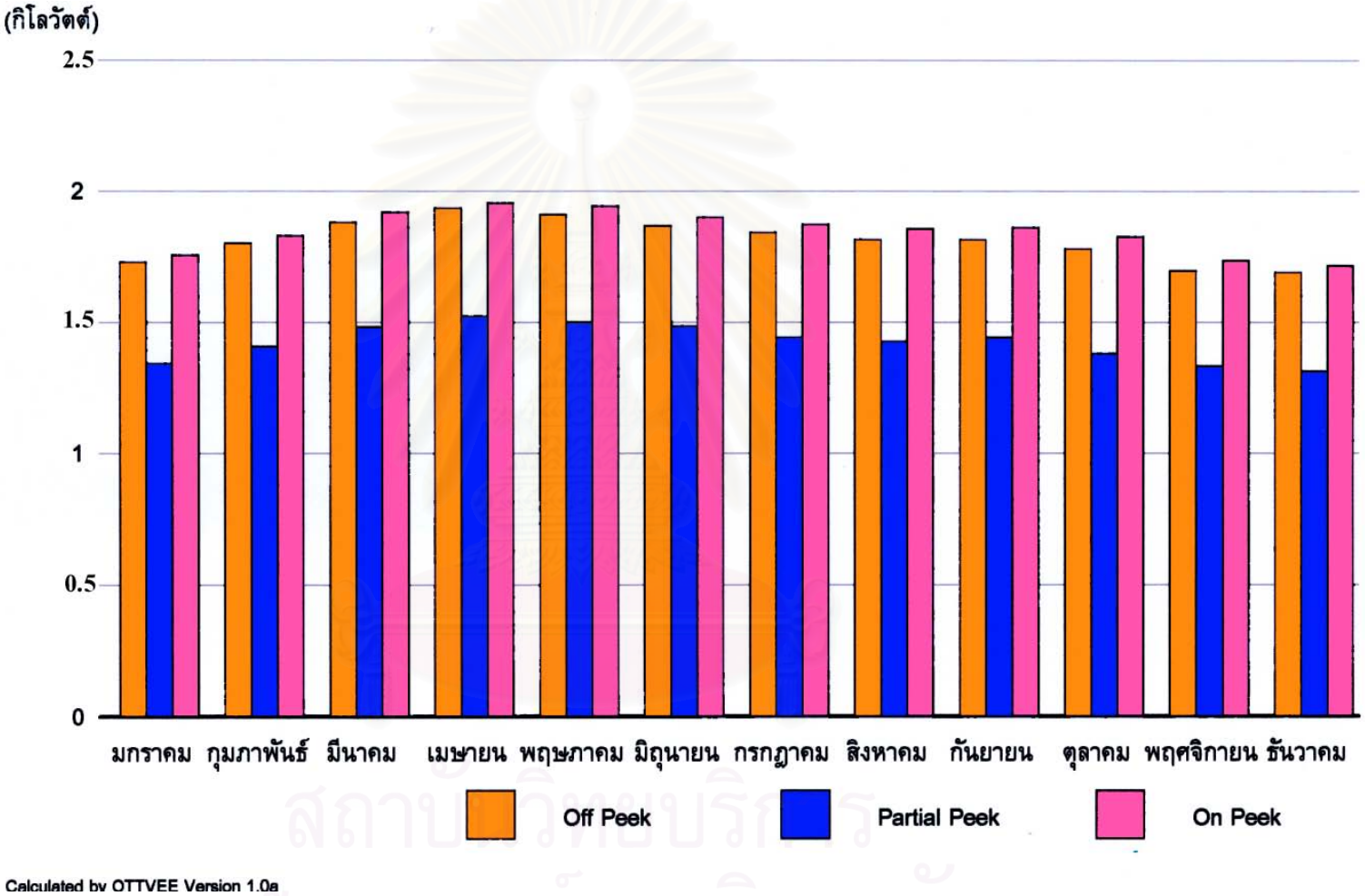
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

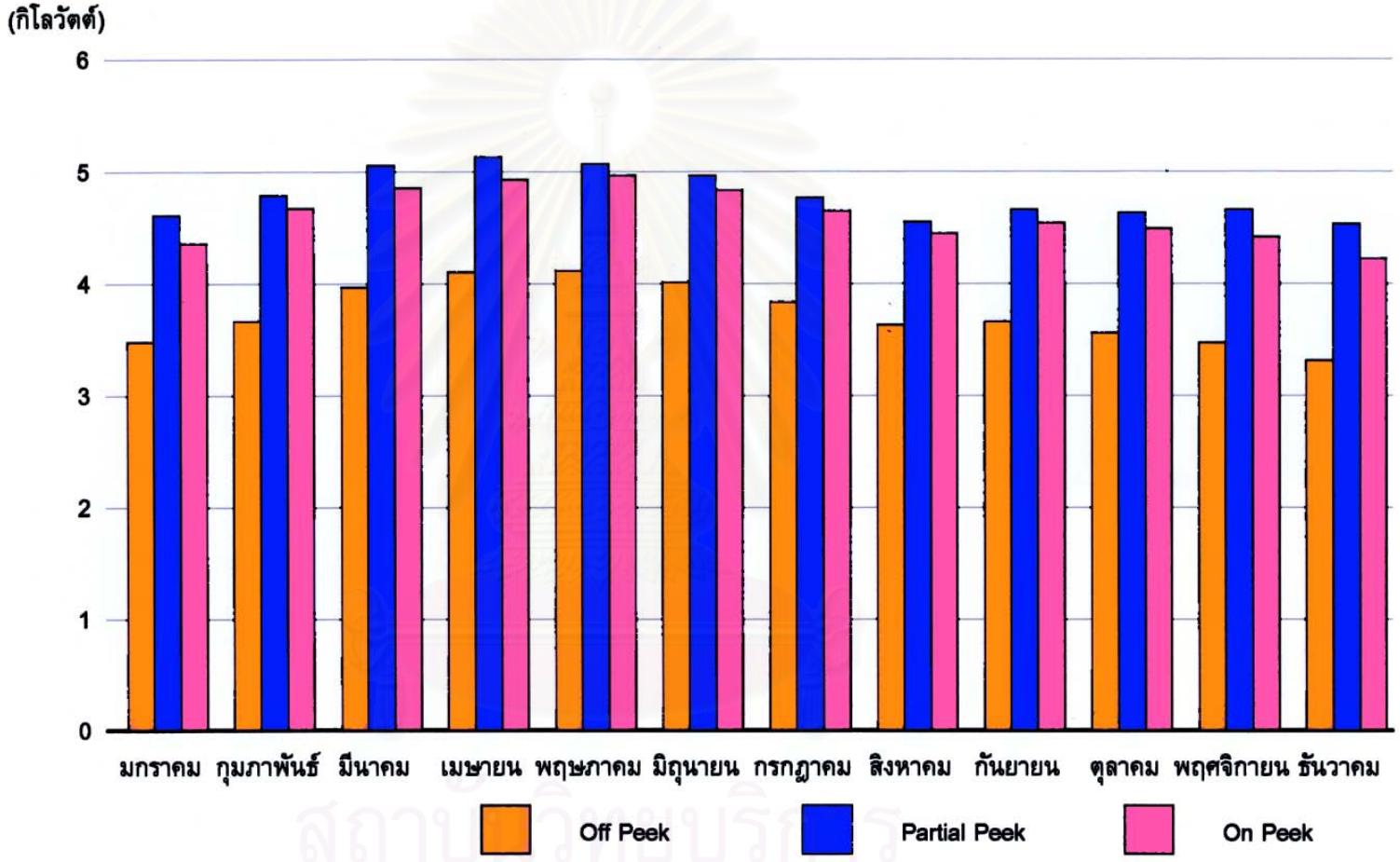
ค่าพลังงานและค่าไฟฟ้าทั้งหมดของอาคาร

ค่าพลังงานและค่าไฟฟ้าทั้งหมดของบ้านพักอาศัย สำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม และบ้านเอื้ออาทร ในแต่ละเดือน คำนวณด้วยโปรแกรม OTTVEE Version 1.0a

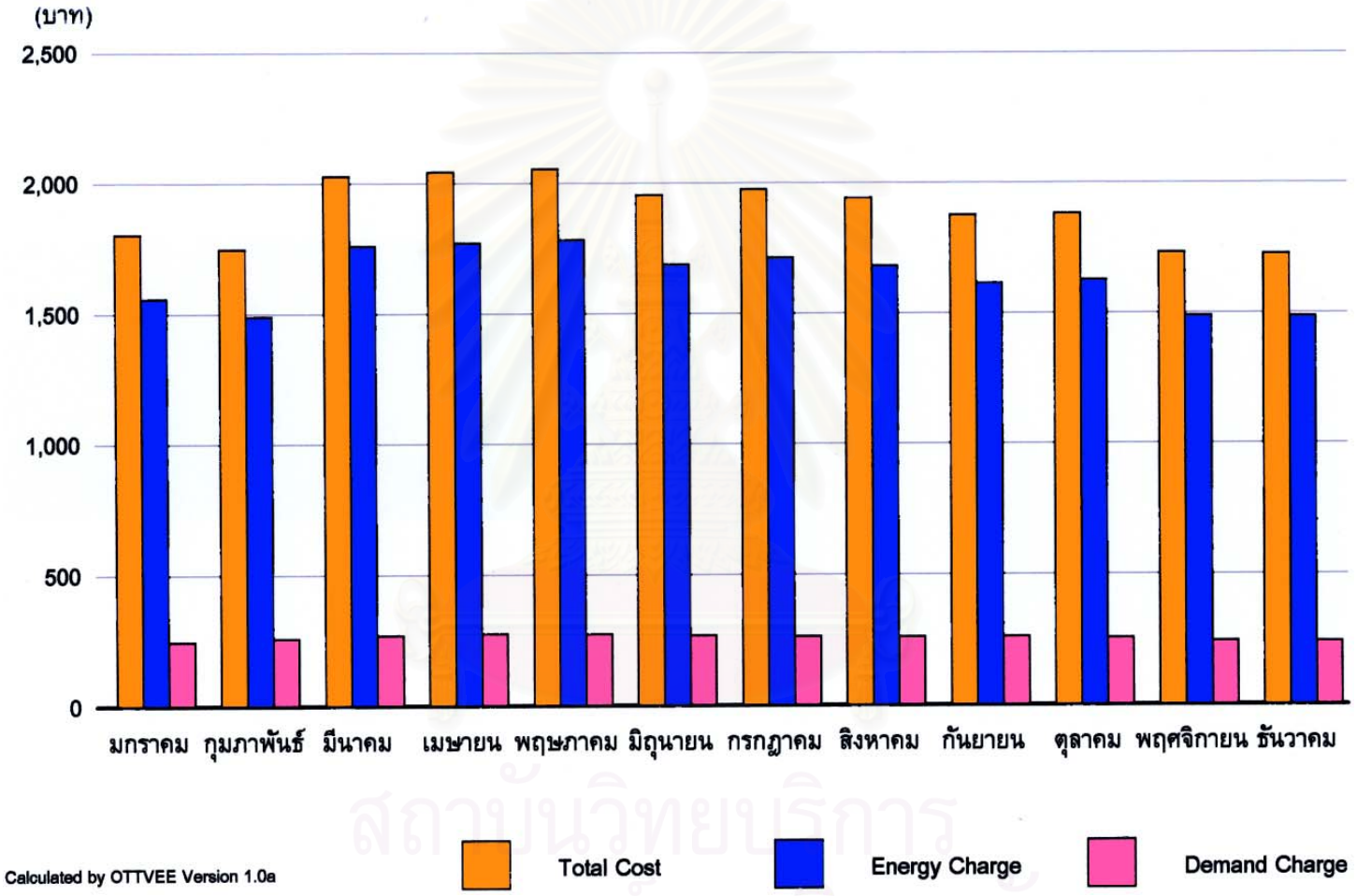
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



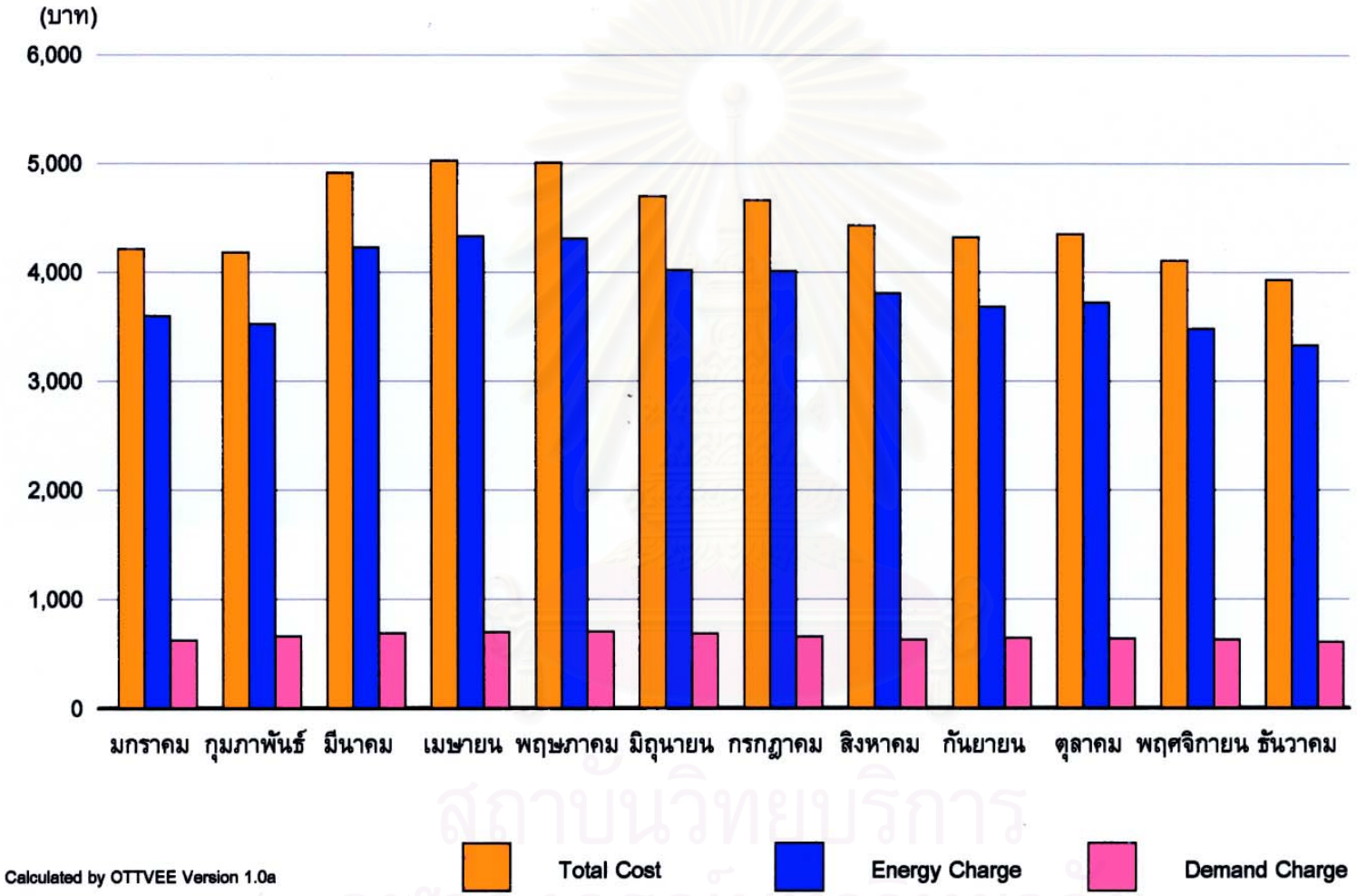
แผนภูมิที่ จ-1 แสดงค่าการใช้พลังงานสูงสุดของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวมในแต่ละเดือน



แผนภูมิที่ จ-2 แสดงค่าการใช้พลังงานสูงสุดของบ้านเอื้ออาทร ในแต่ละเดือน



แผนภูมิที่ จ-3 แสดงค่าไฟฟ้าทั้งหมดของบ้านพักอาศัยสำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่ออกแบบ ด้วยการลดพื้นที่เปลือกอาคารและค่าใช้จ่ายโดยรวม ในแต่ละเดือน



แผนภูมิที่ จ-4 แสดงค่าไฟฟ้าทั้งหมดของบ้านเอื้ออาทร ในแต่ละเดือน

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายณรงค์ฤทธิ์ จินต์จันทรวงศ์ เกิดวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2522 สำเร็จการศึกษาสถาปัตยกรรมศาสตร์บัณฑิต จากคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2543 ในปี พ.ศ. 2544 ทำงานเป็นลูกจ้างชั่วคราว ในตำแหน่งสถาปนิก ฝ่ายวางแผนและพัฒนาคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ปี พ.ศ. 2546 ทำงานในตำแหน่งสถาปนิก บริษัทจีฟ โปรดัก จำกัด และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรมและสิ่งแวดล้อม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2545

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย