

การออกแบบและปรับปรุงตู้คอนเทนเนอร์เดิมให้มีประสิทธิภาพพลังงาน
สำหรับที่อยู่อาศัยชั่วคราว

Retrofitted Existing Container Design in Energy Efficiency for Shelter

โดย

นายกมลกานต์ สุขยศ
นายธนวัฒน์ พัฒนา
นายนิเวตรอน ทัศนชัยสิทธิ์
นางสาวปภัสสร กุลโรสง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2565

Retrofitted Existing Container Design in Energy Efficiency for Shelter



Kamonkarn Sukyot
Thanawat Pattana
Neutron Tassanachaiyasit
Papatson Kulthaisong

THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2565

การออกแบบและปรับปรุงตู้คอนเทนเนอร์เดิมให้มีประสิทธิภาพพลังงาน
สำหรับที่อยู่อาศัยชั่วคราว

Retrofitted Existing Container Design in Energy Efficiency for Shelter



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. อรรถพล เเงาพิทักษ์กุล

ผศ. ชายชาญ โปธิสาร

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2565

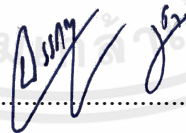
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและปรับปรุงตู้คอนเทนเนอร์เดิมให้มีประสิทธิภาพพลังงาน
สำหรับที่อยู่อาศัยชั่วคราว

ผู้จัดทำ

1. นาย กมลกานต์ สุขยศ
2. นาย ธนวัฒน์ พัฒนา
3. นาย นวัตกรรม ทศนชัยสิทธิ์
4. นางสาว ปภัสสร กุลไธสง



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. อรรถพล เก่าพิทักษ์กุล)



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. ชายชาญ โปธิสาร)

การออกแบบและปรับปรุงตู้คอนเทนเนอร์เดิมให้มีประสิทธิภาพพลังงาน สำหรับที่อยู่อาศัยชั่วคราว

นาย กมลกานต์ สุขยศ

นาย ธนวัฒน์ พัฒนา

นาย นิเวตรอน ทิศนชัยสิทธิ์

นางสาว ปภัสสร กุลไธสง

รศ.ดร. อรรถพล เก้าพิทักษ์กุล

ผศ. ชายชาญ โปธิสาร

ปีการศึกษา 2565

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและปรับปรุงตู้คอนเทนเนอร์เดิมให้มีประสิทธิภาพพลังงานสำหรับที่อยู่อาศัยชั่วคราว โดยการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์แล้วนำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองจริง ส่วนของการออกแบบตู้คอนเทนเนอร์ใช้โปรแกรม Sketch Up ออกแบบตู้จำลอง 3 มิติ ให้มีความสมมาตรกับขนาดจริง โดยมีขนาด 1x1x1.5 เมตร ส่วนการวิเคราะห์การประหยัดพลังงานใช้โปรแกรม Sefaira โดยประหยัดได้จากการดูทิศทางของแสงอาทิตย์เพื่อหาที่ตั้งที่เหมาะสม การใช้ฉนวนกันความร้อนและติดฟิล์มกระจกกันความร้อน รวมทั้งจำลองการติดตั้งระบบไฟฟ้าโดยดูจากค่าการใช้พลังงานภายในอาคาร แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์จะมีการติดตั้งวัสดุกันความร้อน 2 ชนิด มาเปรียบเทียบกับความสามารถในการกันความร้อนระหว่าง PU foam และ Sandwich panel (EPS) จากนั้นวัดค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างภายนอกกับภายในตู้ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองจากการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิภายในมีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิภายนอก แสดงว่าวัสดุที่นำมาติดตั้งสามารถกันความร้อนได้จริง

Retroffied Existing Container Design in Energy Efficiency for Shelter

Mr.Kamonkarn	Sukyot
Mr.Thanawat	Pattana
Mr.Neutron	Tassanachaiyasit
Ms.Papatson	Kulthaisong
Assoc. Prof. Dr. Atthapol Ngaopitakkul	
Asst. Prof. Chaichan	Pothisarn

ABSTRACT

This thesis presents the design and improvement of existing containers for energy efficiency for temporary housing. by computer analysis and then compared with the real model. As for the design of the container, use the Sketch Up program to design a 3D model of the container to be symmetrical to the actual size, with dimensions of 1x1x1.5 meters. For energy saving analysis, the Sefaira program is used to calculate energy saving by looking at the direction of the sun to find a place. right set Use of heat insulation and heat resistant glass film Including simulating electrical installations by looking at the energy consumption in the building. The container model will be installed with 2 types of heat insulation materials to compare the heat insulation ability between PU foam and Sandwich panel (EPS), then measure the temperature between outside and inside the container. to be compared with experimental results from computer analysis. From the experiment it was found that the internal temperature was less than the external temperature. Shows that the materials used to install can actually prevent heat.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์และสนับสนุนเป็นอย่างดีจาก รองศาสตราจารย์ ดร. อรรถพล เสาพิทักษ์กุล และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชายชาญ โภธิสาร อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ ความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการและได้กรุณาตรวจแก้ไขจนกระทั่งปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณนายณัฐพล มฤคทัต และ ดร.สุภารัตน์ พุ่มย้อย เจ้าหน้าที่ห้องฝ่ายสนับสนุนวิชาการ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ให้ความอนุเคราะห์ในการยืมอุปกรณ์ต่างๆที่จำเป็นต้องใช้ในการดำเนินโครงการ

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานทุกคนที่อำนวยความสะดวกและช่วยเหลือในการทำโครงการครั้งนี้

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดาและครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนด้านการเงินและเป็นกำลังใจสำคัญ รวมทั้งเพื่อน พี่ น้อง ร่วมคณะทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือซึ่งกันและกันในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ และหวังว่าปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จะ เป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและผู้ที่สนใจศึกษาต่อไป

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	3
1.4 วิธีการใช้ในโครงการ	4
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	4
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ตู้คอนเทนเนอร์	6
2.1.1 นิยามของบ้านตู้คอนเทนเนอร์	6
2.1.2 บ้านตู้คอนเทนเนอร์	6
2.1.3 ขนาดของตู้คอนเทนเนอร์	6
2.1.4 ข้อดี – ข้อเสียของบ้านตู้คอนเทนเนอร์	6
2.1.4.1 ข้อดี	6
2.1.4.2 ข้อเสีย	7
2.1.5 แบบจำลองของบ้านตู้คอนเทนเนอร์	7

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2 ส่วนประกอบของโปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง	8
2.2.1 SketchUp	8
2.2.2 Sefaira	8
2.2.3 Autocad	9
2.3 ฆนวนกันความร้อน	10
2.3.1 PIR foam	10
2.3.1.1 คุณสมบัตื PIR foam	10
2.3.2 EPS foam	11
2.3.2.1 คุณสมบัตื EPS foam	11
2.3.3 M-PE Alu-Max	12
2.3.3.1 คุณสมบัตื M-PE Alu-Max	12
2.4 ค่าที่ใช้ในการคำนวณ	13
2.4.1 K value	13
2.4.2 R value	13
2.4.3 U value	13
2.4.4 SHGC (Solar Heat Gain Coefficient)	13
2.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	14
2.5.1 แผ่นสังกะสี	14
2.5.1.1 นิยามของแผ่นสังกะสี	14
2.5.2 ยิปซั่ม	15
2.5.2.1 นิยามของยิปซั่ม	15
2.5.2.2 คุณสมบัตืของยิปซั่ม	15
2.5.3 KIMO Thermohygrometer	16
2.5.3.1 คุณสมบัตืของ KIMO Thermohygrometer	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 ค่าของผลการทดลอง	16
2.6.1 Package Terminal AC (System 1)	16
2.6.2 AHU Design Airflow	17
2.6.3 Cooling Equipment Design Capacity	17
2.6.4 EUI (Energy Utilization Index)	17
2.6.5 Annual Energy Cost	17
บทที่ 3 การออกแบบและประกอบสร้าง	18
3.1 การออกแบบตู้คอนเทนเนอร์	18
3.2 การออกแบบแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์	21
บทที่ 4 ผลการทดลอง	27
4.1 ผลการจำลองตู้คอนเทนเนอร์ด้วยคอมพิวเตอร์	27
4.2 ผลการทดลองจากแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์จริง	38
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	47
เอกสารอ้างอิง	49
ภาคผนวก	50
ภาคผนวก ก บทความทางวิชาการ	51
ภาคผนวก ข ข้อมูลอุปกรณ์	57
ประวัติผู้เขียน	66

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	ตัวอย่างตู้คอนเทนเนอร์บ้าน	1
1.2	การติดตั้งบ้านตู้คอนเทนเนอร์	2
1.3	ตัวอย่างบ้านตู้คอนเทนเนอร์	3
2.1	โลโก้ของโปรแกรม SketchUp	8
2.2	โลโก้ของโปรแกรม Sefaira	8
2.3	โลโก้ของโปรแกรม AutoCad	9
2.4	Polyisocyanurate Foam (PIR foam)	10
2.5	Expanded Polystyrene Foam (EPS foam)	11
2.6	M-PE Alu-Max	12
2.7	แผ่นสังกะสี	14
2.8	ยิปซั่ม	15
2.9	KIMO Thermohygrometer	16
3.1	ตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 1 (Iso)	18
3.2	ตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 2 (Top)	19
3.3	ตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 3 (Front)	19
3.4	ตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 4 (Right)	20
3.5	ตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 5 (Back)	20
3.6	ตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 6 (Left)	21
3.7	แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 1 (Iso)	22
3.8	แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 2 (Top)	22
3.9	แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 3 (Front)	23
3.10	แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 4 (Right)	23
3.11	แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 5 (Back)	24

สารบัญรูปรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.12	แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 6 (Left)	24
3.13	โครงสร้างจำลองตู้คอนเทนเนอร์จริงสำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 1	25
3.14	โครงสร้างจำลองตู้คอนเทนเนอร์จริงสำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 2	25
3.15	โครงสร้างจำลองตู้คอนเทนเนอร์จริงสำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 3	26
3.16	โครงสร้างจำลองตู้คอนเทนเนอร์จริงสำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 4	26
4.1	ข้อมูล Energy Use Intensity ของการวางบ้านหันหน้าไปทางทิศเหนือ	28
4.2	ข้อมูล Energy Use Intensity ของการวางบ้านหันหน้าไปทางทิศใต้	28
4.3	ข้อมูล Energy Use Intensity ของการวางบ้านหันหน้าไปทางทิศตะวันออก	29
4.4	ข้อมูล Energy Use Intensity ของการวางบ้านหันหน้าไปทางทิศตะวันตก	29
4.5	ASHRAE Climate Zone	31
4.6	ตัวแปรต่างๆหลังจากวิเคราะห์โปรแกรม	31
4.7	ค่าร้อยละของชั่วโมงที่มีค่าความสว่างน้อยที่สุด	32
4.8	ระดับความเข้มแสง	33
4.9	พื้นที่ที่อับแสงและพื้นที่ที่สว่างเกิน	33
4.10	ร้อยละของพื้นที่ของพื้นที่โดนแสง	34
4.11	ร้อยละของวันที่มีการคำนวณช่วงเวลา	35
4.12	การเปรียบเทียบค่าของฉนวนต่างๆ	37
4.13	แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ที่ไม่ใส่ฉนวน	38
4.14	ค่าความร้อนภายในแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ที่ไม่ใส่ฉนวน ณ นาที่ที่ 20	39
4.15	ค่าความร้อนภายนอกแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ที่ไม่ใส่ฉนวน ณ นาที่ที่ 20	39
4.16	แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ที่ใส่ Sandwich panel (PIR foam) เป็นฉนวน	40
4.17	ค่าความร้อนภายในแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ที่ใส่ Sandwich panel (PIR foam) เป็นฉนวน ณ นาที่ที่ 20	40

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.18	ค่าความร้อนภายนอกแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ที่ใส่ Sandwich panel (PIR foam) เป็นฉนวน หนาที่ที่ 20	41
4.19	แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ที่ใส่ EPS foam เป็นฉนวน	42
4.20	ค่าความร้อนภายในแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ที่ใส่ EPS foam เป็นฉนวน หนาที่ที่ 20	42
4.21	ค่าความร้อนภายนอกแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ที่ใส่ EPS foam เป็นฉนวน หนาที่ที่ 20	43
4.22	แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ที่ใส่ PE MPE foam เป็นฉนวน	44
4.23	ค่าความร้อนภายในแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ที่ใส่ PE MPE foam เป็นฉนวน หนาที่ที่ 20	44
4.24	ค่าความร้อนภายนอกแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ที่ใส่ PE MPE foam เป็นฉนวน หนาที่ที่ 20	45

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แผนการดำเนินโครงการ เดือนกันยายน พ.ศ. 2565 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2565	4
1.2	แผนการดำเนินโครงการ เดือนมกราคม พ.ศ. 2566 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2566	5
4.1	เปรียบเทียบค่า Energy Use Intensity (EUI)	30
4.2	การเปรียบเทียบค่าของฟิล์มชนิดต่างๆ	36
4.3	การเปรียบเทียบค่าของฉนวนกันความร้อนชนิดต่างๆ	36
4.4	การเปรียบเทียบค่าความร้อนภายในของแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ช่วงกลางวัน	46
4.5	การเปรียบเทียบค่าความร้อนภายในของแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ช่วงกลางคืน	46



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ตู้คอนเทนเนอร์ (Container) หรือตู้ขนส่งสินค้าที่มีให้พบเห็นได้มากมายซึ่งใช้สำหรับขนของหรือสินค้าชนิดต่างๆ ซึ่งตู้คอนเทนเนอร์มีได้หลายขนาดและขนส่งสินค้าได้หลากหลายรูปแบบ นอกจากนี้ปัจจุบันยังมีการนำตู้คอนเทนเนอร์ไปใช้งานในด้านการก่อสร้างอาคารหรือที่รู้จักกันคือ “บ้านตู้คอนเทนเนอร์” โดยจุดเด่นหลักคือ ความแข็งแรงของตู้คอนเทนเนอร์ที่เหมาะสมในการมาทำเป็นโครงสร้าง รวมทั้งความทนทาน สึกกร่อนยาก รับน้ำหนักและแรงกระแทกได้ดี และข้อดีที่เห็นได้ชัดคือสามารถนำมาก่อสร้างได้ไว เพราะไม่ต้องผ่านการลงเสาเข็ม ขึ้นโครงเหล็กบ้าน หรือการก่อปูน ให้เสียเวลา โดยทั้งหมดที่กล่าวมาจะทำให้เห็นว่าบ้านตู้คอนเทนเนอร์นั้น ประหยัดต้นทุนอย่างมากเมื่อเทียบกับการสร้างบ้านแบบทั่วไป ทั้งยังดูมีเอกลักษณ์ แปลกตา น่าสนใจอีกด้วย



รูปที่ 1.1 ตัวอย่างตู้คอนเทนเนอร์บ้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งการทำบ้านตู้คอนเทนเนอร์ต้องคำนึงถึงหลายๆปัจจัยไม่ว่าจะเป็น การเลือกตู้คอนเทนเนอร์ในด้านความแข็งแรงทนทานหรือสภาพของตู้, สารเคมีหรือสิ่งเจือปนภายในตู้, การรับน้ำหนัก และ ความเป็นสนิมภายในและภายนอกตู้ นอกจากนี้ต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อมที่จะสร้างตู้คอนเทนเนอร์ เช่น ความอ่อนตัวของหน้าดิน, พื้นที่วางที่จะติดตั้งบ้านตู้คอนเทนเนอร์ และการติดตั้งยังต้องคำนึงถึงความแข็งแรงของเสารับน้ำหนักตู้, การเจาะประตูหรือหน้าต่าง ฯลฯ



รูปที่ 1.2 การติดตั้งบ้านตู้คอนเทนเนอร์

แต่บ้านตู้คอนเทนเนอร์นั้นมีปัญหาหลักคือความร้อนที่สะสมภายในตัวบ้านสูง เนื่องจากโครงสร้างบ้านตู้คอนเทนเนอร์ทำมาจากตู้คอนเทนเนอร์จริงที่มีส่วนประกอบจำพวกโลหะ ส่งผลให้ความร้อนสะสมภายในบ้านได้ง่ายทำให้อุณหภูมิภายในตัวบ้านร้อน ทางโครงการงานจึงคิดค้นวิธีทำให้บ้านตู้คอนเทนเนอร์นี้สะสมความร้อนภายในตัวบ้านน้อยลงเพื่อให้อุณหภูมิภายในบ้านเย็นกว่าเดิม ประหยัดพลังงานมากขึ้นและสามารถลดค่าใช้จ่ายในเรื่องของค่าไฟได้



รูปที่ 1.3 ตัวอย่างบ้านตู้คอนเทนเนอร์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาการใช้งานโปรแกรม Sefaira ในด้านต่างๆ
2. ศึกษาเกี่ยวกับวัสดุฉนวนกันความร้อนที่นำมาติดตั้งในแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์จริง
3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของฉนวนกันความร้อนโดยการเทียบอุณหภูมิภายนอกและภายในของแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์
4. เปรียบเทียบค่าความร้อนภายในระหว่างผลการจำลองผ่านโปรแกรม Sefaira และผลการทดลองของแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

ใช้โปรแกรม SketchUp ในการออกแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ และใช้โปรแกรม Sefaira ในการวัดค่าแสงสว่างและความร้อนภายในแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ หลังจากนั้นนำค่าความร้อนที่ได้จากโปรแกรมมาเทียบกับค่าความร้อนที่วัดได้จากการทดลองจริง

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ





1. ศึกษาโปรแกรม SketchUp เพื่อออกแบบแบบจำลองคอนเทนเนอร์ 3 มิติ
2. ศึกษาโปรแกรม Sefaira เพื่อดูค่าแสงสว่าง ความร้อน และพลังงานที่ใช้ ภายในแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์
3. ศึกษาค่า U-value และ SHGC ของฉนวนที่ใช้ในการทดลอง
4. ศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าความร้อน
5. เปรียบผลการจำลองของโปรแกรม Sefaira กับผลการทดลองจริง

1.5 แผนการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินโครงการ เดือนกันยายน พ.ศ. 2565 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2565

หัวข้อการดำเนินโครงการ	เดือน	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1. ใช้โปรแกรม SketchUp ออกแบบแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ 3 มิติ		↔				
2. ใช้โปรแกรม Sefaira ดูทิศทางในการติดตั้งแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์		↔	↔			
3. ใช้โปรแกรม Sefaira วัดค่าแสงสว่างภายในแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์			↔	↔		
4. ใช้โปรแกรม Sefaira ใส่ค่า U-value และ SHGC ของฉนวนกันความร้อน			↔			
5. วัดพลังงานความร้อนภายในแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์และคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้ภายในแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์					↔	↔

ตารางที่ 1.2 แผนการดำเนินโครงการ เดือนมกราคม พ.ศ. 2566 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2566

หัวข้อการดำเนินโครงการ	เดือน			
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
6. ส่งอุปกรณ์ต่างๆที่ต้องใช้ในการประกอบแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์จริง				
7. ประกอบอุปกรณ์ต่างๆเป็นแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์จริง				
8. วัดพลังงานความร้อนภายในแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์				
9. นำผลการจำลองของโปรแกรม Sefaira เทียบกับผลการทดลองจริง				

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. สามารถนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาโปรแกรม Sefaira ไปใช้ออกแบบอาคารประสิทธิภาพสูงที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
2. เข้าใจและมีความรู้ในการเลือกวัสดุฉนวนกันความร้อนเพื่อใช้ติดตั้งให้กับตัวอาคาร

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ตู้คอนเทนเนอร์

2.1.1 นิยามของตู้คอนเทนเนอร์

ตู้คอนเทนเนอร์ (Container) คือ ตู้ขนาดใหญ่ที่ผลิตด้วยเหล็กหรืออลูมิเนียม เพื่อใช้บรรจุสินค้าสำหรับการขนส่งทางเรือที่ต้องใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 15 วัน ดังนั้นภายนอกของตู้คอนเทนเนอร์นั้นจะต้องมีความแข็งแรง มี Slot เพื่อใช้ยึดตู้คอนเทนเนอร์แต่ละตู้ให้ติดกัน มีสีสันทากหลาย และหลายขนาดตามความต้องการใช้งาน

2.1.2 บ้านตู้คอนเทนเนอร์

เกิดขึ้นจากลักษณะของตู้คอนเทนเนอร์ที่มีทรงสี่เหลี่ยม คล้ายกับลักษณะบ้าน โดยการนำมาตกแต่งด้วยการทาสี บุด้วยฉนวน หรือต่อเติมส่วนอื่นๆ โดยสามารถกัน หรือเจาะเป็นผนังเพื่อทำเป็นหน้าต่าง หรือประตูให้ได้รับแสงสว่างส่องเข้าถึงด้านใน รวมถึงสามารถจัดเป็นโซนพื้นที่ต่าง ๆ โดยการนำตู้คอนเทนเนอร์มาต่อเข้ากันหลาย ๆ ใบ ทั้งพื้นที่ทางเข้า ซานบ้าน หรือโซนพักผ่อน นั่งจิบกาแฟรับบรรยากาศที่มาพร้อมกับราคาในการก่อสร้างที่ไม่ได้สูงมากนัก จึงกลายเป็นที่นิยมในยุคปัจจุบัน

บ้านตู้คอนเทนเนอร์ เป็นแบบบ้านสมัยใหม่ที่นิยม ในปัจจุบันจะเห็นได้ว่าที่อยู่อาศัยได้มีการเปลี่ยนแปลง และพัฒนาให้ทันสมัยมากขึ้น โดยเห็นได้จากประเภทวัสดุโครงสร้างบ้าน ที่มีให้เลือกหลากหลายมากยิ่งขึ้น ไม่ว่าจะเป็นไม้ เหล็ก หรือวัสดุสังเคราะห์อื่น ๆ หรือแม้กระทั่งตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมก็กำลังได้รับความนิยมในการปรับสร้างเป็นที่อยู่อาศัยเช่นกัน

2.1.3 ขนาดของตู้คอนเทนเนอร์ แบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ๆ ได้แก่

1. ขนาด 20 ฟุต สามารถรับน้ำหนักไม่เกิน 21.7 ตัน
2. ขนาด 40 ฟุต สามารถรับน้ำหนักได้ไม่เกิน 27.4 ตัน

2.1.4 ข้อดี-ข้อเสียของบ้านตู้คอนเทนเนอร์

2.1.4.1 ข้อดี

1. ลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยม ที่ให้ความคล้ายคลึงกับตัวบ้าน สะดวกในการนำมาใช้งานได้ทันที
2. ทนทุกสภาพอากาศได้ดี ไม่ว่าจะเป็นสภาพอากาศแดด ลม หรือฝน จึงเหมาะกับภูมิประเทศแบบประเทศไทย

3. ต่อเติมได้ง่าย ขนย้ายได้สะดวก และราคาไม่สูง จึงเหมาะกับท่านที่มีงบประมาณจำกัด
4. ระยะเวลาการก่อสร้างค่อนข้างรวดเร็ว ไม่ยืดเยื้อ ประมาณ 1 เดือนก็แล้วเสร็จทำให้ประหยัดทั้งแรงงาน งบประมาณ และเวลา
5. สามารถออกแบบ และดีไซน์ได้หลากหลาย ให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงของยุคสมัยและหลากหลายรูปแบบการใช้งาน ไม่ว่าจะนำมาก่อสร้างเป็นบ้าน สำนักงาน ร้านอาหาร ร้านกาแฟ หรือร้านค้าต่าง ๆ เป็นต้น
6. อายุการใช้งานค่อนข้างยาวนาน และดูแลรักษาค่อนข้างง่าย ไม่ยุ่งยาก

2.1.4.2 ข้อเสีย

1. ขนาด เนื่องจากมีขนาดที่ค่อนข้างตายตัว ตามขนาดที่กำหนด จึงต้องนำมาดัดแปลงและต่อเติมส่วนต่าง ๆ โดยช่างผู้ชำนาญการ
2. ความร้อน เนื่องจากมีลักษณะเป็นสีเหลี่ยม ไม่มีอะไรมาดบัง เมื่อได้รับแสงแดดจะกระจายความร้อนได้ดี ทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกอึดอัด หรือร้อนได้ หากไม่ได้ติดตั้งฉนวนกันความร้อน
3. น้ำหนักเยอะ ไม่เหมาะกับการวางลงดินโดยตรงเนื่องจากลักษณะดินแต่ละพื้นที่มีการอ่อนตัวแตกต่างกัน เช่น กรุงเทพฯ ที่มีลักษณะเป็นดินอ่อนอาจจะส่งผลต่อการทรุดตัวได้

2.1.5 แบบจำลองของบ้านตู้คอนเทนเนอร์

แบบจำลองคือสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อใช้ทดแทนของจริง เพื่อให้ง่ายต่อการศึกษา สามารถทำความเข้าใจการทำงานของระบบจริงได้ และทำการทดลองได้ง่ายกว่าระบบจริงในที่นี้คือการทำจำลองบ้านตู้คอนเทนเนอร์เพื่อง่ายต่อการทดลองและการศึกษา

2.2 ส่วนประกอบของโปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง

2.2.1 SketchUp



รูปที่ 2.1 โลโก้ของโปรแกรม SketchUp

SketchUp คือโปรแกรมสำหรับออกแบบโมเดล 3 มิติที่ได้รับความนิยมอย่างมาก สำหรับการสร้างสถาปัตยกรรม วิศวกรรม การตกแต่งภายใน ไปจนถึงการออกแบบผลิตภัณฑ์ต่างๆ

SketchUp ถูกพัฒนาขึ้นจากบริษัท @Last Software ในช่วงปี 2000 เพื่อให้คนทั่วไปสามารถเข้าถึงการสร้างโมเดล 3 มิติได้ง่ายขึ้น มีฟังก์ชันพื้นฐานต่างๆ ครบถ้วน แต่ก็กินทรัพยากรเครื่องค่อนข้างน้อย ทำให้โปรแกรมนี้ถูกจับตาเป็นอย่างมากตั้งแต่ช่วงแรกที่เปิดตัวโดยโปรเจกต์ได้นำโปรแกรม SketchUp มาใช้ในการสร้างแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์เป็นแบบ 3 มิติ เพื่อนำมาคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ในคอนเทนเนอร์

2.2.2 Sefaira



รูปที่ 2.2 โลโก้ของโปรแกรม Sefaira

Sefaira คือ ซอฟต์แวร์ปลั๊กอิน (Plug-in) ประสิทธิภาพสูงจาก Trimble ที่มาพร้อมกับ SketchUp Studio เพื่อการออกแบบอาคารประสิทธิภาพสูงที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และถูกนำไปใช้งานในโครงการต่าง ๆ โดยสถาปนิกระดับมืออาชีพมากกว่า 1,000 รายทั่วโลก

ด้วยความสามารถของ Sefaira จะช่วยให้สถาปนิกและทีมงานที่เกี่ยวข้อง สามารถทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอาคารแบบเรียลไทม์ผ่านระบบคลาวด์ ตั้งแต่ขั้นตอนของการออกแบบ ด้วยแนวคิดของการออกแบบอาคารที่เน้นประสิทธิภาพ (Performance-Based Design) ผ่านข้อมูลที่ถูก

วิเคราะห์ เพื่อช่วยสร้างความเข้าใจและช่วยในการตัดสินใจต่าง ๆ เกี่ยวกับการใช้พลังงานของอาคาร รวมถึงผลกระทบต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม ที่จะช่วย การสร้างประสบการณ์ในตัวเลือกจากการ ออกแบบของคุณได้เป็นอย่างดี

2.2.3 Autocad



รูปที่ 2.3 โลโก้ของโปรแกรม Autocad

AutoCAD ออโต้แคดเป็นซอฟต์แวร์ออกแบบโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยพัฒนา (CAD – Computer Aided Drafting/Design) โดย บริษัท Autodesk ช่วยในการวาดแบบ และแก้ไขการออกแบบ 2D และ 3D ได้อย่างรวดเร็วและง่ายดาย ไฟล์งานยังสามารถบันทึกและจัดเก็บไว้ในระบบคลาวด์ (Cloud System) ได้อีกด้วย ดังนั้นทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงได้ทุกที่ทุกเวลา โดยโปรเจกต์นี้จะใช้โปรแกรม AutoCAD ในการวาดแปลน 2 มิติ เมื่อให้มองเห็นระบบภายในได้ชัดเจน

2.3 ฉนวนกันความร้อน

2.3.1 Polyisocyanurate Foam (PIR Foam)



รูปที่ 2.4 Polyisocyanurate Foam (PIR Foam)

2.3.1.1 คุณสมบัติ PIR Foam

1. มีประสิทธิภาพดูดซับความชื้น หรือดูดซับน้ำต่ำ
2. ช่วยรักษาอุณหภูมิได้ดีที่สุด
3. สามารถใช้ได้ที่อุณหภูมิ -60 องศาเซลเซียส ถึง 100 องศาเซลเซียส
4. ลดการเกิดมลพิษในอากาศ และการสลายควันเนื่องจากขาดออกซิเจน
5. เมื่อเกิดการเผาไหม้ฉนวน PIR จะเกิดกลุ่มควันที่น้อยมาก
6. มีค่าความเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีที่สุด (นำความร้อนต่ำ)
7. มีประสิทธิภาพสูงกว่า ฉนวนกันความร้อน PIR ในท้องตลาดทั่วไป
8. มีค่าการเกิดควันในอัตราที่ต่ำ ช่วยลดมลพิษในการขาดออกซิเจน
9. มีน้ำหนักเบา เหมาะกับการเคลื่อนย้าย และใช้งานในทุกอุตสาหกรรม

2.3.2 Expanded Polystyrene Foam (EPS Foam)



รูปที่ 2.5 Expanded Polystyrene Foam (EPS Foam)

2.3.2.1 คุณสมบัติ EPS Foam

1. น้ำหนักเบา แต่สามารถรับน้ำหนักได้
2. ค่าการนำความร้อนต่ำ จึงเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี
3. ป้องกันการผ่านของเสียงได้
4. ป้องกันการผ่านของน้ำได้
5. สามารถนำมาตัดหรือขึ้นรูปต่างๆได้ง่าย
6. มีอายุการใช้งานยาวนาน
7. มีความยืดหยุ่น กันแรงกระแทกได้ดี

2.3.2 M-PE Alu-Max



รูปที่ 2.6 M-PE Alu-Max

2.3.2.1 คุณสมบัติ M-PE Alu-Max

1. ช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่า 40 %
2. ไม่ดูดซึมน้ำช่วยป้องกันการซึมผ่านของน้ำ
3. มีค่าต้านทานความร้อน ติดตั้งง่าย
4. น้ำหนักเบา ป้องกันการลามไฟดีเยี่ยม
5. อายุการใช้งานยาวนานไม่เสื่อมสภาพกว่า 10 ปี
6. ค่าการแผ่รังสีความร้อนไม่เกิน 0.05
7. ป้องกันการลามไฟที่ดีเยี่ยม

2.4 ค่าที่ใช้ในการคำนวณ

2.4.1 K value

ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity; K value) คือ เป็นค่าที่บอกว่าคุณสมบัติของวัสดุนั้นมีคุณสมบัตินำความร้อนมากน้อยเพียงใด โดยปกติอากาศร้อนจะเข้าไปแทนที่อากาศเย็นกว่าเสมอ แต่ถ้าวัสดุนั้นมีค่าการนำความร้อนต่ำ อากาศร้อนก็จะผ่านตัวฉนวนเข้ามาที่ตัวอาคารได้น้อยลง มีหน่วยเป็น W/mK ยิ่งน้อย ยิ่งดี

2.4.2 R value

ค่าความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance ; R value) คือ ค่าที่บอกความสามารถของวัสดุในการยับยั้งการไหล หรือถ่ายเทความร้อน โดยขึ้นอยู่กับความหนา และค่า k ของวัสดุนั้นๆด้วย มีหน่วยเป็น m^2K/W ยิ่งมาก ยิ่งดี หาได้จาก $R = (\text{Insulation Thickness})/(\text{Thermal Conductivity})$

2.4.3 U value

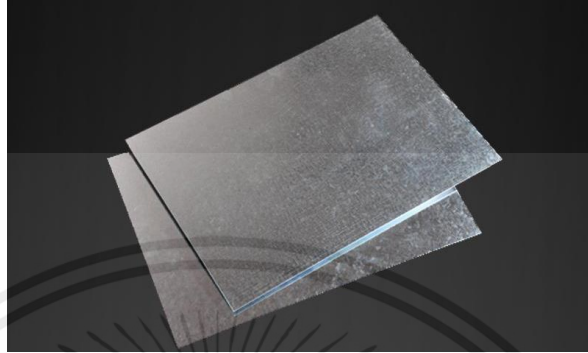
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer coefficient ; U value) คือ ปริมาณความร้อนที่ไหลผ่านเข้ามาในส่วนของอาคารคงที่ โดยที่อุณหภูมิอากาศของทั้งสองด้านแตกต่างกัน (ส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อน) ขึ้นกับความหนาและค่า k ของวัสดุนั้นๆด้วย มีหน่วยเป็น W/m^2K ยิ่งน้อยยิ่งดี หาได้จาก $U = 1/(\text{Thermal Resistance (R value)})$

2.4.4 SHGC (Solar Heat Gain Coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ โดยใช้หลักการคำนวณว่า ถ้าความร้อนจากแสงอาทิตย์มากระทบด้านนอกผิวกระจก 100% กระจกแผ่นนั้นๆ จะยอมให้ความร้อนผ่านเข้ามาในอาคารได้กี่เปอร์เซ็นต์

2.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

2.5.1 แผ่นสังกะสี



รูปที่ 2.7 แผ่นสังกะสี

2.5.1.1 นิยามของแผ่นสังกะสี

เป็นวัสดุราคาไม่สูงที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีให้เลือกใช้หลากหลายทั้งแบบแผ่น และม้วนคอยล์ แบบแผ่นที่เห็นทั่วไปจะอยู่ที่ขนาดแผ่น 4 x 8 ฟุต หรือ 5 x 10 ฟุต ทั้งนี้วัสดุหลักของอุปกรณ์ชนิดนี้ จะเป็นแผ่นเหล็กที่ถูกเคลือบด้วยสังกะสี ทั้งสองด้าน กระบวนการที่ใช้ในการทำเช่นนี้เรียกว่ากระบวนการจุ่มร้อนอย่างต่อเนื่อง หรือกระบวนการ Hot dip galvanize

ซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ กระบวนการนี้ส่งผลให้มีชั้นสังกะสี ที่เกาะติดแน่นกับเหล็กกล้า ช่วยป้องกันการเกิดสนิมบนเนื้อเหล็กได้ดีขึ้น ทนต่อสภาพแวดล้อมได้มากขึ้น ยืดอายุการใช้งาน และยังช่วยเพิ่มความแข็งแรง ทนทานต่อการใช้งานกลางแจ้งมากขึ้นด้วย ทำให้สังกะสีแผ่นเรียบ จึงได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ถูกนำมาใช้ในงานสถาปัตยกรรมและงานก่อสร้างงานหลังคา งานรางน้ำฝนเสาไฟ ตู้สัญญาณและอื่นๆ

2.5.2 ยิปซัม



รูปที่ 2.8 ยิปซัม

2.5.2.1 นิยามของยิปซัม

เป็นแผ่นปูนยิปซัมที่มีกระดาษเหนียวผิวเรียบ หรือวัสดุผิวเรียบหุ้มทั้งสองด้าน และอาจมีวัสดุเพิ่มคุณภาพ เคลือบผิวด้านใดด้านหนึ่ง หรือทั้งสองด้าน โดยที่แผ่นปูนยิปซัมต้น หรือพรม อาจผสมด้วยเส้นใยหรือวัสดุเพิ่มคุณภาพอื่น ๆ ที่ปลอดภัยต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

2.5.2.2 คุณสมบัติยิปซัม

1. ป้องกันการติดไฟ
2. น้ำหนักเบา
3. ป้องกันความร้อนได้ดี
4. ป้องกันความชื้น
5. ช่วยประหยัดพลังงานในบ้าน

2.5.3 KIMO Thermohygrometer



รูปที่ 2.9 KIMO Thermohygrometer

2.5.3.1 คุณสมบัติ KIMO Thermohygrometer

1. การวัดอุณหภูมิสูงสุดสมบูรณ์ 9 ตั้งแต่ค่า $-20 \rightarrow +70^{\circ}\text{C}$
2. การวัดความชื้นสูงสุดตั้งแต่ค่า $5 \rightarrow 95\% \text{RH}$
3. ประเภทไฮโกรมิเตอร์ คือ เทอร์โมไฮโกรมิเตอร์
4. ความแม่นยำในการวัดอุณหภูมิที่ดีที่สุด 0.1°C
5. ความละเอียดในการวัดอุณหภูมิ $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$
6. ความแม่นยำในการวัดความชื้นที่ดีที่สุด $\pm 1.8 \% \text{RH}$

2.6 ค่าของผลการทดลอง

2.6.1 Package Terminal AC (System1)

เป็นระบบทำความร้อนและปรับอากาศแบบควบคุมในตัวซึ่งพบได้ทั่วไปในโรงแรม โมเต็ล บ้านพักคนชรา โรงพยาบาล คอนโดมิเนียม อาคารอพาร์ทเมนต์ ห้องเสริม และห้องอบแดด หลายห้องได้รับการออกแบบให้ทะลุผนัง มีช่องระบายอากาศและแผงระบายความร้อนทั้งภายในและภายนอก

2.6.2 AHU Design Airflow

เป็นเครื่องจ่ายหรือส่งลมเย็นขนาดใหญ่ ใช้ในการปรับและหมุนเวียนอากาศ เป็นส่วนหนึ่งของระบบปรับอากาศ HVAC (Heating Ventilation and Air Conditioning) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ความสะอาดของอากาศ และการกระจายอากาศ

โดยจะเห็นว่า ค่า AHU Design Airflow ไม่เกี่ยวกับการทดลองนี้เพราะ ระบบที่ใช้เป็นระบบเครื่องปรับอากาศไม่ได้ใช้ระบบ Fan Coil Unit And Central Plant หรือ ระบบทำความเย็นจากส่วนกลางโดยใช้ Chilling ค่าที่ได้เลยมีค่าเท่ากัน

2.6.3 Cooling Equipment Design Capacity

ค่าที่บ่งบอกประสิทธิภาพ และการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ

2.6.4 EUI (Energy Utilization Index)

ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (ไฟฟ้า/น้ำมัน) ของส่วนราชการ โดยกระทรวงพลังงานเป็นผู้กำหนด

2.6.5 Annual Energy Cost

ราคาของการใช้พลังงานในแต่ละปี



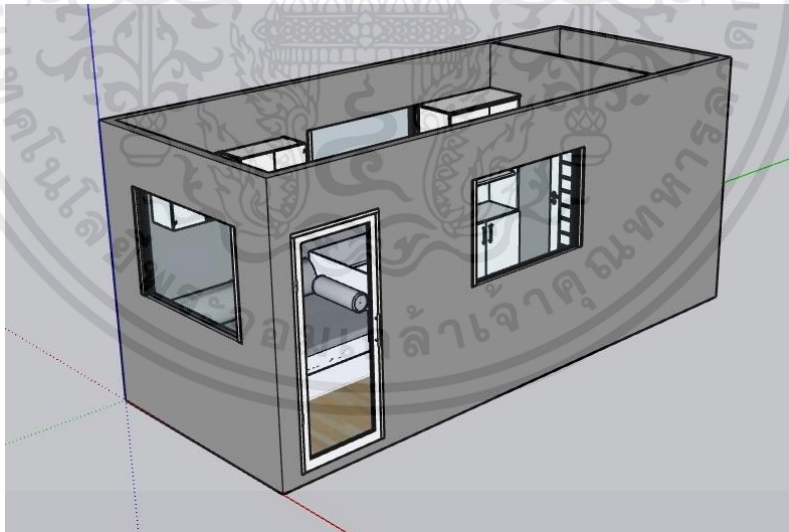
บทที่ 3

การออกแบบและประกอบสร้าง

การออกแบบและประกอบสร้างตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวโดยโปรแกรม SketchUp เป็นการออกแบบเชิงสถาปัตยกรรมเพื่อใช้ในการจำลองวัดค่าความร้อนที่ไหลผ่านกำแพงของชนิดฉนวนที่ต่างกัน ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายในตู้คอนเทนเนอร์ เปรียบเทียบความสามารถของฉนวนชนิดต่างๆในด้านคุณสมบัติการกันความร้อน เปรียบเทียบค่าความร้อนภายใน และการหาทิศทางที่ตั้งในการวางตู้คอนเทนเนอร์โดยผ่านโปรแกรม Sefaira และนำไปสร้างแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์เพื่อการทดลองจริง

3.1 การออกแบบตู้คอนเทนเนอร์

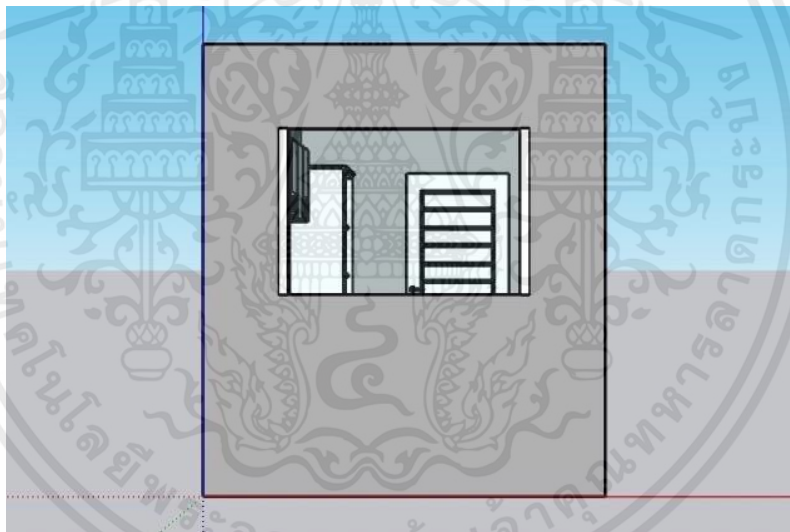
การออกแบบจำลองเชิงสถาปัตยกรรมตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวโดยโปรแกรม SketchUp ที่มีขนาดเท่ากับ 2.4x6.0x2.6 เมตร เป็นขนาดมาตรฐานทั่วไปและใช้อย่างแพร่หลาย และมีความหนาของผนังรวมกับฉนวนเท่ากับ 0.1 เมตร โดยที่แบ่งเป็น 2 ห้อง คือ ห้องนอน และห้องน้ำ พร้อมทั้งตกแต่งให้เหมาะสมกับแต่ละห้อง ดังรูปที่ 3.1 - 3.6



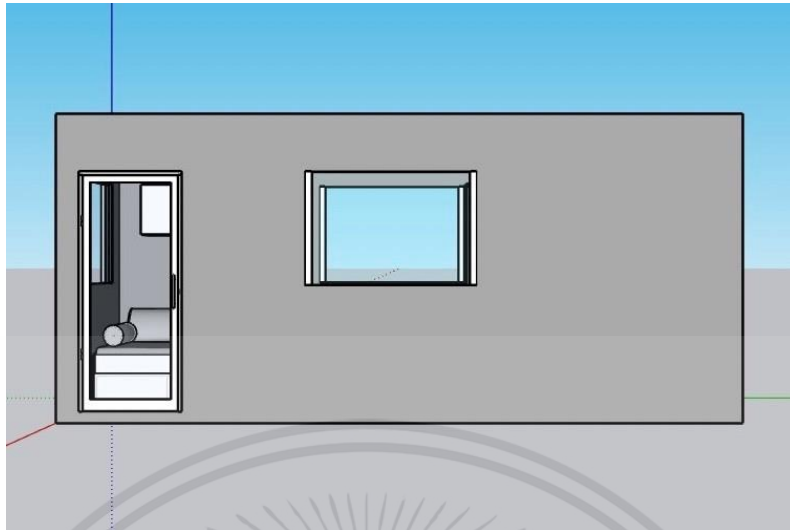
รูปที่ 3.1 ตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุงที่ 1 (Iso)



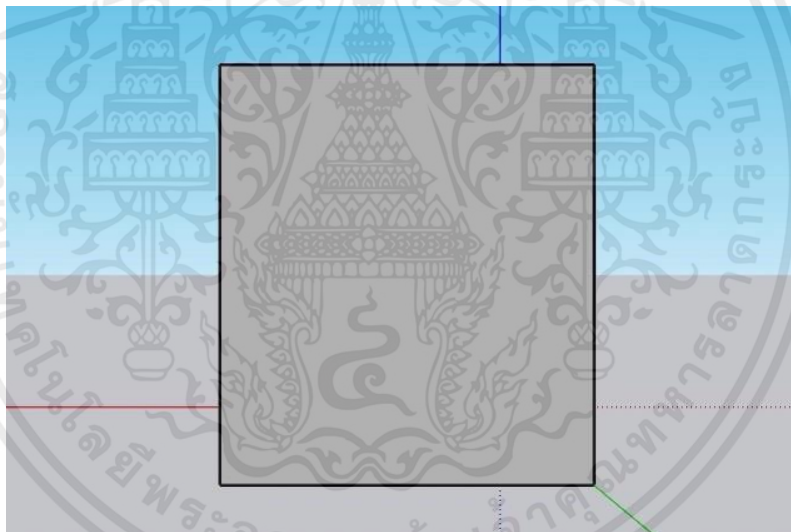
รูปที่ 3.2 ตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 2 (Top)



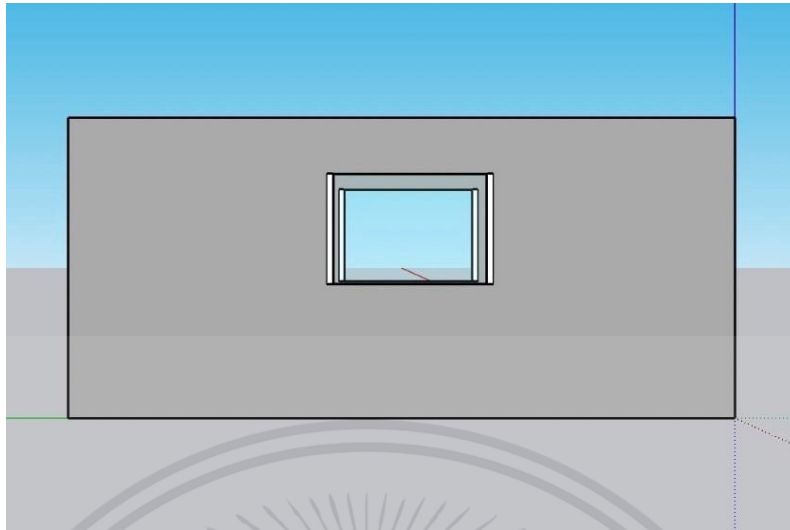
รูปที่ 3.3 ตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 3 (Front)



รูปที่ 3.4 ตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 4 (Right)



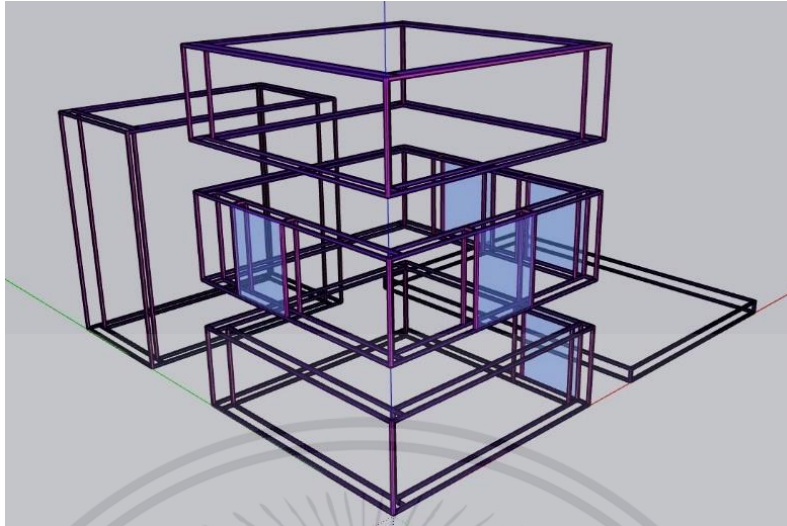
รูปที่ 3.5 ตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 5 (Back)



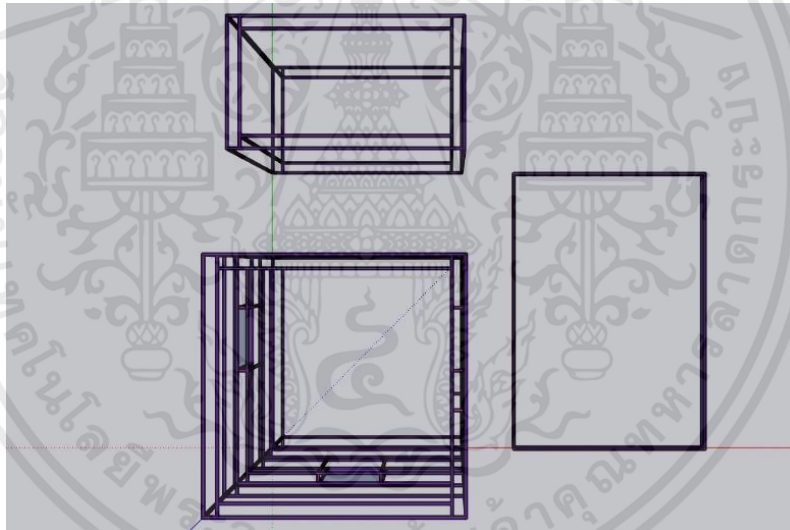
รูปที่ 3.6 ตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 6 (Left)

3.2 การออกแบบแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์

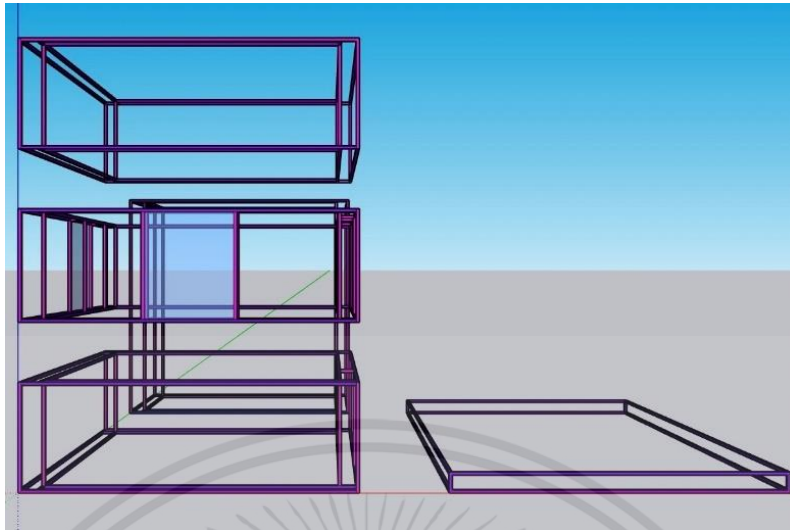
เมื่อทำการออกแบบจำลองเชิงสถาปัตยกรรมตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวเรียบร้อยแล้ว นำแบบที่ได้มาสร้างโครงแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์โดยโปรแกรม SketchUp เช่นเดียวกัน แต่มีขนาดเท่ากับ 1.0x1.5x1.05 เมตร เป็นขนาดที่เล็กลงจากตู้คอนเทนเนอร์ เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปสร้างชิ้นงานแบบจำลองจริง และมีช่องว่างของผนังเพื่อใส่ฉนวนทดสอบเท่ากับ 0.05 เมตร โดยที่ห้องนอนจะแบ่งเป็นชั้น ชั้นละ 0.35 เมตร และแบ่งห้องน้ำออกมาเพื่อสะดวกในการขนย้ายและเปลี่ยนฉนวนเพื่อทดสอบหาค่าต่างๆ ดังรูปที่ 3.7 - 3.12



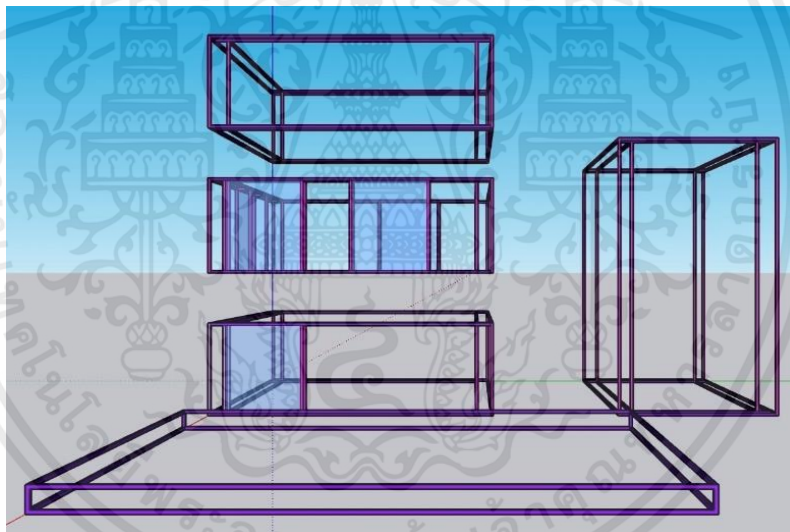
รูปที่ 3.7 แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 1 (Iso)



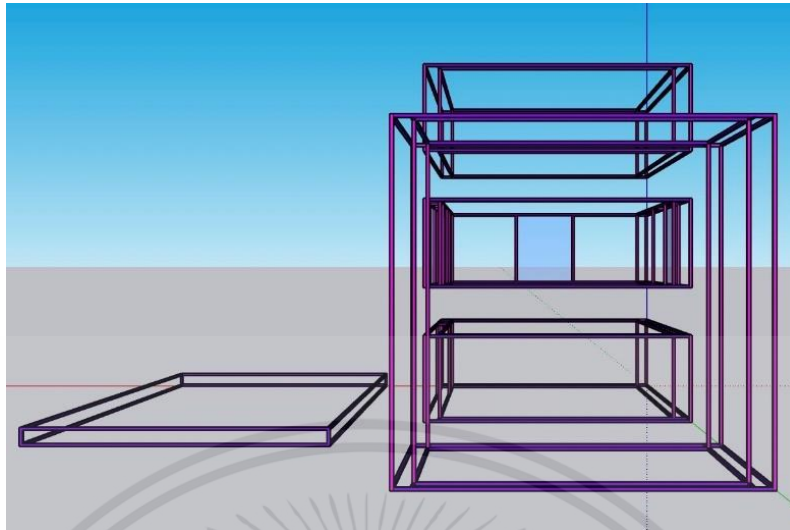
รูปที่ 3.8 แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 2 (Top)



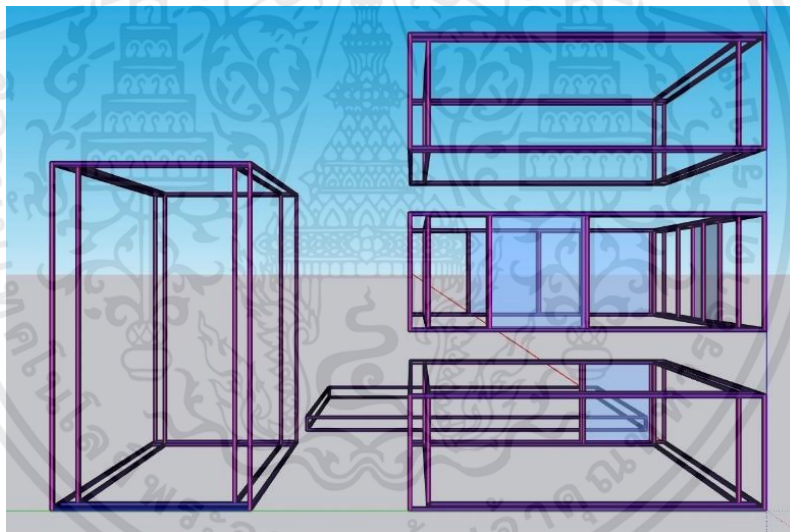
รูปที่ 3.9 แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 3 (Front)



รูปที่ 3.10 แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 4 (Right)



รูปที่ 3.11 แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวรวมที่ 5 (Back)



รูปที่ 3.12 แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวรวมที่ 6 (Left)

จากโครงแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ที่ได้ทำการออกแบบได้โดยโปรแกรม SketchUp ได้นำมาเป็นแบบในการสร้างแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์จริงโดยใช้อะลูมิเนียมโพรไฟล์ (AL PROFILE 30x30 SLOT 8 และ AL PROFILE 30x30 SLOT 8) เป็นโครงของตู้โดยใช้ขนาดเท่ากับแบบในโปรแกรม จากนั้นนำโครงอะลูมิเนียมโพรไฟล์มาติดแผ่นสังกะสีเรียบไว้ภายนอก และภายในติดด้วยแผ่นยิปซัมที่มีความหนาเท่ากับ 0.007 เมตร เว้นช่องว่าง 0.05 เมตร ระหว่างแผ่นสังกะสีเรียบและยิปซัมเพื่อใส่ฉนวน

ในส่วนของประตูและหน้าต่างของแบบจำลองใช้กระจกใสขนาด 0.30x0.31 เมตร ในการติดตั้ง และติดฟิล์มกระจกเพื่อป้องกันความร้อน ดังรูปที่ 3.13 - 3.16



รูปที่ 3.13 แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 1

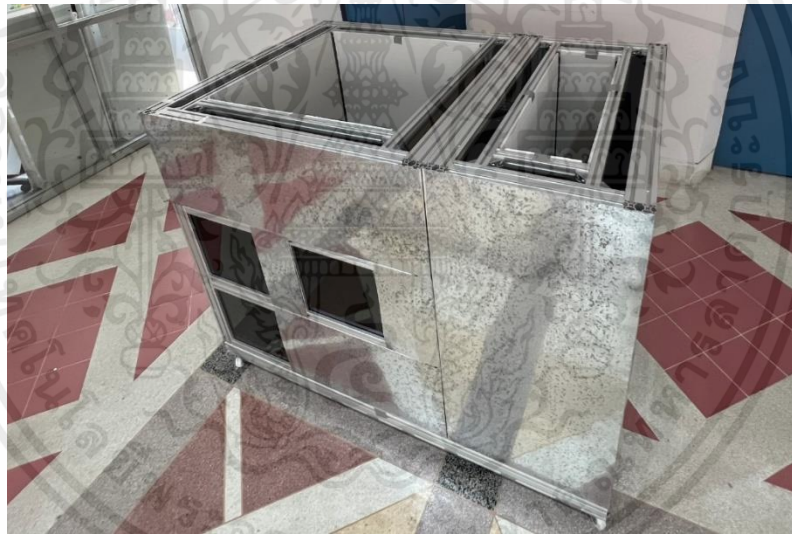


รูปที่ 3.14 แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมมที่ 3



รูปที่ 3.16 แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมมที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

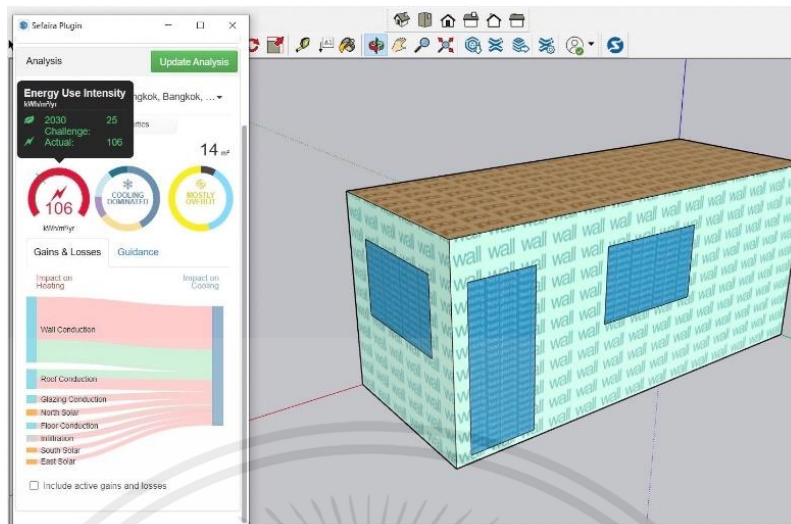
การดำเนินงานและประเมินผล

ในบทนี้จะแสดงการดำเนินงานและผลของการดำเนินงาน 2 แบบ ได้แก่ การทดลองโดยคอมพิวเตอร์และการทดลองจากแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์จริง เพื่อวัดค่าความร้อนและค่าพลังงานไฟฟ้า เปรียบเทียบความสามารถของฉนวนในด้านคุณสมบัติการกันความร้อน เปรียบเทียบค่าความร้อนภายใน และการหาทิศทางที่ตั้งในการวางตู้คอนเทนเนอร์

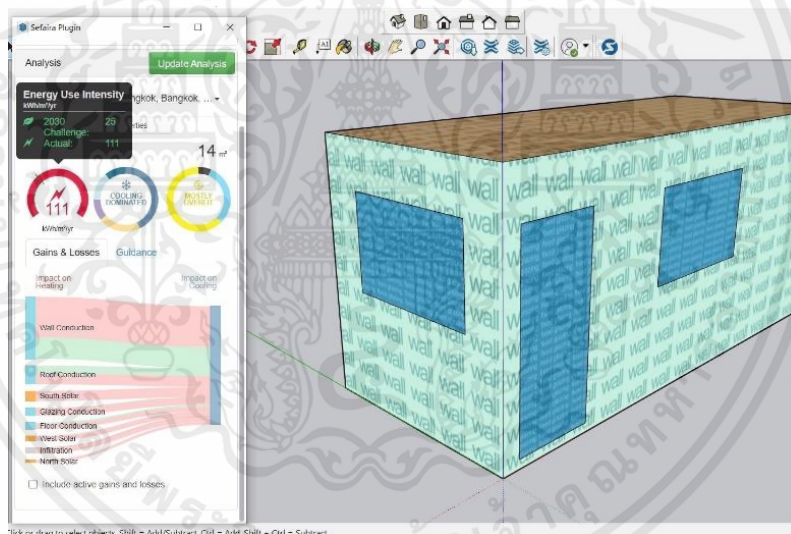
4.1 ผลการจำลองตู้คอนเทนเนอร์โดยคอมพิวเตอร์

เริ่มจากใช้โปรแกรม SketchUp ออกแบบตู้คอนเทนเนอร์ หลังจากนั้นก็ใช้โปรแกรม Sefaira ที่เป็นโปรแกรมสำหรับจำลองการวัดค่าพลังงานและความร้อนผ่านฉนวนชนิดต่างๆในการออกแบบตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวก่อนจะทดลองจริง เพื่อศึกษาค่าความร้อนที่ไหลผ่านฉนวนในกำแพง พร้อมกับการศึกษาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในตู้คอนเทนเนอร์ รวมถึงเปรียบเทียบความสามารถของฉนวนชนิดต่างๆในด้านคุณสมบัติการกันความร้อน และเปรียบเทียบค่าความร้อนภายในตู้คอนเทนเนอร์ในโปรแกรม

4.1.1 การดำเนินงานหาทิศทางการติดตั้งตู้คอนเทนเนอร์ หลังจากที่ได้จำลองแล้ว ก็ทำการตรวจสอบว่าหันหน้าตู้คอนเทนเนอร์ไปทางทิศใดจึงจะดีที่สุด (ได้ค่าความร้อนน้อยที่สุด) จึงได้ทดลองวางตัวแบบจำลองนี้ในโปรแกรม Sefaira ให้ตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพฯ และหันไปทางทิศต่างๆได้แก่ ทิศเหนือ, ทิศใต้, ทิศตะวันออก, ทิศตะวันตก และจะดูที่ค่า Energy Use Intensity (EUI) เป็นตัวเปรียบเทียบ ดังรูปที่ 4.1 - 4.4

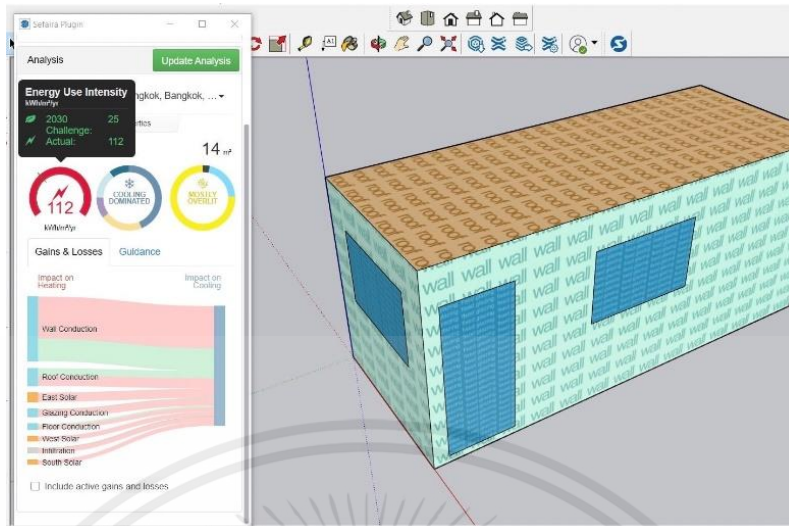


รูปที่ 4.1 ข้อมูล Energy Use Intensity ของการวางบ้านหันหน้าไปทางทิศเหนือ

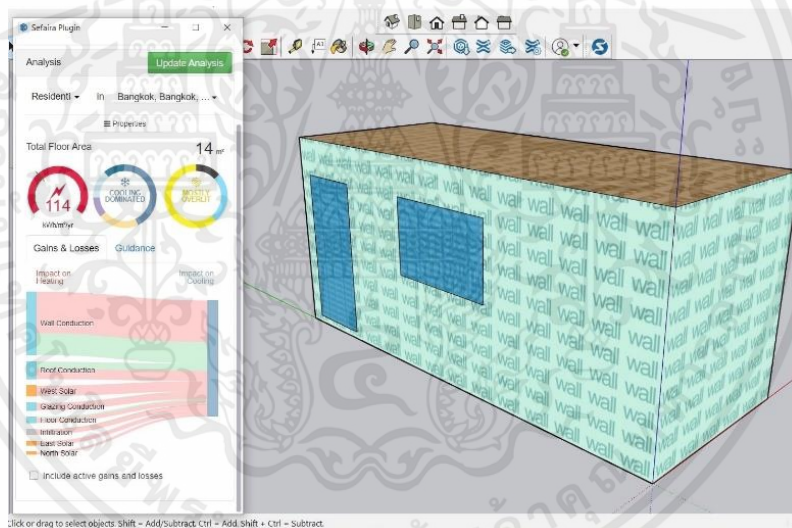


รูปที่ 4.2 ข้อมูล Energy Use Intensity ของการวางบ้านหันหน้าไปทางทิศใต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ข้อมูล Energy Use Intensity ของการวางบ้านหันหน้าไปทางทิศตะวันออก



รูปที่ 4.4 ข้อมูล Energy Use Intensity ของการวางบ้านหันหน้าไปทางทิศตะวันตก

จากรูปข้างต้นจะเห็นได้ว่า การวางแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์หันไปทางทิศเหนือของโปรแกรม Sefaira ทำให้แบบจำลองได้รับค่าความร้อนน้อยที่สุด ซึ่งทำให้บ้านเย็นมากที่สุด ดูได้จากค่า Energy Use Intensity (EUI) ของแบบจำลองที่หันหน้าบ้านไปทางทิศเหนือให้ค่า Energy Use Intensity (EUI) ต่ำที่สุด ส่งผลให้ประหยัดพลังงานได้ดีที่สุด อยู่ที่ 106 kWh/m²/yr ดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่า Energy Use Intensity (EUI)

ทิศทางการติดตั้ง	Energy Use Intensity (kWh/m ² /yr)
ทิศเหนือ	106
ทิศใต้	111
ทิศตะวันออก	112
ทิศตะวันตก	114

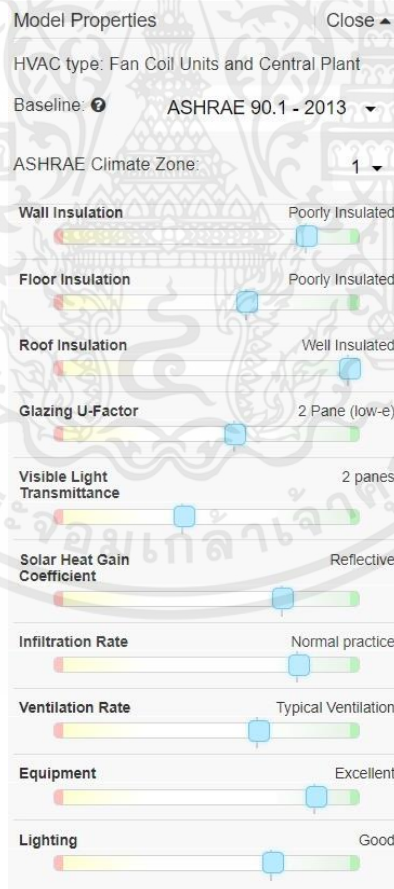
4.1.2 การดำเนินงานหาค่า Daylighting Visualization นอกจากค่า Energy Use Intensity (EUI) ก็ยังได้ทดลองหาค่า Daylighting Visualization ที่เกิดขึ้นเมื่อวางแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ให้หันหน้าไปทางทิศเหนือ

โดยใช้ระบบ HVAC (ระบบปรับอากาศ ; ระบบความร้อน, ระบบความเย็น, การระบายอากาศ) แบบ Fan Coil Units and Central Plant (คอยล์เย็นในระบบปรับความเย็นที่ติดตั้งอยู่ที่ตู้คอนเทนเนอร์) โดยที่ในการวิเคราะห์โปรแกรมได้ใช้มาตรฐาน ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) หรือเรียกอีกอย่างคือ มาตรฐานงานระบบวิศวกรรม HVAC ที่สร้างโดยอเมริกาและถูกใช้เป็นมาตรฐานสากลทั่วโลก ซึ่งในการวิเคราะห์โปรแกรมตามรูปข้างต้นได้ใช้มาตรฐาน ASHRAE 90.1 – 2013 ที่เป็นหนึ่งในหัวข้อหลักในหนังสือ Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings (SI Edition) ที่เป็นมาตรฐาน SI (The International System of Units) หรือ ระบบสมัยใหม่ที่ใช้สำหรับการวัดทางวิทยาศาสตร์ในเชิงเมตริก ซึ่งเป็นระบบหนึ่งที่มีความเป็นมาตรฐานสากล จึงถูกนำมาใช้งานทั่วโลกได้อย่างแพร่หลายในระยะเวลายาวนานตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน กล่าวได้ว่ามาตรฐาน ASHRAE 90.1- 2013 เป็นมาตรฐานการสร้างระบบปรับอากาศ HVAC ที่ถูกใช้อย่างสากลมาตลอด จนถึงปี 2016 ที่ได้มีมาตรฐานใหม่ ASHRAE 90.1 -2016 ขึ้นมา โดยที่ ASHRAE 90.1 – 2013 กล่าวถึงการใช้พลังงานทั่วไปสำหรับอาคารยกเว้น ที่อยู่อาศัยแนวราบ เพราะฉะนั้นจึงเลือกใช้มาตรฐานตัวนี้ เพราะสามารถคิดคำนวณค่าพลังงานในตึกได้ และมี ASHRAE Climate Zone (การแบ่งโซนภูมิอากาศทั่วโลกเป็นกลุ่มๆ) ของจังหวัดกรุงเทพฯ อยู่ในกลุ่ม 1A ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6

Hotel Building

Climate Zone	Type	City	PHR _b
1A	Very hot, humid	Miami, FL	3.04
2A	Hot, humid	Houston, TX	2.17
2B	Hot, dry	Phoenix, AZ	2.76
3A	Warm, humid	Atlanta, GA	1.56
3B-Coast	Warm, marine	Los Angeles, CA	1.50
3B	Warm, dry	Las Vegas, NV	2.03
3C	Warm, marine	San Francisco, CA	1.17
4A	Mild, humid	Baltimore, MD	1.23
4B	Mild, dry	Albuquerque, NM	1.23
4C	Mild, marine	Seattle, WA	0.96
5A	Cold, humid	Chicago, IL	1.00
5B	Cold, dry	Boulder, CO	0.97
6A	Cold, humid	Minneapolis, MN	0.87
6B	Cold, dry	Helena, MT	0.80
7	Very cold	Duluth, MN	0.68
8	Sub-Arctic	Fairbanks, AK	0.51

รูปที่ 4.5 ASHRAE Climate Zone

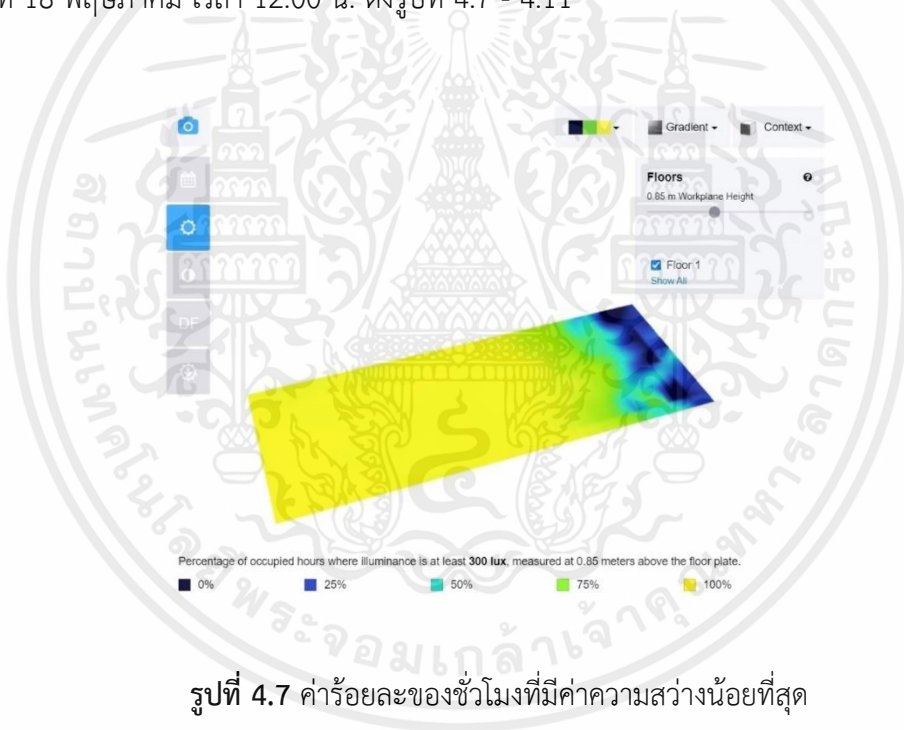


รูปที่ 4.6 ตัวแปรต่างๆหลังจากวิเคราะห์โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นตัวแปรต่างๆที่แสดงออกมาหลังจากการวิเคราะห์โปรแกรม : wall Insulation (ความเป็นฉนวนกันความร้อนที่กำแพง) ค่อนข้างดี, Floor Insulation (ความเป็นฉนวนกันความร้อนที่พื้น) ค่อนข้างดี, Roof Insulation (ความเป็นฉนวนกันความร้อนที่หลังคา) ดีมาก , Glazing U Factor (การเคลือบของ U) ประมาณ 1 ช่องหน้าต่าง นิดๆ , Visible Light Transmittance (การผ่านของแสงที่มองเห็นได้) เกือบ 1 ช่องหน้าต่าง , Solar Heat Gain Coefficient หรือ SHGC (ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก) สะท้อนออกค่อนข้างมาก, Infiltration Rate (อัตราการแทรกซึมของน้ำลงหน้าดิน) ค่อนข้างปกติ , Ventilation Rate (อัตราการถ่ายเทของอากาศ) ค่อนข้างดี , Equipment (การใช้อุปกรณ์) ดีเยี่ยม , Lighting (แสงสว่างในห้อง) ค่อนข้างมาก

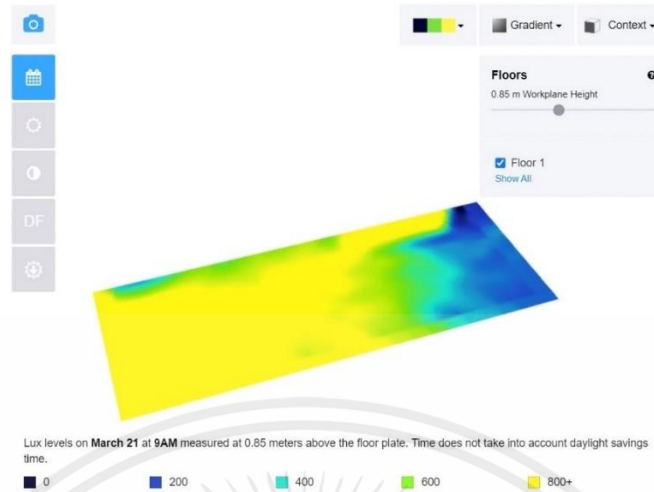
การการสรุปและแสดงข้อมูลค่า Daylighting Visualization ที่เกิดขึ้นออกมาให้อยู่ในรูปของแผนภาพหรือกราฟที่อธิบายเกี่ยวกับข้อมูลของแสง เมื่อกำหนดวันที่และเวลาในโปรแกรม Sefaira เป็นวันที่ 18 พฤษภาคม เวลา 12.00 น. ดังรูปที่ 4.7 - 4.11



รูปที่ 4.7 ค่าร้อยละของชั่วโมงที่มีค่าความสว่างน้อยที่สุด

จากรูปที่ 4.7 ค่าร้อยละของชั่วโมงที่มีค่าความสว่างน้อยที่สุดที่ 300 lux โดยวัดสูงจากพื้น 0.85 เมตร มีการแบ่งค่าความสว่างตามสีเป็น 5 สี คือ สีดำ 0 lux (0%) สีน้ำเงิน 75 lux (25%) สีฟ้า 150 lux (50%) สีเขียว 225 lux (75%) และสีเหลือง 300 lux (100%)

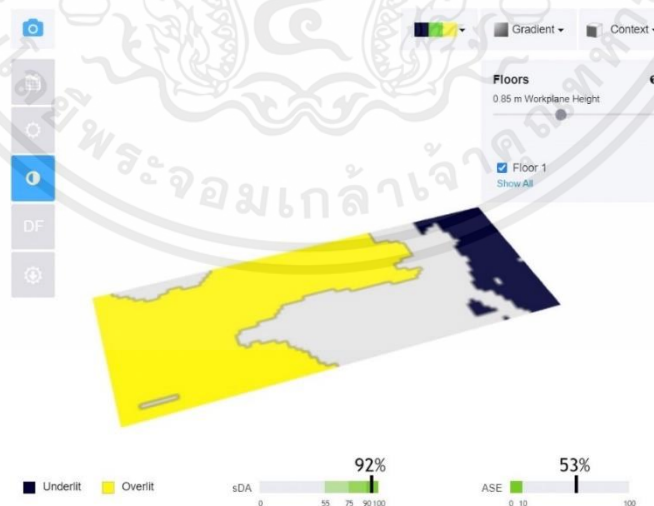
จากผลการวิเคราะห์ พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นสีเหลืองซึ่งเป็นพื้นที่ที่ใช้สำหรับทำงาน และพักผ่อน ต่อมาเป็นส่วนของพื้นที่ห้องน้ำโดยจะพบพื้นที่สีน้ำเงินเป็นส่วนใหญ่และมีสีฟ้ากับสีเขียวใกล้เคียงกัน ส่วนสีดำพบเล็กน้อย



รูปที่ 4.8 ระดับความเข้มแสง

จากรูปที่ 4.8 ระดับความเข้มแสง ณ วันที่ 18 พฤษภาคม เวลา 12.00 น. โดยวัดสูงจากพื้น 0.85 เมตร ซึ่งช่วงเวลาที่นำมาใช้จะไม่นำเวลาในช่วงฤดูร้อนมาวิเคราะห์รวม มีการแบ่งค่าความสว่างตามสีเป็น 5 สี คือ สีดำ 0 lux สีน้ำเงิน 200 lux สีฟ้า 400 lux สีเขียว 600 lux และสีเหลืองมากกว่าหรือเท่ากับ 800 lux ขึ้นไป

จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ส่วนของพื้นที่ที่ใช้สำหรับทำงานและพักผ่อนส่วนใหญ่เป็นสีเหลือง ในส่วนของพื้นที่ห้องน้ำ จะพบฟ้าเป็นส่วนใหญ่ รองลงมาเป็นสีน้ำเงิน ส่วนสีดำพบเล็กน้อย

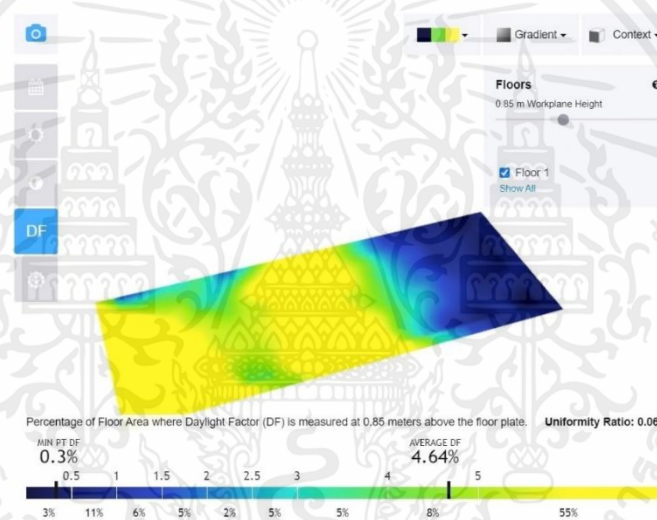


รูปที่ 4.9 พื้นที่อับแสงและพื้นที่ที่สว่างเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9 พื้นที่อับแสง (Underlit) และพื้นที่ที่สว่างเกิน (Overlit) ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่า มีพื้นที่ประมาณ 75% ของส่วนพื้นที่ห้องทำงานและพักผ่อนเป็นพื้นที่ที่สว่างเกิน (Overlit) ส่วนที่เหลือเป็นส่วนที่แสงสว่างปกติ ในส่วนของห้องน้ำจะพบส่วนพื้นที่อับแสง (Underlit) เป็นส่วนมาก แต่พื้นที่ส่วนน้อยเป็นส่วนที่แสงสว่างปกติ

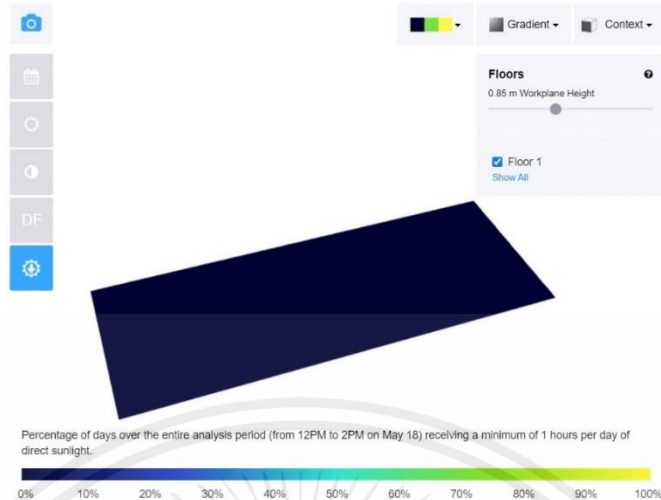
นอกจากนี้จากผลการวิเคราะห์ จะพบว่า ค่า SDA (Spatial Daylight Autonomy) ซึ่งเป็นค่าที่พิจารณาพื้นที่ที่สามารถใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติได้อย่างเพียงพอ โดยพบว่ามีค่า 92% กล่าวคือ มีพื้นที่ที่สามารถใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติได้อย่างเพียงพอ และค่า ASE (Annual Sunlight Exposure) หรือค่าสัดส่วนร้อยละของพื้นที่ใช้งานที่ได้รับแสงธรรมชาติโดยตรงมากเกินไป พบว่า มีพื้นที่ดังกล่าวถึง 53% ในส่วนของห้องทำงานและพักผ่อน



รูปที่ 4.10 ร้อยละของพื้นที่ของพื้นที่โดนแสง

จากรูปที่ 4.10 ร้อยละของพื้นที่ของพื้นที่โดนแสงโดยมีค่า Daylight factor ที่วัดสูงจากพื้น 0.85 เมตรจากพื้นอ้างอิง และค่า Uniformity ratio เท่ากับ 0.06

จากผลการวิเคราะห์ พบว่าค่าเฉลี่ย DF อยู่ที่ 4.64% และค่า Min PT DF ซึ่งอยู่ในส่วนของพื้นที่ห้องน้ำมีค่าอยู่ที่ 0.3%



รูปที่ 4.11 ร้อยละของวันที่มีการคำนวณช่วงเวลา

จากรูปที่ 4.11 ร้อยละของวันที่มีการคำนวณช่วงเวลาตั้งแต่ 12.00 น. ถึง 14.00 น. ของวันที่ 18 พฤษภาคม ซึ่งได้รับแสงแดดโดยตรงเป็นเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมงต่อวันจากผลการวิเคราะห์พบว่า ร้อยละที่ได้มีค่าน้อยกว่า 10%

4.1.3 การดำเนินงานเปรียบเทียบฉนวนกันความร้อน ตัวช่วยที่สำคัญในการลดการใช้พลังงานที่ดี คือ ฉนวนกันความร้อน หากฉนวนกันความร้อนที่เลือกใช้ไม่มีคุณภาพในการกันความร้อนที่ดีพอ จะทำให้ใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น และทำให้เสียค่าใช้จ่ายมากขึ้นเช่นกัน ดังนั้น สิ่งแรกที่ต้องทำคือการศึกษฉนวนกันความร้อนชนิดต่างๆที่มีความหนาที่เท่ากัน โดยค่าที่จะนำมาคำนวณเพื่อใช้ในการวิเคราะห์โปรแกรม Sefaira เพื่อหาค่าการใช้พลังงานในแต่ละฉนวนกันความร้อน คือ ค่า U-Value (W/m^2K) และ ค่า SHGC

วัสดุที่ต้องนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าต่างๆในโปรแกรม Sefaira ได้แก่

1) พิล์มกระจก โดยที่พิจารณาฟิล์ม 3 แบบ และได้ใส่ค่า SHGC ของฟิล์มกระจกแต่ละชนิดที่เลือกมาเป็นตัวเลือกในการทำงาน จะดูที่ค่า U-Value และ SHGC ควบคู่กัน ดังนั้น ฟิล์มที่ดีที่สุดคือ 3M affinity รองลงมาคือ NV15 จากตารางที่ 4.2 ซึ่งฟิล์มทั้ง 2 ชนิด มีความสามารถในการป้องกันแสงและรังสี UV ที่ดีเยี่ยม เหมาะแก่การนำมาใช้งาน แต่เลือก NV15 เพราะมีราคาถูกและหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่าของฟิล์มชนิดต่างๆ

Type of film	U-Value (W/m ² K)	SHGC
3M affinity	1.00	0.18
NV15	0.98	0.29
NV25	1.00	0.45

2) ผนัง โดยที่จะใส่ฉนวนกันความร้อนที่ผนังซึ่งคิดจากค่า U value ฉนวนที่สนใจมี 3 ชนิด คือ Sandwich panel (PIR foam) , EPS foam และ PE MPE foam ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่าของฉนวนกันความร้อนชนิดต่างๆ

Type of walls	U-Value (W/m ² K)
Sandwich panel (PIR foam)	0.55
EPS foam	0.66
PE MPE foam	0.726

3) ผนังจะใช้พื้นไม้เนื้อแข็ง เพราะมีความสวยงามและมีค่า U value น้อย เท่ากับ 1.47 W/m²K

4) การรั่วไหลหรือการนำอากาศภายนอกเข้าสู่อาคารแบบไม่ได้ตั้งใจ โดยทั่วไปจะผ่านรอยแตกในเปลือกอาคารหรือผ่านการใช้ประตูสำหรับทางเดิน โดยในการวิเคราะห์นี้ได้เลือกการ infiltration เป็นแบบ Air changes ซึ่งมีค่า infiltration rate อยู่ที่ 0.2 ACH

5) สีทาหลังคา เลือกทาสี 1 ชั้น เพื่อป้องกันสนิม ช่วยป้องกันน้ำรั่วซึม และป้องกันความร้อน โดยที่มีค่า U value เท่ากับ 1.7 W/m²K และ SHGC เท่ากับ 0.53

6) หลังคาเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนชนิดเดียวกับผนัง โดยที่ค่า U value มีค่าเท่ากับผนัง

ผลการวิเคราะห์ของโปรแกรม Sefaira จากฉนวนกันความร้อน 3 ชนิด และไม่ใส่นวน จะได้ค่าผลการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 4.12

Insulation Type	System Type	AHU Design Airflow	Cooling Equipment Design Capacity	EUI	Annual Energy Cost
No Insulator	Package Terminal AC	2	1.5	137	\$3,933
EPS Foam	Package Terminal AC	2	1.2	119	\$3,417
PIR Foam 12 m ²	HVAC System Type Package Terminal AC (System 1)	2 (L/s)	1.1 kW	114 kWh/m²/yr	\$3,293
PE MPE Foam	Package Terminal AC	2	1.2	121	\$3,489

รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบค่าของฉนวนต่างๆ

จากรูปที่ 4.12 จะเห็นว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์จำลองแบบที่ไม่ใส่นวนกันความร้อนและแบบที่ใส่นวนกันความร้อนทั้ง 3 ชนิดจะมีค่าที่ได้แตกต่างกัน ที่แสดงในโปรแกรมจะมีค่า AHU Design Airflow , Cooling Equipment Design Capacity , EUI และ Annual Energy

โดยจะเห็นว่า ค่า AHU Design Airflow ไม่เกี่ยวกับการทดลองนี้เพราะ ระบบที่ใช้เป็นระบบเครื่องปรับอากาศไม่ได้ใช้ระบบ Fan Coil Unit And Central Plant หรือ ระบบทำความเย็นจากส่วนกลางโดยใช้ Chiling ค่าที่ได้มีค่าเท่ากัน ค่า Cooling Equipment Design Capacity จะเห็นว่าค่าของฉนวน Sandwich panel (PIR foam) มีค่าน้อยที่สุด รองลงมาเป็น EPS foam และ PE MPE foam ตามลำดับ ส่วนแบบที่ไม่ใส่นวนมีค่ามากที่สุด ซึ่งหมายความว่าผนังที่ใช้ฉนวน Sandwich panel (PIR foam) ทำให้เครื่องปรับอากาศใช้พลังงานน้อยที่สุด ดังรูปที่ 4.12 ค่า EUI จะเห็นว่า ผนังที่มีฉนวนกันความร้อน จะประหยัดพลังงานได้มากกว่าผนังที่ไม่มีฉนวนกันความร้อน โดยที่ Sandwich panel (PIR foam) มีค่าน้อยที่สุด รองลงมาจะเป็น EPS foam และ PE MPE foam ตามลำดับ ส่วนแบบที่ไม่ใส่นวนมีค่ามากที่สุด ซึ่งหมายความว่าผนังที่ใช้ฉนวน Sandwich panel (PIR foam) มีการใช้พลังงานน้อยกว่า EPS foam และ PE MPE ส่วนค่า Annual Energy Cost จะเห็นว่า Sandwich panel (PIR foam) จะมีค่าใช้จ่ายพลังงานที่น้อยที่สุด จากการคำนวณของโปรแกรม พบว่า Sandwich panel (PIR foam) จะประหยัดพลังงานน้อยที่สุด

4.2 ผลการทดลองจากแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์จริง

ศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าความร้อน ทดลองวัดค่าเปรียบเทียบประสิทธิภาพของฉนวนกันความร้อน โดยเทียบอุณหภูมิภายนอกและภายในของแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ เปรียบเทียบค่าความร้อนภายในระหว่างผลการจำลองผ่านโปรแกรม Sefaira และผลการทดลองของแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์

4.2.1 การดำเนินงานวัดค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในและภายนอกของแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ที่ไม่ใส่ฉนวนไประหว่างช่องว่างของผนังภายนอก คือ สังกะสีเรียบ และผนังภายใน คือ แผ่นยิปซัม ทดลองโดยการหันแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ไปทิศเหนือในเขตกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย ในวันที่ 28 พฤษภาคม 2566 ดังรูปที่ 4.13 เมื่อใช้เครื่อง midi LOGGER GL840 วัดค่าอุณหภูมิภายใน ช่วงกลางวัน (ระหว่างเวลา 11.00 น. – 13.00น.) ดังรูปที่ 4.14 และใช้เครื่อง midi LOGGER GL840 ค่าความร้อนภายในช่วงกลางคืน (ระหว่างเวลา 20.00 น. – 22.00 น.) ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.13 แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ที่ไม่ใส่ฉนวน



รูปที่ 4.14 ค่าความร้อนภายในแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ที่ไม่ใส่ฉนวนช่วงกลางวัน



รูปที่ 4.15 ค่าความร้อนภายในแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ที่ไม่ใส่ฉนวนช่วงกลางคืน

4.2.2 การดำเนินงานวัดค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในและภายนอกของแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ที่ใส่ Sandwich panel (PIR foam) เป็นฉนวนกันความร้อนโดยใส่ไประหว่างช่องว่างของผนังภายนอก คือ สังกะสีเรียบ และผนังภายใน คือ แผ่นยิปซัม โดยที่ฉนวนมีขนาด 37.5 มิลลิเมตร ทดลองโดยการหันแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ไปทิศเหนือในเขตกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย ในวันที่ 29 พฤษภาคม 2566 เวลา 12.00 น. ดังรูปที่ 4.16 เมื่อใช้เครื่อง midi LOGGER GL840 วัดค่าอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายใน ช่วงกลางวัน (ระหว่างเวลา 11.00 น. – 13.00น.) ดังรูปที่ 4.17 และใช้เครื่อง midi LOGGER GL840 ค่าความร้อนภายในช่วงกลางคืน (ระหว่างเวลา 20.00 น. – 22.00 น.) ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.16 แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ที่ใส่ Sandwich panel (PIR foam) เป็นฉนวน



รูปที่ 4.17 ค่าความร้อนภายในแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ที่ใส่ฉนวน Sandwich panel (PIR foam) ช่วงกลางวัน



รูปที่ 4.18 ค่าความร้อนภายในแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ที่ใส่ฉนวน Sandwich panel (PIR foam) ช่วงกลางวัน

4.2.3 การดำเนินงานวัดค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในและภายนอกของแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ที่ใส่ EPS foam เป็นฉนวนกันความร้อนโดยใส่ไประหว่างช่องว่างของผนังภายนอก คือ สังกะสีเรียบ และผนังภายใน คือ แผ่นยิปซัม โดยที่ฉนวนมีขนาด 40 มิลลิเมตร ทดลองโดยการหันแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ไปทิศเหนือในเขตกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย ในวันที่ 30 พฤษภาคม 2566 เวลา 12.00 น. ดังรูปที่ 4.19 เมื่อใช้เครื่อง midi LOGGER GL840 วัดค่าอุณหภูมิภายใน ช่วงกลางวัน (ระหว่างเวลา 11.00 น. – 13.00น.) ดังรูปที่ 4.20 และใช้เครื่อง midi LOGGER GL840 ค่าความร้อนภายในช่วงกลางวัน (ระหว่างเวลา 20.00 น. – 22.00 น.) ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.19 แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ที่ใส่ EPS foam เป็นฉนวน



รูปที่ 4.20 ค่าความร้อนภายในแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ที่ใส่ฉนวน EPS foam ช่วงกลางวัน



รูปที่ 4.21 ค่าความร้อนภายในแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ที่ใส่ฉนวน EPS foam ช่วงกลางวัน

4.2.4 การดำเนินงานวัดค่าเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในและภายนอกของแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ที่ใส่ PE MPE foam เป็นฉนวนกันความร้อนโดยใส่ไประหว่างช่องว่างของผนังภายนอก คือ สังกะสีเรียบ และผนังภายใน คือ แผ่นยิปซัม โดยที่ฉนวนมีขนาด 10 มิลลิเมตร ทดลองโดยการหันแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ไปทิศเหนือในเขตกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย ในวันที่ 31 พฤษภาคม 2566 เวลา 12.00 น. ดังรูปที่ 4.22 เมื่อใช้เครื่อง midi LOGGER GL840 วัดค่าอุณหภูมิภายใน ช่วงกลางวัน (ระหว่างเวลา 11.00 น. – 13.00น.) ดังรูปที่ 4.23 และใช้เครื่อง midi LOGGER GL840 ค่าความร้อนภายในช่วงกลางคืน (ระหว่างเวลา 20.00 น. – 22.00 น.) ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.22 แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ที่ใส่ PE MPE foam เป็นฉนวน



รูปที่ 4.23 ค่าความร้อนภายในแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ที่ใส่ฉนวน PE MPE foam ช่วงกลางวัน



รูปที่ 4.24 ค่าความร้อนภายในแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ที่ใส่ฉนวน PE MPE foam ช่วงกลางวัน

จากการดำเนินงานทดลองวัดค่าเปรียบเทียบความร้อนภายในและภายนอกแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์แบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงกลางวัน (ระหว่างเวลา 11.00 น. – 13.00 น.) ดังข้อที่ 4.2.1-4.2.4 จะได้ค่าดังตารางที่ 4.4 และช่วงกลางคืน (ระหว่างเวลา 20.00 น. – 22.00 น.) จะได้ค่าดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าความร้อนภายในแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ช่วงกลางวัน

ฉนวน	Temperature (°C)				
	Atmosphere	At 30 mins	At 60 mins	At 90 mins	At 120 mins
No insulation	40.3	35.0	34.8	34.7	34.6
PE MPE	39.2	33.6	33.5	33.4	33.3
EPS	40.6	32.0	31.7	31.5	31.5
Sandwich panel PIR	41.4	31.0	30.7	30.6	30.6

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่าความร้อนภายในแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ช่วงกลางคืน

ฉนวน	Temperature (°C)				
	Atmosphere	At 30 mins	At 60 mins	At 90 mins	At 120 mins
No insulation	28.5	28.4	28.4	28.3	28.3
PE MPE	28.6	28.4	28.3	28.3	28.2
EPS	28.4	28.2	28.1	28.0	27.9
Sandwich panel PIR	28.5	28.3	28.1	28.0	27.9

จากตารางที่ 4.4 - 4.5 จะเห็นว่าอุณหภูมิภายนอกแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์มากกว่าภายในแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในฉนวนกันความร้อน Sandwich panel (PIR- foam) มีค่ามากที่สุด แสดงว่ากันความร้อนได้มากที่สุด รองลงมา คือ EPS foam ถัดมาเป็น MPE-foam และ แบบไม่มีฉนวน ตามลำดับ หลังสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ฉนวน Sandwich panel (PIR- foam) กันความร้อนได้ดีที่สุด เพราะฉนวนนั้นจึงประหยัดที่สุด

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 การทดลองที่ 1

จากการทดลองที่ 1 เพื่อจำลองการประหยัดพลังงานของแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์โดยคอมพิวเตอร์พบว่า ค่าที่ได้จากแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์จำลองแบบที่ไม่ใส่ฉนวนกันความร้อนและแบบที่ใส่ฉนวนกันความร้อนทั้ง 3 ชนิดจะมีค่าที่ได้แตกต่างกัน ที่แสดงในโปรแกรมจะมีค่า AHU Design Airflow , Cooling Equipment Design Capacity , EUI และ Annual Energy

โดยจะเห็นว่า ค่า AHU Design Airflow ไม่เกี่ยวกับการทดลองนี้เพราะ ระบบที่ใช้เป็นระบบเครื่องปรับอากาศไม่ได้ใช้ระบบ Fan Coil Unit And Central Plant หรือ ระบบทำความเย็นจากส่วนกลางโดยใช้ Chilling ค่าที่ได้จึงมีค่าเท่ากัน ค่า Cooling Equipment Design Capacity จะเห็นว่าค่าของฉนวน Sandwich panel (PIR foam) มีค่าน้อยที่สุด รองลงมาเป็น EPS foam และ PE MPE foam ตามลำดับ ส่วนแบบที่ไม่ใส่ฉนวนมีค่ามากที่สุด ซึ่งหมายความว่าผนังที่ใช้ฉนวน Sandwich panel (PIR foam) ทำให้เครื่องปรับอากาศใช้พลังงานน้อยที่สุด ดังรูปที่ 4.12 ค่า EUI จะเห็นว่า ผนังที่มีฉนวนกันความร้อน จะประหยัดพลังงานได้มากกว่าผนังที่ไม่มีฉนวนกันความร้อน โดยที่ Sandwich panel (PIR foam) มีค่าน้อยที่สุด รองลงมาจะเป็น EPS foam และ PE MPE foam ตามลำดับ ส่วนแบบที่ไม่ใส่ฉนวนมีค่ามากที่สุด กล่าวคือผนังที่ใช้ฉนวน Sandwich panel (PIR foam) มีการใช้พลังงานน้อยกว่า EPS foam และ PE MPE ส่วนค่า Annual Energy Cost จะเห็นว่า Sandwich panel (PIR foam) จะมีค่าใช้จ่ายพลังงานที่น้อยที่สุด จากการคำนวณของโปรแกรมจะได้ว่า Sandwich panel (PIR foam) ประหยัดพลังงานน้อยที่สุด

5.2 การทดลองที่ 2

จากการทดลองที่ 2 เป็นการทดลองจริงตามสภาวะที่กำหนดตามโปรแกรม พบว่าอุณหภูมิภายนอกแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์มากกว่าภายในแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในฉนวนกันความร้อน Sandwich panel (PIR-foam) มีค่ามากที่สุด แสดงว่ากันความร้อนได้มากที่สุด รองลงมา คือ EPS foam จากนั้นเป็น MPE-foam และ แบบไม่มีฉนวนตามลำดับ หลังสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ฉนวน Sandwich panel (PIR-foam) กันความร้อนได้ดีที่สุด เพราะฉะนั้นจึงประหยัดที่สุด

5.3 บทสรุปของโครงการงาน

การจัดทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและปรับปรุงตู้คอนเทนเนอร์เดิมให้มีประสิทธิภาพพลังงานสำหรับที่อยู่อาศัยชั่วคราว โดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ EPS foam , Sandwich panel (PIR-foam) และ MPE-foam มาเปรียบเทียบกับความสามารถในการกันความร้อนว่าชนิดใดสามารถกันได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยวัดเทียบอุณหภูมิภายนอกกับภายในแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ พบว่า Sandwich panel (PIR-foam) สามารถกันความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอกแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ได้ดีที่สุด ซึ่งการกันความร้อนที่จะเข้ามาภายในตัวอาคารมีความเกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ หากสามารถกันความร้อนที่เข้ามาภายในตัวอาคารได้มาก เครื่องปรับอากาศจึงไม่ต้องเปลืองพลังงานมากเกินไป

5.4 ปัญหาอุปสรรคและแนวทางแก้ไข

1. ปัญหาการส่งวัสดุที่ส่งล่าช้า เนื่องจากติดวันหยุดงานของทางร้านที่ส่งหรือปัญหาการจราจรติดขัดทำให้มาส่งวัสดุช้า ส่งผลให้การทดลองต้องถูกเลื่อนเวลาออกไป แก้ปัญหาโดยทำงานส่วนอื่นทดแทนเพื่อเป็นการไม่เสียเวลา
2. อุบัติเหตุจากการประกอบตัวโครงแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ แก้ปัญหาโดยจัดหาอุปกรณ์ป้องกันและระมัดระวังมากขึ้น
3. ความไม่พร้อมและขาดแคลนอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้ในการถอดประกอบแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ แก้ปัญหาโดยจัดหาอุปกรณ์หรือเครื่องมือให้พร้อม
4. สภาพอากาศไม่เหมาะสมขณะทำการทดลอง แก้ปัญหาโดยตรวจสอบสภาพอากาศในวันทดลองและวางแผนในการทดลองให้พร้อม

5.5 แนวทางในการพัฒนาต่อ

สำหรับแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์สามารถหาวัสดุที่สามารถช่วยยึดติดแผ่นสังกะสีได้ดีกว่าแบบเดิมที่ใช้อยู่และฉนวนกันความร้อนชนิดอื่นนอกเหนือจาก 3 ชนิดดังกล่าวข้างต้นมาทดลองเพิ่มเติมได้

ในส่วนของตู้คอนเทนเนอร์ที่นำไปใช้งานจริงนอกเหนือจากการติดตั้งระบบไฟฟ้า ระบบประปาและระบบปรับอากาศเพื่อให้สามารถอยู่อาศัยได้แล้ว การติดตั้ง Hybrid solar system สามารถเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ช่วยประหยัดพลังงานได้ กล่าวคือ การนำไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Solar cell มาสำรองที่แบตเตอรี่เพื่อใช้ในตอนที่ไม่มีแสงอาทิตย์ เมื่อถึงกลางคืนระบบไฮบริดจะนำไฟฟ้าจากแบตเตอรี่มาใช้ก่อนเมื่อไม่เพียงพอจึงจะนำไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามาใช้ต่อไป นอกจากนี้ หากมองในเชิงธุรกิจการใช้ตู้คอนเทนเนอร์ที่ถูกปรับปรุงแล้วเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจที่นำมาใช้เป็นที่พักอาศัยได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Thai container group , ตู้คอนเทนเนอร์คืออะไร เลือกใช้ให้ถูก ,
www.thaicontainerhome.com , 2008
- [2] Baania , เลือกบ้านสไตล์ไหนให้แมทช์กับพีเจอร์ทึ่ใช่ , www.baania.com , 2019
- [3] Dr.Weerakaset Suanpaga , แนวทางการสร้างแบบจำลองหรือโมเดล ,
https://pirun.ku.ac.th
- [4] bimspace , รู้จัก SketchUp โปรแกรมยอดฮิตพร้อมลิงก์ดาวน์โหลดโมเดล SketchUp ,
www.bimspace.com , 2022
- [5] VRdigital , ทำความรู้จักกับ Sefaira ซอฟต์แวร์ปลั๊กอินประสิทธิภาพสูงจาก Trimble เพื่อการ
ออกแบบอาคารที่เน้นประสิทธิภาพ , www.vrdigital.co.th , 2022
- [6] Koolteg , ค่า K value และ ค่า R value สำคัญอย่างไร , www.kooltegstore.com , 2018
- [7] Fatek group , 3 ค่าสำคัญ K R U ที่ควรรู้ก่อนซื้อแผ่นฉนวนกันความร้อน , www. fi.co.th ,
2023
- [8] TYK group , หลากหลายเรื่องราวเกี่ยวกับกระจก , www.tykglass.com , 2020
- [9] Wikipedia , Packaged terminal air conditioner , en.wikipedia.org , 2022
- [10] คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน , ระบบปรับอากาศ (Air conditioning system) ,
www.dede.go.th , 2019
- [11] Carlisle , InsulFoam Flat EPS Product , www.carlisesyntec.com
- [12] Sauermann , Thermo-hygrometer , www.sauermanngroup.com
- [13] M-PE , การใช้งาน M-PE รุ่น Alu-Max , www.m-pe.com , 2015
- [14] Technical , PIR Thermal insulation boards , www.plastek.net.au
- [15] Fatek group , PIR คืออะไร มีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน , www.fatek.co.th , 2023
- [16] UD , สังกะสี แผ่นเรียบ วัสดุสารพัดประโยชน์ อีกหนึ่งอย่าง ที่นิยมใช้งานกันมากในปัจจุบัน ,
www.udwassadu.com , 2023



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

บทความทางวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและปรับปรุงตู้คอนเทนเนอร์เดิมให้มีประสิทธิภาพพลังงาน สำหรับที่อยู่อาศัยชั่วคราว

Retrofitted Existing Container Design in Energy Efficiency for Shelter

นายกมลกานต์ สุขยศ, นายธนวัฒน์ พัฒนา, นายนิเวศรอน ทศนชัยสิทธิ์ และนางสาวปภัศสร กุลโรตอง
อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ.ดร. อรรถพล เสง่าพิภพกุล, ผศ. ชัยชาญ โทธิสาร
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
1 ซอย ฉลองกรุง ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3515

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและปรับปรุงตู้คอนเทนเนอร์เดิมให้มีประสิทธิภาพพลังงานสำหรับที่อยู่อาศัยชั่วคราว โดยการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์แล้วนำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองจริง ส่วนของการออกแบบตู้คอนเทนเนอร์ใช้โปรแกรม Sketch Up ออกแบบตู้จำลอง 3 มิติ ให้มีความสมมาตรกับขนาดจริง โดยมีขนาด 1x1x1.5 เมตร ส่วนการวิเคราะห์การประหยัดพลังงานใช้โปรแกรม Sefaira โดยประหยัดได้จากการดูทิศทางของแสงอาทิตย์เพื่อหาที่ตั้งที่เหมาะสม การใช้ฉนวนกันความร้อนและติดฟิล์มกระจกกันความร้อน รวมทั้งจำลองการติดตั้งระบบไฟฟ้าโดยดูจากค่าการใช้พลังงานภายในอาคาร แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์จะมีการติดตั้งวัสดุกันความร้อน 2 ชนิด มาเปรียบเทียบกับความสามารถในการกันความร้อนระหว่าง PU foam และ Sandwich panel (EPS) จากนั้นวัดค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างภายนอกกับภายในตู้ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองจากการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิภายในมีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิภายนอก แสดงว่าวัสดุที่นำมาติดตั้งสามารถกันความร้อนได้จริง

คำสำคัญ : ฉนวนกันความร้อน , โปรแกรม Sefaira

Abstract

This thesis presents the design and improvement of existing containers for energy efficiency for temporary housing. by computer analysis and then compared with the real model As for the design of the container, use the Sketch

Up program to design a 3D model of the container to be symmetrical to the actual size, with dimensions of 1x1x1.5 meters. For energy saving analysis, the Sefaira program is used to calculate energy saving by looking at the direction of the sun to find a place. right set Use of heat insulation and heat resistant glass film Including simulating electrical installations by looking at the energy consumption in the building. The container model will be installed with 2 types of heat insulation materials to compare the heat insulation ability between PU foam and Sandwich panel (EPS), then measure the temperature between outside and inside the container. to be compared with experimental results from computer analysis From the experiment it was found that the internal temperature was less than the external temperature. Shows that the materials used to install can actually prevent heat.

Keyword : Insulation , Sefaira

1. บทนำ

ตู้คอนเทนเนอร์ (Container) ซึ่งใช้สำหรับขนของหรือสินค้าชนิดต่างๆ ปัจจุบันมีการนำตู้คอนเทนเนอร์มาทำเป็น“บ้านตู้คอนเทนเนอร์” โดยจุดเด่นหลักคือ ความแข็งแรงที่เหมาะสมในการนำมาทำเป็น โครงบ้าน รวมทั้งความทนทาน สึกกร่อนยาก รับน้ำหนักและแรงกระแทกได้ดี และข้อดีที่เห็นได้ชัดคือ สามารถนำมาก่อสร้างได้ไว เพราะไม่ต้องผ่านการลงเสาเข็ม ขึ้นโครงเหล็กบ้าน หรือการก่อปูนให้เสียเวลา โดย

ทั้งหมดที่กล่าวมาจะเห็นว่าบ้านผู้คอนเทนเนอร์นั้น ประหยัดต้นทุนอย่างมากเมื่อเทียบกับการสร้างบ้านแบบทั่วไป

การทำบ้านผู้คอนเทนเนอร์ต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย เช่น การเลือกผู้คอนเทนเนอร์ในด้านความแข็งแรงทนทานหรือสภาพของผู้, สารเคมีหรือสิ่งเจือปนภายในผู้, การรับน้ำหนัก และ ความเป็นสนิมภายในและภายนอกผู้ นอกจากนี้ต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อมที่จะสร้างผู้คอนเทนเนอร์ เช่น ความอ่อนตัวของหน้าดิน, พื้นที่ว่างที่จะติดตั้งบ้านผู้คอนเทนเนอร์ แต่บ้านผู้คอนเทนเนอร์นั้นมีปัญหาหลักคือความร้อนที่สะสมภายในตัวบ้านสูง เนื่องจากโครงบ้านผู้คอนเทนเนอร์ทำมาจากผู้คอนเทนเนอร์จริงที่มีส่วนประกอบจำพวกโลหะ ส่งผลให้ความร้อนสะสมภายในบ้านได้ง่ายทำให้อุณหภูมิภายในตัวบ้านร้อน ทางโครงงานจึงคิดค้นวิธีทำให้บ้านผู้คอนเทนเนอร์นี้สะสมความร้อนภายในตัวบ้านน้อยลงเพื่อให้อุณหภูมิภายในบ้านเย็นกว่าเดิม ประหยัดพลังงานมากขึ้นและสามารถลดค่าใช้จ่ายในเรื่องของค่าไฟได้

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผู้คอนเทนเนอร์

2.1.1 นิยามของผู้คอนเทนเนอร์

ผู้คอนเทนเนอร์ (Container) คือ ตู้ขนาดใหญ่ที่ผลิตด้วยเหล็กหรืออลูมิเนียม เพื่อใช้บรรจุสินค้าสำหรับการขนส่งทางเรือที่ต้องใช้ระยะเวลาสั้นอย่างน้อย 15 วัน

2.1.2 บ้านผู้คอนเทนเนอร์

เกิดขึ้นจากลักษณะของผู้คอนเทนเนอร์ที่มีทรงสี่เหลี่ยม คล้ายกับลักษณะบ้าน โดยการนำมาตกแต่งด้วยการทาสี ปลูกด้วยฉนวน หรือต่อเติมส่วนอื่นๆ บ้านผู้คอนเทนเนอร์ เป็นแบบบ้านสมัยใหม่ที่นิยม ในปัจจุบันจะเห็นได้ว่าที่อยู่อาศัยได้มีการเปลี่ยนแปลง และพัฒนาให้ทันสมัยมากขึ้น

2.1.3 แบบจำลองของบ้านผู้คอนเทนเนอร์

คือการจำลองบ้านผู้คอนเทนเนอร์เพื่อง่ายต่อการทดลองและการศึกษา

2.2 ส่วนประกอบของโปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง

2.2.1 SketchUp คือ โปรแกรมสำหรับออกแบบโมเดล 3 มิติ ทั้งสถาปัตยกรรม วิศวกรรม ตกแต่งภายในหรือออกแบบผลิตภัณฑ์

2.2.2 Sefaira คือ ซอฟต์แวร์ปลั๊กอินประสิทธิภาพสูงจาก Trimble มาพร้อม SketchUp Studio ใช้ออกแบบอาคารประสิทธิภาพสูงที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ถูกนำไปใช้ในงานโดยสถาปนิกระดับมืออาชีพมากกว่า 1000 รายทั่วโลก

2.2.3 AutoCad คือ ซอฟต์แวร์ออกแบบโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยพัฒนา ช่วยในการวาดแบบ แก๊ส 2D และ 3D ได้ง่ายและเร็ว

2.3 ฉนวนกันความร้อน

คุณสมบัติ PIR foam

- 1) มีประสิทธิภาพลดซับความชื้น หรือดูดซับน้ำต่ำ
- 2) ช่วยรักษาอุณหภูมิได้ดีที่สุด
- 3) สามารถใช้ได้ทั้งอุณหภูมิ -60 องศาเซลเซียส ถึง 100 องศาเซลเซียส
- 4) ลดการเกิดมลพิษในอากาศ และการล่าช้าวันเนื่องจากขาดออกซิเจน
- 5) เมื่อเกิดการเผาไหม้ฉนวน PIR จะเกิดกลุ่มควันที่น้อยมาก
- 6) มีค่าความเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีที่สุด (นำความร้อนต่ำ)
- 7) มีประสิทธิภาพสูงกว่า ฉนวนกันความร้อน PIR ในท้องตลาดทั่วไป
- 8) มีค่าการเกิดควันในอัตราที่ต่ำ ช่วยลดมลพิษในการขาดออกซิเจน
- 9) มีน้ำหนักเบา เหมาะกับการเคลื่อนย้าย และใช้งานในทุกอุตสาหกรรม

คุณสมบัติ EPS foam

- 1) น้ำหนักเบา แต่สามารถรับน้ำหนักได้
- 2) ค่าการนำความร้อนต่ำ จึงเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี
- 3) ป้องกันการผ่านของเสียงได้
- 4) ป้องกันการผ่านของน้ำได้

5) สามารถนำมาตัดหรือขึ้นรูปต่างๆ ได้
ง่าย

- 6) มีอายุการใช้งานยาวนาน
- 7) มีความยืดหยุ่น กันแรงกระแทกได้ดี

คุณสมบัติ M-PE Alu-Max

- 1) ช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่า 40 %
- 2) ไม่ดูดซึมน้ำช่วยป้องกันการซึมผ่านของน้ำ
- 3) มีค่าต้านทานความร้อน ติดตั้งง่าย
- 4) น้ำหนักเบา ป้องกันการลามไฟได้เยี่ยม
- 5) อายุการใช้งานยาวนาน ไม่เสื่อมสภาพกว่า 10 ปี
- 6) ค่าการแผ่รังสีความร้อนไม่เกิน 0.05
- 7) ป้องกันการลามไฟที่ดีที่สุด

ค่าที่ใช้ในการคำนวณ

- 1) ค่าการนำความร้อน (K value)
- 2) ค่าความต้านทานความร้อน (R value)
- 3) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U value)
- 4) ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อน

จากรังสีอาทิตย์ (SHGC)

อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

- 1) สังกะสี
- 2) ชิปซัม
- 3) KIMO Thermohrgrometer

2.6 ค่าของผลการทดลอง

2.6.1 Package Terminal AC (System1)

เป็นระบบทำความร้อนและปรับอากาศแบบควบคุมในตัวซึ่งพบได้ทั่วไปในโรงแรม โมเต็ล บ้านพักคนชรา โรงพยาบาล คอนโดมิเนียม อาคารอพาร์ทเมนต์ ห้องเสริม และห้องอบแดด หลายห้องได้รับการออกแบบให้ทะลุผนัง มีช่องระบายอากาศและแผงระบายความร้อนทั้งภายในและภายนอก

2.6.2 AHU Design Airflow

เป็นเครื่องจ่ายหรือส่งลมเย็นขนาดใหญ่ใช้ในการปรับและหมุนเวียนอากาศ เป็นส่วนหนึ่งของระบบปรับอากาศ HVAC (Heating Ventilation and Air Conditioning) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ความสะอาดของอากาศ และการกระจายอากาศ

โดยจะเห็นว่า ค่า AHU Design Airflow ไม่เกี่ยวกับการทดลองนี้เพราะ ระบบที่ใช้เป็นระบบเครื่องปรับอากาศไม่ได้ใช้ระบบ Fan Coil Unit And Central Plant หรือ ระบบทำความเย็นจากส่วนกลางโดยใช้ Chilling ค่าที่ได้เลยมีค่าเท่ากัน

2.6.3 Cooling Equipment Design Capacity

ค่าที่บ่งบอกประสิทธิภาพ และการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ

2.6.4 EUI (Energy Utilization Index)

ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (ไฟฟ้า น้ำมัน) ของส่วนราชการ โดยกระทรวงพลังงานเป็นผู้กำหนด

2.6.5 Annual Energy Cost

ราคาของการใช้พลังงานในแต่ละปี

3. การออกแบบและประกอบสร้าง

การออกแบบตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวโดยโปรแกรม SketchUp

เป็นการออกแบบเชิงสถาปัตยกรรมเพื่อใช้ในการจำลองวัดค่าความร้อนที่ไหลผ่านกำแพงของชนิดฉนวนที่ต่างกัน ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายในตู้คอนเทนเนอร์ เปรียบเทียบความสามารถของฉนวนชนิดต่างๆ ในด้านคุณสมบัติการกันความร้อน เปรียบเทียบค่าความร้อนภายใน และการหาทิศทางที่ตั้งในการวางตู้คอนเทนเนอร์โดยผ่านโปรแกรม Sefaira และนำไปสร้างแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์เพื่อการทดลองจริง

การออกแบบแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์โดยโปรแกรม SketchUp

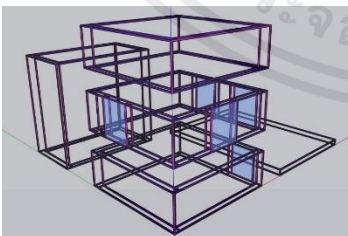
เมื่อทำการออกแบบจำลองเชิงสถาปัตยกรรมตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวเรียบร้อยแล้ว นำแบบที่ได้มาสร้างโครงแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์โดยโปรแกรม SketchUp เช่นเดียวกัน แต่มีขนาดเท่ากับ 1.0x1.5x1.05 เมตร เป็นขนาดที่เล็กลงจากตู้คอนเทนเนอร์ เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปสร้างชิ้นงานแบบจำลองจริง และมีช่องว่างของผนังเพื่อใส่ฉนวนทดสอบเท่ากับ 0.05 เมตร โดยที่ห้องนอนจะแบ่งเป็นชั้นชั้นละ 0.35 เมตร และแบ่งห้องน้ำออกมาเพื่อสะดวกในการขนย้ายและเปลี่ยนฉนวนเพื่อทดสอบหาค่าต่างๆ



รูปที่ 1 ตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 1 (Iso)



รูปที่ 2 คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 2 (Top)



รูปที่ 3 แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวมุมที่ 1 (Iso)

4. การดำเนินงานและประเมินผล

4.1 ผลการจำลองตู้คอนเทนเนอร์โดยคอมพิวเตอร์

เริ่มจากใช้โปรแกรม SketchUp ออกแบบตู้คอนเทนเนอร์ หลังจากนั้นก็ใช้โปรแกรม Sefaira ที่เป็นโปรแกรมสำหรับจำลองการวัดค่าพลังงานและความร้อนผ่านฉนวนชนิดต่างๆ ในการออกแบบตู้คอนเทนเนอร์สำหรับที่พักอาศัยชั่วคราวก่อนจะทดลองจริงเพื่อศึกษาค่าความร้อนที่ไหลผ่านฉนวนในกำแพง พร้อมกับการศึกษาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในตู้คอนเทนเนอร์ รวมถึงเปรียบเทียบความสามารถของฉนวนชนิดต่างๆ ในด้านคุณสมบัติการกันความร้อน และเปรียบเทียบค่าความร้อนภายในตู้คอนเทนเนอร์ในโปรแกรม

4.2 ผลการทดลองจากแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์จริง

พบว่าอุณหภูมิภายนอกแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์มากกว่าภายในแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในฉนวนกันความร้อน EPS foam มีค่ามากที่สุด แสดงว่ากันความร้อนได้มากที่สุด รองลงมา คือ Sandwich panel (PIR-foam) จากนั้นเป็นแบบไม่มีฉนวน และ MPE-foam ตามลำดับ แต่เนื่องด้วยในช่วงทำการทดลอง MPE-foam แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ไม่โดนแสงแดดโดยตรง เนื่องจากเงาของตึกที่บังแสงอาทิตย์ไว้บางส่วน ผลให้เห็นค่าความแตกต่างยากกว่าการทดลองกับฉนวนชนิดก่อนหน้า หลังสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ฉนวน EPS foam กันความร้อนได้ดีที่สุด เพราะฉะนั้นจึงประหยัดที่สุด

5. สรุปผลการทดลอง

การทดลองที่ 1

จากการทดลองที่ 1 เพื่อจำลองการประหยัดพลังงานของแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์โดยคอมพิวเตอร์พบว่า ค่าที่ได้จากแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์จำลองแบบที่ไม่ใส่ฉนวนกันความร้อนและแบบที่ใส่ฉนวนกันความร้อนทั้ง 3 ชนิดจะมีค่าที่ได้แตกต่างกัน ที่แสดงใน โปรแกรมจะมีค่า AHU Design Airflow , Cooling Equipment Design Capacity , EUI และ Annual Energy

โดยจะเห็นว่า ค่า AHU Design Airflow ไม่เกี่ยวกับการทดลองนี้เพราะ ระบบที่ใช้เป็นระบบเครื่องปรับอากาศไม่ได้ใช้ระบบ Fan Coil Unit And Central Plant หรือ ระบบทำความเย็นจากส่วนกลางโดยใช้ Chiling ค่าที่ได้จึงมีค่าเท่ากับ ค่า Cooling Equipment Design Capacity จะเห็นว่าค่าของฉนวน Sandwich panel (PIR foam) มีค่าน้อยที่สุด รองลงมาเป็น EPS foam และ PE MPE foam ตามลำดับ ส่วนแบบที่ไม่ใส่ฉนวนมี

ค่ามากที่สุด ซึ่งหมายความว่าผนังที่ใช้ฉนวน Sandwich panel (PIR foam) ทำให้เครื่องปรับอากาศใช้พลังงานน้อยที่สุด ดังรูปที่ 4.12 ค่า EUI จะเห็นว่า ผนังที่มีฉนวนกันความร้อน จะประหยัดพลังงานได้มากกว่าผนังที่ไม่มีฉนวนกันความร้อน โดยที่ Sandwich panel (PIR foam) มีค่าน้อยที่สุด รองลงมาจะเป็น EPS foam และ PE MPE foam ตามลำดับ ส่วนแบบที่ไม่ใส่ฉนวนมีค่ามากที่สุด กล่าวคือผนังที่ใช้ฉนวน Sandwich panel (PIR foam) มีการใช้พลังงานน้อยกว่า EPS foam และ PE MPE ส่วนค่า Annual Energy Cost จะเห็นว่า Sandwich panel (PIR foam) จะมีค่าใช้จ่ายพลังงานที่น้อยที่สุด จากการคำนวณของโปรแกรมจะได้ว่า Sandwich panel (PIR foam) ประหยัดพลังงานน้อยที่สุด

การทดลองที่ 2

จากการทดลองที่ 2 เป็นการทดลองจริงตามสภาวะที่กำหนดตามโปรแกรม พบว่า อุณหภูมิภายนอกแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์มากกว่าภายในแบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในฉนวนกันความร้อน EPS foam มีค่ามากที่สุด แสดงว่ากันความร้อนได้มากที่สุด รองลงมา คือ Sandwich panel (PIR-foam) จากนั้นเป็นแบบไม่มีฉนวน และ MPE-foam ตามลำดับ แต่เนื่องด้วยในช่วงทำการทดลอง MPE-foam แบบจำลองตู้คอนเทนเนอร์ไม่โคจรแสงแดดโดยตรง เนื่องจากเงาของตึกที่บังแสงอาทิตย์ไว้ อาจส่งผลให้เห็นค่าความแตกต่างยากกว่าการทดลองกับฉนวนชนิดก่อนหน้า หลังสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ฉนวน EPS foam กันความร้อนได้ดีที่สุด เพราะฉะนั้นจึงประหยัดที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์และสนับสนุนเป็นอย่างดีจาก รองศาสตราจารย์ ดร. อรรถพล เก่าพิทักษ์กุล และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัชชาญ โทธิสาร อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ ความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการและได้กรุณาตรวจแก้ไข จนกระทั่งปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณนายฉัฐพล มฤคทัต และ ดร.สุภารัตน์ พุ่มย้อย เจ้าหน้าที่ห้องฝ่ายสนับสนุนวิชาการ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ให้ความอนุเคราะห์ในการยืมอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการดำเนินโครงการ

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานทุกคนที่อำนวยความสะดวกและช่วยเหลือในการทำโครงการครั้งนี้

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดาและครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนด้านการเงินและเป็นที่กำลังใจสำคัญ รวมทั้งเพื่อน พี่ น้อง ร่วมคณะทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือซึ่งกันและกันในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ และหวังว่าปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและผู้ที่สนใจศึกษาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Thai container group , ตู้คอนเทนเนอร์คืออะไร เลือกใช้ให้ถูก , www.thaicontainerhome.com , 2008
- [2] Baania , เลือกบ้านสไตล์ไหนให้เหมาะกับพีเจอาร์ที่ใช้ , www.baania.com , 2019
- [3] Dr.Weerakaset Suanpaga , แนวทางการสร้างแบบจำลองหรือ โมเดล , <https://pirum.ku.ac.th>

ประวัติผู้เขียนบทความ



นายกมลกานต์ สุขยศ

สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายชนวัฒน์ พัฒนา

สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายนิวัตรอน ทันชัยสิทธิ์

สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นางสาวปัทสรา กุลไธสง

สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ภาคผนวก ข

ข้อมูลอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Polyisocyanurate Foam (PIR Foam)

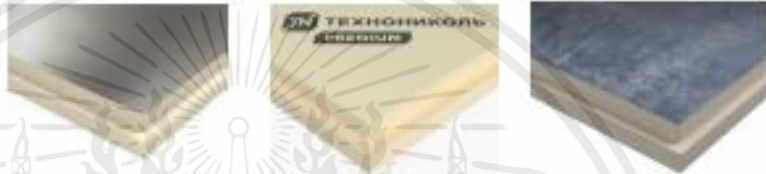


LLC «TECHNONICOL — Construction Systems»
e-mail: info@technicol.eu
www.bn-europe.com, www.technicol.eu



Technical data sheet PIR thermal insulation boards

Proprietary standard:
EN 13165+A1:2016



Product description:

Heat insulation material based on the rigid closed-cell (no less than 95%) polyisocyanurate foam (PIR). The boards are facing with kraft paper, cardboard, glass tissue with mineral coating (GTM), glass tissue with bitumen coating (GTB), aluminum foil (F) or multilayer facing (incl. water-resistant foil with paper foundation) and paper facing with polyethylene. Due to their structure and production features PIR heat insulation boards have low thermal conductivity, low water absorption, high strength, and high fire resistance. PIR thermal insulation boards is a thermal insulation material. Resistant to weather and rot impact, they have extremely long service life (incl. in corrosive environment and under high humidity). When exposed to fire, PIR thermal insulation boards form a graphite protective layer on their surface. It prevents the flame spreading and serves as a reliable protection against further effects of fire.

Application:

PIR thermal insulation boards are used in civil and industrial buildings while installing flat roofing systems with the profiled and concrete foundation, waterproofing rolled materials and other types of waterproofing materials. PIR thermal insulation boards can also be used for floor heating (incl. loaded constructions), facades, plinths, and pitched roofs.

Product technical data:

Essential characteristics		Performance			
		F/F	GTM/GTM	GTM/GTB	
Thermal resistance	Thermal resistance R_0 ($m^2 \cdot K/W$)	d_s 30mm	1.35	1.15	1.15
		d_s 40mm	1.80	1.54	1.54
		d_s 50mm	2.25	1.92	1.92
		d_s 60mm	2.70	2.31	2.31
		d_s 70mm	3.15	2.69	2.69
		d_s 80mm	3.60	3.08	3.08
		d_s 90mm	4.05	3.46	3.46
		d_s 100mm	4.50	3.85	3.85
		d_s 110mm	5.0	4.23	4.23
		d_s 120mm	5.45	4.62	4.62
		d_s 130mm	5.9	5.0	5.0
		d_s 140mm	6.35	5.38	5.38
		d_s 150mm	6.81	5.77	5.77
	Thermal conductivity λ_0 (W/(m.K))	0.022	0.026	0.026	
	Thickness tolerance	T2			
Reaction to fire		Class E	Class E	Class F	

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของ PLASTEK สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่น การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Durability of reaction to fire against heat, weathering, ageing / degradation		Reaction to fire does not change with time	Reaction to fire does not change with time	Reaction to fire does not change with time
Dimensional stability under specified	48 h, 70 °C, 90 % R.H	NPD	NPD	NPD
Temperature and humidity condition				
Deformation under specified compressive load and temperature conditions	40 kPa, 70°C, 168h	NPD	NPD	NPD
Compressive strength	Compressive stress or compressive strength	CS(10/Y)150 ≥ 150	CS(10/Y)150 ≥ 150	CS(10/Y)150 ≥ 150
Tensile / Flexural strength	Tensile strength perpendicular to faces	NPD	NPD	NPD
Durability of compressive strength against ageing / degradation	Compressive creep	NPD	NPD	NPD
Water permeability	Short term water absorption	WS(P)0.1	WL(T) ≤ 1.0	WL(T) ≤ 1.0
	Flatness after one sided wetting	FW2 ≤ 5	FW2 ≤ 10	FW2 ≤ 10
Water vapour permeability	Water vapour transmission	NPD	NPD	NPD
Acoustic absorption index	Sound absorption	NPD	NPD	NPD
Release of dangerous substances to the indoor environment	Release of dangerous substances	No harmonized test method available	No harmonized test method available	No harmonized test method available
Continuous glowing combustion	Continuous glowing combustion	No harmonized test method available	No harmonized test method available	No harmonized test method available

The letters 'NPD' (No Performance Determined) are indicated where no performance is declared.

Transportation and storage:

The boards shall be transported in covered vehicles. PIR insulation boards shall be stored in sheltered warehouses or under shelter protecting them from sun radiation.

Package information:

Shall be packed in UV-stabilized film and delivered in pallets.



sales@plastek.net.au
www.plastek.net.au

Expanded Polystyrene Foam (EPS Foam)

EXPERIENCE THE CARLISLE DIFFERENCE



InsulFoam Flat EPS



Overview

Carlisle's InsulFoam Flat EPS is a rigid insulation board composed of closed-cell, lightweight expanded polystyrene (EPS). This product is available in a wide range of board sizes and densities that meet or exceed the requirements of ASTM C578, Standard Specification for Rigid, Cellular Polystyrene Thermal Insulation. InsulFoam Flat offers a long-term, stable R-value and offers excellent dimensional stability, compressive strength, and water resistance.

Features and Benefits

- ▶ Labor and cost savings: no complicated filler panel systems; can be installed in a single layer for thicknesses up to 40"
- ▶ Environmentally friendly: contains no ozone-depleting blowing agents, may contain recycled material, and is 100% recyclable if removed or replaced
- ▶ Stable R-value: thermal properties will remain stable over the material's entire service life, no thermal drift
- ▶ Moisture and mold resistance: does not readily absorb moisture from the environment, does not sustain mold or mildew growth
- ▶ Proven performance: manufactured using the same chemistry since the mid-1950s
- ▶ Variety of compressive strengths: available in more compressive strengths than comparable insulation products

Panel Characteristics

InsulFoam is available in 4' x 4' (1220 mm x 1220 mm) and 4' x 8' (1220 mm x 2440 mm) standard sizes and thickness from 1/4" to 40". Custom lengths, widths, and densities are available with minimal lead time.

Applications

InsulFoam Flat is well-suited for a variety of single-ply roof systems, including EPDM, TPO, and PVC, and assembly types, including ballasted, mechanically fastened, and fully adhered. Consult Carlisle Specifications and Details for more information.

Installation Considerations

1. Install only as much insulation as can be covered by a roof membrane system, and/or made watertight by the end of each day.
2. InsulFoam Flat should not be exposed directly to solvent- or petroleum-based adhesives and sealants.
3. Allow approximately a 1/4" space between insulation and vertical surfaces or roof projections. Do not force or jam product into place.
4. In re-cover applications, ensure no moisture is trapped in the new or existing roofing system.

Loose-Laid Insulation

Install InsulFoam Flat with continuous side joints and end joints, staggered so they are offset by a minimum of 12" from the end joints in adjacent rows. Insulation should abut tightly against adjacent boards. Joints greater than 1/2" should be filled with the same insulation that is being used in the field of the roof. If insulation is being installed over a thermal barrier or existing layer of insulation, or under a cover board, all joints must be offset a minimum of 6" between layers. When installing InsulFoam Flat directly to a metal deck, the edges of the insulation parallel to the deck ribs must be solidly supported and centered on the ribs.

Additionally, for metal decks, ensure that the insulation has a thickness that is adequate to span the rib openings. When conditions dictate, in order to prevent wind blow-off or damage during installation, loose-laid insulation should be weighed down or tacked into place with a minimal quantity of mechanical fasteners.

Review Carlisle specifications and details for complete installation information.

LEED® Information

Pre-consumer Recycled Content	Up to 25%
Post-consumer Recycled Content	0%
Manufacturing Location	Anchorage, AK Puyallup, WA Dixon, CA Chino, CA Mead, NE Aurora, CO Phoenix, AZ Lakeland, FL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXPERIENCE THE CARLISLE DIFFERENCE



InsulFoam Flat EPS

EPS Weight Guide - Weight per SF in lbs

Product Name	InsulFoam I	InsulFoam VIII	InsulFoam II	InsulFoam IX	InsulFoam XIV	InsulFoam XV
	Type I 10 PSI	Type VIII 15 psi	Type II 20 psi	Type IX 25 psi	Type XIV 40 psi	Type XV 60 psi
Nominal Density (pcf)	1.0	1.25	1.5	2.0	2.5	3.0
Thickness In Inches						
0.25	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06
0.5	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.13
0.75	0.06	0.08	0.09	0.13	0.16	0.19
1	0.08	0.10	0.13	0.17	0.21	0.25
1.25	0.10	0.13	0.16	0.21	0.26	0.31
1.5	0.13	0.16	0.19	0.25	0.31	0.38
1.75	0.15	0.18	0.22	0.29	0.36	0.44
2	0.17	0.21	0.25	0.33	0.42	0.50
2.25	0.19	0.23	0.28	0.38	0.47	0.56
2.5	0.21	0.26	0.31	0.42	0.52	0.63
2.75	0.23	0.29	0.34	0.46	0.57	0.69
3	0.25	0.31	0.38	0.50	0.63	0.75
3.25	0.27	0.34	0.41	0.54	0.68	0.81
3.5	0.29	0.36	0.44	0.58	0.73	0.88
3.75	0.31	0.39	0.47	0.63	0.78	0.94
4	0.33	0.42	0.50	0.67	0.83	1.00
4.25	0.35	0.44	0.53	0.71	0.89	1.06
4.5	0.38	0.47	0.56	0.75	0.94	1.13
4.75	0.40	0.49	0.59	0.79	0.99	1.19
5	0.42	0.52	0.63	0.83	1.04	1.25
5.25	0.44	0.55	0.66	0.88	1.09	1.31
5.5	0.46	0.57	0.69	0.92	1.15	1.38
5.75	0.48	0.60	0.72	0.96	1.20	1.44
6	0.50	0.63	0.75	1.00	1.25	1.50
6.25	0.52	0.65	0.78	1.04	1.30	1.56
6.5	0.54	0.68	0.81	1.08	1.35	1.63
6.75	0.56	0.70	0.84	1.13	1.41	1.69
7	0.58	0.73	0.88	1.17	1.46	1.75
7.25	0.60	0.76	0.91	1.21	1.51	1.81
7.5	0.63	0.78	0.94	1.25	1.56	1.88
7.75	0.65	0.81	0.97	1.29	1.61	1.94
8	0.67	0.83	1.00	1.33	1.67	2.00
8.25	0.69	0.86	1.03	1.38	1.72	2.06
8.5	0.71	0.89	1.06	1.42	1.77	2.13
8.75	0.73	0.91	1.09	1.46	1.82	2.19
9	0.75	0.94	1.13	1.50	1.88	2.25
9.25	0.77	0.96	1.16	1.54	1.93	2.31
9.5	0.79	0.99	1.19	1.58	1.98	2.38
9.75	0.81	1.02	1.22	1.63	2.03	2.44
10	0.83	1.04	1.25	1.67	2.08	2.50

EXPERIENCE THE CARLISLE DIFFERENCE



InsulFoam Flat EPS

Typical Properties and Characteristics							
Property	Type I	Type VIII	Type II	Type IX	Type XIV	Type XV	Test Method
Nominal Density (pcf)	1	1.25	1.5	2	2.5	3	ASTM C303
C-Value (Conductance) - per inch BTU/(hr·ft ² ·°F)	0.260	0.255	0.240	0.230	0.222	0.217	ASTM C518
R-Value (Thermal Resistance) - per inch (hr·ft ² ·°F)/BTU @ 75°F	3.85	3.92	4.17	4.50	4.50	4.60	ASTM C518
Compressive Strength (psi, 10% deformation)	10-14	13-18	15-21	25-33	40	60	ASTM D1621
Flexural Strength (min. psi)	25	30	35	50	60	75	ASTM C203
Dimensional Stability (maximum %)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	ASTM D2126
Water Vapor Permeance (max. perm., 1 inch)	5.0	3.5	3.5	2.0	2.5	2.5	ASTM E96
Water Absorption (max. % vol.)	4.0	3.0	3.0	2.0	2.0	2.0	ASTM C272
Capillarity	None	None	None	None	None	None	-
Flame Spread	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	ASTM E84
Smoke Developed	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300	150-300	ASTM E84

* Properties are based on data provided by resin manufacturers, independent test agencies and Carlisle.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M-PE Alu-Max

Technical Data of M-PE Insulation		
Expanded Polyethylene Foam	Test Result	Standard
โครงสร้างเซลล์ Cell Structure	Closed Cell	
ความหนาแน่น Density	35 - 45 kg/m ³	ISO 845
การนำความร้อน (37C) Thermal Conductivity	0.0029 W/m.k.	ASTM C 177
การดูดซึมน้ำ Water Absorption	0.00029 g/cm ²	JIS K 6767
ความคงสภาพของมิติ (70C / 22 ชม.) Physical Stability	+,- 0.5	TISI 1384-2539
ความคงทนต่อโอโซน (55pphm) Concentrated Ozone Stability	Not Changed	ASTM D 1149
ความคงทนต่อสารเคมี Chemicals Resistance	Not Changed	ASTM D 1149
การเกิดก๊าซพิษ Toxicity	None	Ref. Mat. PE-Foam
ลักษณะการติดไฟ Flammability	HF-2	UL 94
ค่าการต้านทานแรงกด Compression Strength	0.30 - 0.40 kgf/cm ²	ASTM D 642
กำลังต้านทานการดึง Tensile Strength	95%	JIS R 3106
ค่าการต้านทานรังสี U.V. U.V. resistance	Good	
อุณหภูมิใช้งาน Working Temperature	-85C - 85C	
อายุการใช้งาน Working Life	10 years ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน	

Aluminium Foil	Test Result	Standard
ค่าการสะท้อนรังสีความร้อน Reflectivity	95%	JIS R 3106
ค่าการคายความร้อน Emissivity	0.05	
ความหนา Thickness	8 Micron	

Metalized Film	Test Result	Standard
ค่าการสะท้อนรังสีความร้อน Reflectivity	86%	JIS R 3106
ค่าการคายความร้อน Emissivity	0.14	
ความหนา Thickness	37 Micron	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KIMO Thermohygrometer




DATA SHEET

HD 110

Thermo-hygrometer






 Easy to use

 Selection of units

 Hold-min-max functions

 Adjustable backlight

Features

- Relative humidity, dew point and temperature measurements
- Display of minimum and maximum values
- Selection of units (temperature and dew point)
- Configurable auto shut-off
- Hold Function
- Backlight

Technical specifications

Parameters	Measuring units	Accuracy ¹⁾	Measuring range	Resolution
Relative humidity	%RH	Accuracy* (Repeatability, linearity, hysteresis): ±1.8% RH (from 15 °C to 25 °C) Factory calibration uncertainty: ±0.88% RH Drift linked to the temperature: ±0.04 x (T-20) %RH (T < 15 °C or T > 25 °C)	From 5 to 95 %RH	0.1 %RH
Dew point	°C _d , °F _d	±0.8% of reading ±0.6 °C _d	From -40 to +70 °C _d	0.1 °C _d
Ambient temperature	°C, °F	±0.4% of reading ±0.3 °C	From -20 to +70 °C	0.1 °C

¹⁾All the accuracies indicated in this technical datasheet were stated in laboratory conditions, and can be guaranteed for measurements carried out in the same conditions, or carried out with calibration compensation.

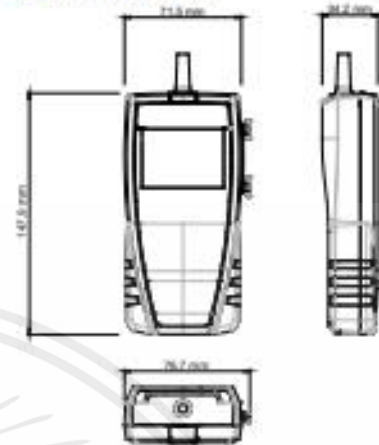
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้วางไปใช้ประโยชน์ด้วยวิธีการ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

General features

Measuring element	Digital sensor (CMOS)
Display	4 lines, LCD technology. Dimensions 50 x 36 mm 2 lines of 5 digits with 7 segments (index) 2 lines of 5 digits with 16 segments (units)
Cable	Coiled, 0.45 m length, expanding to 2.4 m
Housing	ABS, protection IP54
Keypad	5 keys
European directives	2014/30/EU EMC; 2014/35/EU Low Voltage; 2011/65/EU RoHS II; 2012/19/EU WEEE
Power supply	4 batteries AAR LR03 1.5 V
Battery life	150 hours
Ambience	Neutral gas
Conditions of use (°C, %RH, m)	from -10 to +50 °C, in non-condensing conditions, from 0 to 2000 m
Operating temperature (probe)	from -20 to +70 °C
Storage temperature	from -20 to +80 °C
Auto shut-off	Adjustable from 0 to 120 min
Weight	360 g

Dimensions (in mm)



Kit content

- Hygrometry probe Ø 13 mm, 110 mm length
- Calibration certificate
- Transport case (ref.: ST 110)

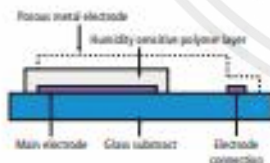
Accessories

Name	Reference
Magnetic protective housing	CQ 15
Telescopic extension 1 m length, with index at ±90°	RTE
ABS transport case	MT S1

Operating principle

Measurement of capacitive hygrometry

On the capacitive probes, a sensitive polymer layer reacts with the humidity present between two metal layers which cover a glass substrate. Water absorption is a function of relative humidity of the surrounding environment, and modifies the dielectric constant. The measured signal is directly proportional to the relative humidity and independent on the ambient pressure.



$$C(RH) = \frac{\epsilon_{rel} \times \epsilon_0 \times K \times d}{d}$$

C = Capacity of relative humidity sensor
 ϵ_{rel} = Relative dielectric permittivity, humidity dependent
 ϵ_0 = Void permittivity

A = Electrodes area
 d = Electrode spacing
 RH = Relative humidity

Semiconductor temperature sensor

The direct tension of a silicon diode is dependent on the temperature, in accordance with the following equation:

$$V_{sc} = V_{sc}(1 - T/T_p) + V_{sc0}(T/T_p) + (nKT/q) \ln(T_p/T) + (KT/q) \ln(I_C/I_q)$$

T = Temperature in Kelvin
 V_{sc} = Voltage of the band gap at the absolute zero
 V_{sc0} = Voltage of the band gap at T_p and K_p

K = Boltzmann constant
 q = charge of an electron
 n = Dependent constant of the instrument

Warranty

Instruments have 1-year guarantee for any manufacturing defect (return to our After-Sales Service required for appraisal).

Maintenance

We carry out calibration, adjustment and maintenance of your instruments to guarantee a constant level of quality of your measurements. As part of Quality Assurance Standards, we recommend you to carry out a yearly checking.

www.sauermann.com



ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายกมลกานต์ สุขยศ
วัน เดือน ปีเกิด 5 กันยายน 2542

ประวัติการศึกษา

- ปีการศึกษา 2560 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนสระบุรีวิทยาคม สระบุรี
- ปีการศึกษา 2565 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ฝึกงานภาคฤดูร้อน โรงงานมักกะสัน การรถไฟแห่งประเทศไทย



ชื่อ-นามสกุล นายธนวัฒน์ พัฒนา
วัน เดือน ปีเกิด 23 มกราคม 2544

ประวัติการศึกษา

- ปีการศึกษา 2561 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนพรหมานุสรณ์ เพชรบุรี
- ปีการศึกษา 2565 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท JEC : โครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายสีส้ม ที่ แยกลำสาลี



ชื่อ-นามสกุล นายนิวตรอน ทศนชัยสิทธิ์
วัน เดือน ปีเกิด 31 พฤษภาคม 2544

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2561 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย เพชรบุรี

ปีการศึกษา 2565 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน โรงงานมักกะสัน การรถไฟแห่งประเทศไทย



ชื่อ-นามสกุล นางสาวปภัสสร กุลโธสง
วัน เดือน ปีเกิด 20 มีนาคม 2543

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2561 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนพุทโธสง บุรีรัมย์

ปีการศึกษา 2565 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน)