ปีการศึกษา 2532

SOLAR COOLING CHIMNEY

โดย

นายชจรศักดิ์ หะสิตะพงษ์
นายสมชัย แซ่ตั้ง
นายลมบัติ โสทรเจนวิทย์
นายอำนวย แซ่ตั้ง

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.อัครเดช สินธุภัค

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2532

เรื่อง SOLAR COOLING CHIMNEY

ผู้จัดทำ

1. นายขจรศักดิ์ หะสิตะพงษ์
2. นายสมชัย แซ่ตั้ง
3. นายสมบัติ โสทรเจนวิทย์
4. นายอำนวย แซ่ตั้ง

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ยศวเศษ ลิ้นธุภัค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

SOLAR COOLING CHIMNEY

ชจรศักดิ์ หะสิตะพงษ์
สมชัย แซ่ตั้ง
สมบัติ โสทรเจนวิทย์
อำนวย แซ่ตั้ง
ผศ. อัศรเดช สินธุภัค อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2532

บทคัดย่อ

Solar Cooling Chimney เป็นอุปกรณ์ที่อาศัยหลักการทำงานของ Passive Solar Cooling เพื่อดึงดูดอากาศเย็นจากภายนอกบ้าน เข้าไหลเวียนภายในบ้าน ซึ่งจะช่วยลดอุณภูมิภายในบ้านลง การศึกษาอุปกรณ์ Solar - Cooling Chimney ในสภาวะอากาศของประเทศไทยในครั้งนี้นอกจากจะได้ทราบถึงผลการทำงานของอุปกรณ์ชนิดนี้แล้ว ยังจะทำให้ทราบถึงรูปแบบที่เหมาะสมของอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SOLAR COOLING CHIMNEY

KAJOHNSAK HASITAPONG
SOMCHAI SAETANG
SOMBAT SOTORNJANEWIT
AMNUAY SAETANG
Assistant Prof. AKKADECH SINTUPAUK ADVISOR
ACADEMIC YEAR 1989

ABSTRACT

Solar Cooling Chimney is a device which uses **Passive Solar Cooling** method to induce cool air from outdoor for circulating in the house. From this method the house temperature can reduce. In Thailand climate the study of this device can make us not only understand the process effect of this device but also know the suiable structure of Solar cooling chimney for using in Thailand.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
1.	บทนำ	1
2.	บทที่ 1 หลักการเบื้องต้นของการถ่ายเทความร้อน	3
3.	บทที่ 2 การศึกษา-วิเคราะห์ทางทฤษฎีของ Solar Cooling Chimney	18
4.	บทที่ 3 การทดลองวัดอุณหภูมิภายในบ้าน และผลการทดลอง	34
5.	บทที่ 4 การคำนวณหาค่าอุณหภูมิภายในบ้าน	41
6.	บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์-วิจารณ์ผลการทดลอง	54
7.	ภาคผนวก	
8.	กิตติกรรมประกาศ	58
9.	บรรณานุกรม	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์ต่าง ๆ

aØ	transmittance constant
a1	transmittance constant.
Cp	specific heat at constant pressure, J/Kg.K
Deg.	equivalent Diameter
g	gravitational acceleration, m/s^2
G	Salar radiation, w/m^2
Gb	beam radiation, w/m^2
Gd	diffuse radiation, w/m^2
GI	actual radiation, w/m^2
Gt	radiation on tilt surface., w/m^2
Gti	radiation on tilt surface at i direction, w/m^2
hi	inside convection heat transfer coefficient, $w/m^2.K$
hw	wind convection heat transfer coefficient, $w/m^2.K$
K	thermal conductivity, w/m.K
k	transmittance constant
L	Length. m
m	mass flow rate, Kg/s
n	day
Nu	Nusselt Number
Pr	Prandtl Number.
p	pressure. , Pa.
Ra	Rayleigh Number
Re	Reynolds Nymber.
Ri	Lumped resistance coefficient at inlet section
Ru	Lumped resistance coefficient at outlet section.
Seq	equivalent surface area , m^2
Si	surface area of surface i, m^2
T	temperature , K.
Ta	ambient temperature, K.
Te	equivalent temperature. K.
Tei	equivalent inside temperature, K.
Tee	equivalent exterior temperature, K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

τ	Atmostheric transmittance.
ω	Hour Angle, deg.

ความหมายของ Subscripts:

a	anibient,
b	beam
d	diffuse
e	equivalent
ee	equivalent, exterior
ei	equivalent, inside.
eq	equivalent
f	film
g	ground.
i	inside, inlet, node, surface direction.
i,j	node i, time j
m	mean,
S	sky
s	solar
sc	solar constant
ti	Solar Rodiation on tilt surface recived by surface i
w	wind

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

การศึกษาเกี่ยวกับ Salar Cooling Chimney

Salar Cooling Chimney นี้ได้มีการศึกษากันมานาน และกว้างขวางพอสมควรในหลาย ๆ ประเทศไม่ว่าจะเป็นประเทศต่าง ๆ ในแถบร้อน อาทิ เช่น อิหร่าน, ซาอุดิอาระเบีย และประเทศอื่น ๆ ในทวีปแอฟริกา ซึ่งประเทศเหล่านี้มีอุหภูมิในตอนกลางวันที่สูงมาก ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับ Solar Cooling Chimney นี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะลดความร้อนภายในบ้านหรือแม้กระทั่งประเทศสหรัฐอเมริกา, ออสเตรเลีย, นิวซีแลนด์ ซึ่งก็มีวัตถุประสงค์เช่นเดียวกันกับประเทศในแถบร้อน ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่า การนำ Solar Cooling Chimney มาใช้ลดอุณหภูมิภายในบ้านนั้นไม่จำเป็นที่จะต้องใช้กับประเทศในแถบร้อนเท่านั้น ดังนั้นการศึกษา Solar Cooling Chimney ในประเทศไทย จึงมีความเหมาะสมและเป็นไปได้มาก เพราะในปัจจุบันนี้ประเทศไทยมีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีที่สูงมาก จากสถิติที่ได้มาในปี พ.ศ. 2530 อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดของประเทศไทยมีค่า 33°C และในปี 2531 มีค่าเท่ากับ 32.7°C ซึ่งทั้ง 2 ปีนั้นในทุก ๆ เดือนมีอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละเดือนประมาณ 30° ซึ่งการศึกษาเกี่ยวกับ Solar Cooling Chimney ในประเทศไทยครั้งนี้เนื่องจากว่าการศึกษาในเบื้องต้นนั้นเราใช้รูปแบบมาจากประเทศออสเตรเลีย จึงอาจถือได้ว่าเป็นขั้นเริ่มต้น เพื่อพัฒนารูปแบบของวัสดุ-อุปกรณ์ต่าง ๆ ของ Solar Cooling Chimney ที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสอดคล้องกับลักษณะภูมิประเทศ, ลักษณะบ้านร้อน-ที่อยู่อาศัย ของชาวไทย ฯลฯ

สำหรับเนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งแยกเนื้อหาในการศึกษาพิจารณาออกเป็นบท ๆ เป็นความสะดวกในการศึกษา โดยเนื้อหาทั้งหมดแบ่งออกเป็น 5 บท ซึ่งในแต่ละบทจะแยกเนื้อหาออกเป็นดังนี้

บทที่ 1 นั้นจะเป็นบทที่ศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน ซึ่งจะแยกหัวข้อออกเป็น การนำความร้อน, การพาความร้อน, การแผ่รังสีความร้อน โดยในแต่ละหัวข้อจะมีการแยกเอาเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา Solar Cooling Chimney มาพิจารณาเท่านั้น

บทที่ 2 จะเป็นการวิเคราะห์หาสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการคำนวณค่าอุรหภูมิภายในบ้าน, มวลของอากาศร้อนที่เคลื่อนที่ผ่าน Chimney ซึ่งใช้ทฤษฎีพื้นฐานจากในบทที่ 2 มาช่วยพิจารณา

บทที่ 3 จะเป็นการทดลองและแสดงผลการทดลองจากบ้านตัวอย่างที่สร้างขึ้น ซึ่งจะอธิบายเกี่ยวกับโครงสร้างของบ้านตัวอย่าง, อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง, การทดลอง รวมทั้งผลการทดลองที่ได้จากบ้านตัวอย่าง ซึ่งมีการทดลองเป็นจำนวน 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 จะเป็นการคำนวณทางทฤษฎีเพื่อหาค่าอุณหภูมิภายในบ้าน เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง

บทที่ 5 ซึ่งเป็นบทสุดท้าย จะเป็นการสรุปผล, วิเคราะห์-วิจารณ์ การทดลองที่ผ่านมา รวมทั้งแสดงข้อคิดเห็นในการนำไปพัฒนารูปแบบ Solar Colling Chimney ขึ้น

นอกจากนั้นในส่วนท้าย ยังประกอบไปด้วย Drawing ของบ้านตัวอย่างและการติดตั้งอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney ภายในบ้าน และตารางคุณสมบัติของโลหะ, วัสดุต่าง ๆ ทางด้านความร้อน ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

หลักการเบื้องต้นของการถ่ายเทความร้อน

1. การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ (Conduction Heat Transfer)

เป็นเทอมที่ใช้กับกลไกของการแลกเปลี่ยนพลังภายในจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่ง หรือจากส่วนหนึ่งของวัตถุไปยังส่วนอื่น ๆ โดยการแลกเปลี่ยนพลังงานจลน์ของการเคลื่อนไหวของโมเลกุลทั้งจากการติดต่อกันโดยตรงของโมเลกุล หรือโดยการลอยตัวของอิเลคตรอนอิสระ (free electron) ในกรณีของการนำความร้อนในโลหะ การไหลของพลังงานนี้ หรือความร้อนนั่นเอง จะเคลื่อนผ่านจากโมเลกุลที่มีพลังงานสูงไปยังโมเลกุลที่มีพลังงานต่ำ เช่น จากแหล่งที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่แหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำ

ลักษณะที่สำคัญของการนำความร้อนก็คือ การนำความร้อนจะเกิดขึ้นภายในขอบเขตของวัตถุ หรือไหลผ่านขอบเขตของวัตถุหนึ่งไปยังวัตถุอื่น ๆ ที่วางสัมผัสกับวัตถุแรก โดยไม่มีการเคลื่อนที่ของมวลสารภายในวัตถุนั้น

ตัวอย่างของการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนอย่างง่าย ๆ ก็คือ แท่งวัตถุที่ถูกเผาให้ร้อนที่ปลายข้างหนึ่ง เมื่อเวลาผ่านไปที่ปลายอีกข้างหนึ่งจะร้อนขึ้น เพราะมีการแลกเปลี่ยนพลังงานภายในวัตถุที่ได้รับความร้อนเคลื่อนผ่านไปยังปลายวัตถุอีกข้างหนึ่ง

สมการพื้นฐานของการนำความร้อน

สมการของฟูเรียร์ กล่าวว่าอัตราการไหลของความร้อนจะเป็นสัดส่วนกับพื้นที่หน้าตัด และค่าอนุพันธ์ของอุณภูมิในทิศทางของการไหลของความร้อน

$$q_x = -kA(dT/dx) \quad \text{(Btu/h หรือ W)}$$

โดยที่ q_x คือ อัตราการไหลของความร้อนในทิศทางบวกของ + x

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัตถุนั้น (Btu/h. ft $^{\circ}$F หรือ W/m $^{\circ}$K)

A คือ พื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนไหลผ่าน (ft^2 หรือ m^2)

T คือ อุณหภูมิ ($^{\circ}$F หรือ $^{\circ}$K

เครื่องหมายลบในสมการด้านขวานั้นจำเป็นต้องมีไว้ เพราะ q_x เป็นการไหลของความร้อนในแนวแกนของ x ดังนั้น T จะต้องลดลงเรื่อย ๆ ในแนวแกนของ x ซึ่งจะทำให้ dt/dx เป็นลบ ถ้าต้องการให้ q_x เป็นบวก จึงจำเป็นต้องมีเครื่องหมายลบนี้ไว้

สัมประสิทธิ์การนำความร้อน K เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการฟุ้งกระจายของความร้อน (Heat Diffusion Equation)

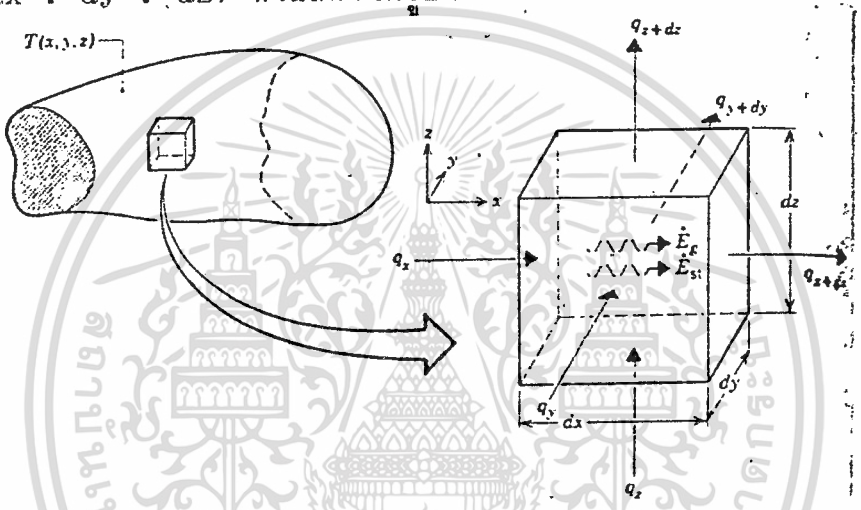
จากสมการของฟูเรียร์

ทิศทาง x $q_x = -kA_x(dT/dx)$ และ $A_x = dydz$

ทิศทาง y $q_y = -kA_y(dT/dx)$ $A_y = dxdz$

ทิศทาง z $q_z = -kA_z(dT/dx)$ $A_z = dxdy$

ถ้าพิจารณาตัวกลางที่เป็นวัตถุเนื้อเดียวกัน ซึ่งเกรเดียนของอุณหภูมิมีจริง และการกระจายของอุณหภูมิ T(x,y,z) อยู่ในเทอมของแกนพิกัดฉาก x,y,z โดยใช้วิธีการประยุกต์กฎการทรงพลังงาน โดยเรากำหนดปริมาตรควบคุมเล็ก ๆ ชิ้นหนึ่ง (dx . dy . dz) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ปริมาตรควบคุมดิฟเฟอเรนเชียล dxdydz สำหรับการวิเคราะห์การนำความร้อน

เมื่อพิจารณาขบวนการพลังงานซึ่งเกี่ยวข้องกับปริมาตรควบคุมนี้ ถ้าให้ว่าความแตกต่างของอุณหภูมิมีจริง การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นข้ามผิวแต่ละผิวของปริมาตรควบคุม อัตราการถ่ายเทความร้อนจะตั้งฉากกับแต่ละผิวควบคุมที่แกนพิกัด x,y และ z ซึ่งแสดงโดย q_x, q_y และ q_z ตามลำดับ ดังนั้นอัตราการนำความร้อนที่ผิวตรงกันข้ามสามารถเขียนในเทอม

$$q_{x+dx} = q_x + (\partial q_x/\partial x)dx$$
$$q_{y+dy} = q_y + (\partial q_y/\partial y)dy \qquad \text{----------(1)}$$
$$q_{z+dz} = qz + (\partial q_z/\partial z)dz$$

ภายในตัวกลางอาจมีแหล่งพลังงานเกี่ยวกับการผลิตพลังงานความร้อน เทอมนี้แทนด้วย

$$\dot{E}g = \dot{q}\ dxdydz \qquad \text{----------(2)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง q เป็นอัตราที่ซึ่งพลังงานถูกผลิตขึ้นต่อหน่วยปริมาตรภายในตัวกลาง (w/m^3)

นอกจากนี้อาจมีการให้ปริมาณของพลังงานความร้อนภายในเกิดขึ้นโดยวัสดุในปริมาตรควบคุม ซึ่งเรียกว่า "การสะสมพลังงาน" ในวัสดุ อยู่ในเทอม

$$\dot{E}st = Cp(\partial T/\partial t)\, dxdydz \qquad \text{----------(3)}$$

ซึ่ง $Cp(\partial T/\partial t)$ เป็นอัตราของเวลาของการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในของตัวกลางต่อหน่วยปริมาตร

นำกฎการทรงพลังงานกับปริมาตรควบคุม ซึ่งกล่าวว่า

อัตราการนำความร้อนเข้าสู่ปริมาตรควบคุม-อัตราการนำความร้อนออกจากปริมาตรควบคุม = อัตราการเพิ่มพลังงานภายในปริมาตรควบคุม

ได้ว่า

$$\dot{E}in + \dot{E}g - \dot{E}out = \dot{E}st \qquad \text{----------(4)}$$

นำค่าต่างๆ มาแทนลงในสมการ (4)

$$(q_x+q_y+q_z)+(\dot{q}\, dxdydz)-(q_{x+dx}+q_{y+dy}+q_{z+dz}) = Cp(\partial T/\partial t)dxdydz \qquad \text{----------(5)}$$

แทนค่าจากสมการ (1)

$$[-(\partial q_x/\partial x)dx]-[(\partial q_y/\partial y)dy]-[(\partial q_z/\partial y)dz]+\dot{q}\, dxdydz = Cp(\partial T/\partial t) \qquad \text{----------(6)}$$

แทนค่า q_x, q_y, q_z ลงไป

$$[\partial/\partial x)(k(\partial T/\partial x))]+[(\partial/\partial y)(k(\partial T/\partial y))]+[(\partial/\partial z)(k(\partial T/\partial z))]+q = Cp(\partial T/\partial t) \qquad \text{----------(7)}$$

สมการ (7) เป็นรูปทั่วไปของสมการฟุ้งกระจายความร้อน

2. การถ่ายเทความร้อนโดยการพา (Convection Heat Transfer)

เป็นเทอมที่ใช้กับกลไกของการถ่ายเทความร้อน ซึ่งเกิดขึ้นในของไหลโดยการผสมกันระหว่างส่วนหนึ่งของของไหลกับส่วนอื่น ๆ ของของไหลอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของมวลของของไหล ขบวนการที่แท้จริงของการถ่ายเทพลังงานจากชิ้น หรือโมเลกุลของของไหลหนึ่งไปยังโมเลกุลอื่น ๆ ยังคงเป็นการถ่ายเท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนโดยการนำ แต่พลังงานอาจเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังจุดอื่น ๆ ได้โดยการเคลื่อนที่ของของไหลเอง

เราสามารถแบ่งประเภทของการพาความร้อนได้ 2 แบบคือ

1) ขบวนการพาความร้อนโดยอาศัยเครื่องมือกล (forced convection) การเคลื่อนที่ของของไหลจะเกิดจากเครื่องมือภายนอก เช่น พัดลม หรือ ปั๊ม

2) ขบวนการพาความร้อนแบบอิสระ หรือ แบบธรรมชาติ (free convection or nature convection) การเคลื่อนที่ของของไหลเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของของไหลอันเนื่องมาจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่มีอยู่ในมวลของของไหล

ขบวนการถ่ายเทความร้อนโดยการพาอาจอธิบายโดยทางคณิตศาสตร์ได้โดยใช้กฎการนำความร้อนเบื้องต้น และกฎการเคลื่อนที่ของของไหลพร้อมกัน

สมการพื้นฐานของการพาความร้อน

อัตราการพาความร้อนคำนวณได้จาก

$$Q = hA(T_\infty - T_s)$$

โดยที่ Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพา (Btu/h หรือ w)

h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Btu/h ft$^{2\circ}$F หรือ w/m$^{2\circ}$K)

T_∞ คือ อุณหภูมิของของไหล ($^\circ$F หรือ $^\circ$K)

Ts คือ อุณหภูมิของพื้นผิวที่สัมผัสกับของไหล ($^\circ$F หรือ $^\circ$K)

จุดสำคัญในการวิเคราะห์การพาความร้อนก็คือ การหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) ดังนั้นในเรื่องการพาความร้อนนี้จะกล่าวถึงการหาค่า h ทั้งสิ้น ซึ่งมีวิธีการแตกต่างกันออกไปแล้วแต่ลักษณะของการไหลของของไหล

การไหลผ่านภายนอกวัตถุ (External Flow)

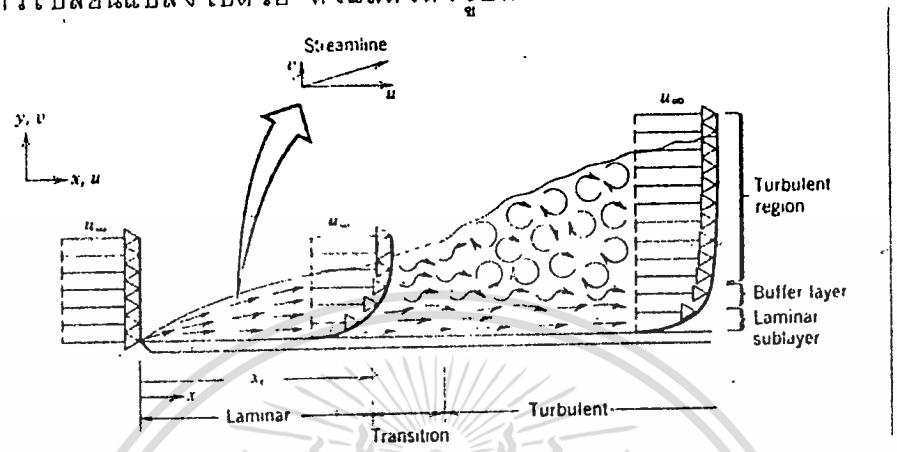
เราจะขอกล่าวถึงการคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่หรือออกจากผิวในการไหลผ่านผิวนอกของวัตถุ โดยจำกัดขอบเขตเฉพาะการไหลความเร็วต่ำ (low-speed) การพาเป็นแบบบังคับโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะเกิดขึ้นในของไหล ไม่มีการระเหยหรือแข็งตัวของของไหล

จุดประสงค์หลักคือ เพื่อหาค่า h สำหรับรูปทรงเรขาคณิตของการไหลที่แตกต่างกัน ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะการไปลผ่านแผ่นเรียบ

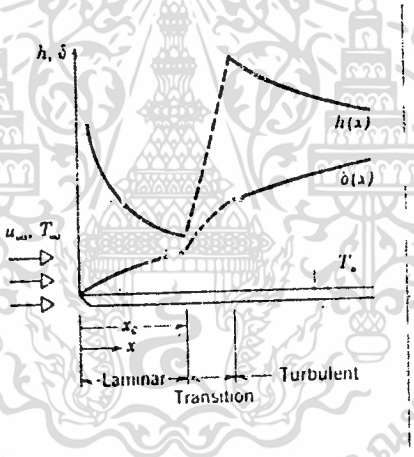
1. การไหลแบบลามินาร์ (Laminar Flow) และเทอร์บูเลนท์ (Turbulent Flow)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการไหลผ่านแผ่นเรียบ ถ้าแผ่นเรียบยาวมากจะเกิดบาวน์ดารีเลเยอร์ขึ้นทั้งลามินาร์ และเทอร์บูเลนท์ โดยจะเกิดลามินาร์บาวน์ดารีเลเยอร์ขึ้นก่อน เมื่อค่า x เพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่ง จากนั้นจะเข้าสู่ช่วงการเปลี่ยนแปลง (Transition) แล้วจึงเข้าสู่ช่วงเทอร์บูเลนท์เมื่อเพิ่มค่า ขึ้นเรื่อย ๆ ดังแสดงดังรูปที่ 2 ส่วนค่า h จะมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 การปรับตัวของบาวน์ดารีเลเยอร์ของความเร็วแผ่นเรียบ



รูปที่ 3 การแปรเปลี่ยนของ δ และ h สำหรับการไหลผ่านแผ่นเรียบ

ในการคำนวณหาพฤติกรรมของบาวน์ดารีเลเยอร์ นั้นเราสมมติว่าช่วง Transition เกิดขึ้นที่ตำแหน่ง x_c ซึ่งตำแหน่งนี้หาได้จากกลุ่มตัวแปรไร้มิติที่เรียกว่า เรโนลด์นัมเบอร์ (Re)

$$Re_x = \frac{\rho u_\infty x}{\mu}$$

ซึ่งค่า x (characteristic length) เป็นระยะทางจากขอบหัว ค่าเรโนลด์นัมเบอร์วิกฤตเป็นค่าของ Re_x ที่เกิด Transition ขึ้น และสำหรับการไหลภายนอกวัตถุจะมีค่าเปลี่ยนแปลงจาก 10^5 ถึง 3×10^6 ขึ้นอยู่กับความหยาบของพื้นผิว ระดับความปั่นป่วน (turbulent) ของกระแสของไหลอิสระและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธรรมชาติของการเปลี่ยนแปลงความดันตามพื้นผิว ตามปกติสมมติว่ามีค่าประมาณ

$$Re_{x/c} = \frac{\rho u_\infty x}{\mu} = 5 \times 10^5$$

2. สมการพาความร้อน

สมการที่จะกล่าวนี้เป็นสมการอย่างง่ายโดยได้ตัดบางเทอมที่มีค่าน้อยออกไป และสมมติว่าระบบอยู่ในสภาวะ steady state เป็นของไหลแบบ incompressible ซึ่งมีคุณสมบัติคงที่ ไม่มี body forces กระทำ และไม่มีแหล่งผลิตความร้อนภายใน

สมการพาความร้อน (แบบ 2 มิติ) ประกอบด้วย 3 สมการ

1) Continuity Equation

$$\partial u/\partial x + \partial v/\partial y = 0$$

2) Momentum Equation

x-direction $u(\partial u/\partial x)+v(\partial u/\partial y) = \nu(\partial^2 u/\partial y^2)$

3) Energy Equation

$$u(\partial T/\partial x)+v(\partial T/\partial y) = \alpha(\partial^2 T/\partial Y^2)$$

3. กลุ่มไม่มีหน่วย (Dimensionaless Groups)

สมการพาความร้อนส่วนใหญ่จะสามารถเขียนได้ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มไม่มีหน่วยต่าง ๆ เช่น

Reynold Number

$$Re_L = \rho uL/\mu$$

Prandtl Number

$$Pr = \nu/\alpha$$

Nusselt Number

$$Nu = hL/kf$$

4. สมการในการคำนวณ

ก. การไหลแบบลามินาร์ Laminar Flow

พารามิเตอร์การพาที่เกี่ยวข้องสำหรับการไหลแบบลามินาร์ได้มาจากทฤษฎี และความแม่นยำของผลลัพท์ได้รับการยืนยันจากผลการทดลอง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. แบบ ณ จุดใด ๆ

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่จุดใด ๆ กำหนดโดยสมการ

$$c_{f,x} = 0.664\ Re_x^{-1/2} \qquad (8)$$

ค่าเรโนลด์นัมเบอร์

$$Re_x = \frac{u_\infty x}{\nu} \quad \text{โดย} \quad 0 < x < x_c$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการพาความร้อนที่พื้นผิวของอุณหภูมิสม่ำเสมอค่า Local Nusselt

$$Nu_x = h_x x/k = 0.332\ Re_x^{1/2}\ Pr^{1/3} \quad (Pr > 0.6) \qquad (9)$$

2. แบบเฉลี่ย

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉลี่ย กำหนดเป็น

$$\bar{C}_{f,x} = 1.328\ Re_x^{-1/2} \qquad (10)$$

Nusselt Number

$$\bar{Nu}_x = \bar{h}_x x/k = 0.664\ Re_x^{1/2}\ Pr^{1/3}, \quad Pr > 0.6 \qquad (11)$$

โดย $\bar{h}_x = 2h_x$

การหาค่าคุณสมบัติทั้งหมดของของไหล จะหาที่อุณหภูมิฟิลม์ (Tf) เท่านั้น

$$Tf = (Ts + T_\infty)/2$$

ข. การไหลแบบเทอร์บูเลนท์ Turbulent Flow

จากการทดลองพบว่าค่า $C_{f,x}$ สำหรับค่า Re ใด ๆ ระหว่าง 5×10^5 และ 10^7 สัมพันธ์กันดีในรูปของสมการ

$$C_{f,x} = 0.0592\ Re^{-1/5} \quad \text{สำหรับ} \quad 5\times10^5 < Re_x < 10^7 \qquad (12)$$

Nusselt Number

$$Nu_x = 0.0296\ Re_x\ Pr^{1/3} \quad \text{สำหรับ} \quad 0.6 < Pr < 60 \qquad (13)$$

ค. เงื่อนไขการไหลแบบลามินาร์ทั่วทั้งแผ่นเรียบ สมการที่ (10) กับ (11) จะถูกใช้คำนวณหา h ได้ นอกจากนี้ถ้าช่วงการเปลี่ยนแปลง Transition เกิดขึ้นในตอนหลังของแผ่นเรียบ เช่นในช่วง $0.95 < x_c/L < 1$ สมการดังกล่าวอาจใช้หาค่า h ได้โดยประมาณ

สำหรับช่วงการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอย่างเต็มที่ด้านหน้าของขอบหลัง คือ $x_c/L < 0.95$ แล้วค่า h จะต้องหาโดยคิดจากเงื่อนไขทั้งในช่วงลามินาร์ และเทอร์บูเลนท์ บาวน์ดารีเลเยอร์

- ในสภาวะการณ์ที่เกิดบาวน์ดารีเลเยอร์แบบผสมนี้ ค่า h หาได้โดยอินทิเกรตทั่วทั้งช่วงที่เป็นลามินาร์ ($0 < x < x_c$) และทั่วทั้งช่วงเทอร์บูเลนท์ ($x_c < x < L$)

สมการนี้อาจเขียนเป็น

$$\bar{h}_L = 1/L \left(\int_0^{x_c} h_{lam}\, dx + \int_{x_c}^{L} h_{tur}\, dx \right)$$

หลังจากการแทนค่า h_{lam} และ h_{tur} อินทิเกรตจัดเทอมใหม่

$$\bar{Nu}_L = (0.037\ Re_L^{4/5} - A)\ Pr^{1/3} \qquad (14)$$

ซึ่ง A เป็นค่าคงที่โดยค่าเรโนลด์ที่จุดวิกฤต $Re_{x,c}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

026835

$$A = 0.037\ Re_{x,c}^{4/5} - 0.664\ Re_{x,c}^{1/2}$$

- ถ้าช่วงของการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นที่ $Re_{xc} = 5x10^5$ สมการที่ 14 จะเป็น

$$\overline{Nu}_L = (0.037\ Re_L^{4/5} - 871)\ Pr^{1/3} \quad (15)$$

สมการที่ 15 นี้จะใช้ได้ต่อเมื่อ $0.6 < Pr < 60$

$$5x10^5 < Re_L < 10^8$$

$$Re_{x,c} = 5x10^5$$

สำหรับสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน จะได้

$$\overline{C}_{f,L} = 0.074/Re_L^{1/5} - 1742/Re_L \quad (16)$$

- ถ้า $5x10^5 < Re_L < 10^8$ และ $Re_{x,c} = 5x10^5$ และมีข้อสังเกตว่าในกรณีที่ $L >> xc$ ($Re_L >> Re_{x,c}$) ซึ่งทำให้ $A << 0.037\ Re_L$ จะได้

$$\overline{Nu}_L = 0.037\ Re_L^{4/5}\ Pr^{1/3} \quad (17)$$

และ

$$\overline{C}_{f,L} = 0.074\ Re_L^{-1/5} \quad (18)$$

การพาความร้อนแบบธรรมชาติ Natural Convection

เป็นการพาความร้อนที่ไม่ต้องมีการบังคับให้ของไหลเคลื่อนที่ กล่าวคือของไหลจะเคลื่อนที่เองโดยแรงลอยตัว (buoyancy forces) อันเนื่องมาจากคุณสมบัติของของไหลที่ว่า ของไหลที่ร้อนจะมีความหนาแน่นต่ำ และจะพยายามลอยตัวขึ้น ในขณะที่ของไหลที่เย็นกว่าและมีความหนาแน่นสูงจะเคลื่อนเข้ามาแทนที่ เช่น ในการต้มน้ำ น้ำที่ก้นกาซึ่งร้อนจะลอยตัวขึ้นและน้ำในช่วงบนของกาที่เย็นกว่าก็จะเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่ ทำให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำภายในกาและเกิดการพาความร้อนแบบธรรมชาติขึ้น

ก่อนที่ของไหลเริ่มเคลื่อนที่ แรงลอยตัวต้องมีค่ามากพอที่จะเอาชนะแรงอันเนื่องจากความหนืด (viscous forces) ของของไหล ดังนั้นในกรณีของการพาความร้อนแบบธรรมชาตินี้ สามารถแสดงให้เห็นได้ว่า กลุ่มไม่มีหน่วยที่สำคัญจะอยู่ในรูปของอัตราส่วนระหว่างแรงลอยตัวกับแรงเนื่องจากความหนืด คือ

$$Gr_L = g\beta (Ts - T\infty) L^3 / \nu^2 \quad (19)$$

Gr_L นี้เรียกว่า Grashof number ในทำนองเดียวกันกับ Reynold Number คือจะเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลกับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน h และเป็นตัวบอกด้วยว่าเป็นการไหลแบบ laminar หรือ turbulent

ในสมการที่ 19 นั้น

g คือ อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

β คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวของของไหล (volumetric themal expansion coefficient) มีหน่วย 1/k

T_s คือ อุณหภูมิของพื้นผิว

T_∞ คือ อุณหภูมิของของไหล

L คือ characteristic length

ν คือ kinematic viscosity

สำหรับการคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อน q ก็เป็นเช่นเดียวกันกับการพาแบบบังคับ คือต้องหาค่า h เสียก่อน ซึ่งโดยมากมักจะอยู่ในรูป Nusselt number (Nu = hL/k) และเป็นฟังก์ชันของ Gr และ Pr แทน

$$Nu = Nu\ (Gr \cdot Pr)$$

สำหรับการพิจารณาว่าเป็นการไหลแบบลามินาร์ หรือ เทอร์บูเลนท์ ใช้ผลคูณของ Gr, Pr นี้มีชื่อเรียกว่า Rayleigh's number (Ra)

$$Ra = Gr, Pr = g\beta (Ts - T_\infty) x^3 \qquad (20)$$

โดยที่ ลามินาร์จะเกิดในช่วง $0 < Ra_L < 10^9$

เทอร์บูเลนท์จะเกิด $Ra_L > 10^9$

สมการการไหลภายนอก External Natural Convection

แผ่นเรียบแนวเอียง Inclined Plate

- สำหรับการไหลแบบลามินาร์ $0 < Ra_L < 10^9$ และค่า g ที่ใช้ในการคำนวณ Ra_L เป็น g cos โดยที่ คือมุมที่แผ่นเอียงจากแนวดิ่ง

$$Nu_L = \frac{0.68 + 0.670\ Ra_L}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}} \qquad (21)$$

- สำหรับการไลแบบเทอร์บูเลนท์

$$Nu_L = \left\{0.825 + \frac{0.387\ Ra_L}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}}\right\}^2 \qquad (22)$$

3. การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อน Radiation Heat Transfer

เป็นเทอมที่ใช้บรรยายถึงการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 0° k จะปล่อยรังสีความร้อนออกมาเสมอ รังสีความร้อนที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้จะปล่อยออกมาทุกทิศทุกทาง และเมื่อตกลงบนวัตถุอื่น รังสีส่วนหนึ่งอาจจะสะท้อนกลับออกไป ส่วนหนึ่งอาจจะผ่านทะลุวัตถุออกไปและอีกส่วนหนึ่งอาจจะถูกดูดเอาไว้ในวัตถุ ถ้ารังสีตกกระทบวัตถุเป็นรังสีความร้อน รังสีส่วนที่ถูกวัตถุดูดเอาไว้นั้นจะกลายเป็นความร้อนภายในวัตถุดูด

ดังนั้น กลไกการแผ่รังสีจึงต่างจาก การนำและการพาความร้อน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ ความร้อนอาจถ่ายเทจากวัตถุหนึ่งไปสู่อีกวัตถุหนึ่งโดยไม่ต้องมีตัวกลางเชื่อมโยงระหว่างวัตถุทั้งสอง

วัตถุแผ่รังสี (radiating bodies) 2 อัน เมื่อนำมาวางห่างกันจะมีการแลกเปลี่ยนพลังงานกันตลอดเวลา และรังสีความร้อนจะถ่ายเทจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่วัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ ในกรณีที่วัตถุทั้งสองมีอุณหภูมิเท่ากันการแลกเปลี่ยนพลังงานก็ยังคงมีอยู่ แต่ผลลัพธ์ (net exchange) ของการแลกเปลี่ยนจะเป็นศูนย์

สมการพื้นฐานการแผ่รังสี

วัตถุใด ๆ ที่มีอุณหภูมิ T องศาสมบูรณ์ ($^{\circ}R$ หรือ $^{\circ}K$) และมีพื้นผิวเป็นพื้นสีดำ (black surface) จะแผ่รังสีความร้อนออกได้ในอัตรา

$$Q = A \sigma T^4 \qquad (23)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการแผ่รังสีความร้อน (Btu/h หรือ w)

A คือ พื้นที่ผิวที่แผ่รังสี (ft^2 หรือ m^2)

σ คือ ค่าคงที่ (stefan - Boltzman Constant)

$= 0.1714 \times 10^{-8}$ Btu/h ft^2 R^4

$= 5.6697 \times 10^{-8}$ W/m^2 K^4

T คือ อุณหภูมิสมบูรณ์ของพื้นผิว $^{\circ}R$ หรือ $^{\circ}K$

Surface Emission : the spectral, directional emissivity; a total, directional emissivity; a spectral, hemispherical emissivity; total, hemispherical emissivity

การส่งออกของพื้นผิว เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของพื้นผิวในการแผ่รังสีออกไป เรียกว่า emissivity ซึ่งกำหนดว่าเป็นอัตราส่วนระหว่างอัตราการแผ่รังสีของวัตถุใด กับอัตราการแผ่รังสีจากวัตถุดำ ต่อหน่วยพื้นที่ ที่อุณหภูมิเดียวกัน -

ค่าการส่งออก (emissivity), ขึ้นอยู่กับทิศทางและความยาวคลื่น ดังนั้นเราจึงคิดค่าเฉลี่ยรวมทั่วทั้งทุกทิศทางและความยาวคลื่น The spectral, directional emissivity, $\varepsilon_{\lambda,\theta}(\lambda, \theta, \phi, T)$ ของผิวที่อุณหภูมิ T เป็นอัตราส่วนของ radiation intensity ของความยาวคลื่น λ ในทิศทาง (θ , ϕ) ต่อ radiation intensity ที่ส่งออกโดยผิวดำ ที่ค่า T และ λ เดียวกัน ดังนั้น

$$\varepsilon_{\lambda,\theta} = \frac{I_{\lambda,e}(\lambda, \theta, \phi, T)}{I_{\lambda,b}(\lambda, T)} \qquad (24)$$

ส่วนค่า total,directional emissivity, ε_e แทนค่าเฉลี่ยตามความยาวคลื่นของ $\varepsilon_{\lambda,\theta}$

$$\varepsilon_e = I_e(\theta, \phi, T) / I_b(T) \qquad (25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการคำนวณทางวิศวกรรมส่วนมากผิวจะใช้แทนด้วยค่าเฉลี่ยของทิศทาง ซึ่งเรียก Spectral, hemispherical emissivity ซึ่งกำหนดเป็น

$$\varepsilon_\lambda = E_\lambda(\lambda, T) / E_{\lambda,b}(\lambda, T) \qquad (26)$$

ส่วน total, hemispherical emissivity, ε นั่นก็คือ รวมค่า ε_λ , ทุก ๆ ความยาวคลื่นเข้าด้วยกัน ก็จะได้

$$\varepsilon = \frac{E(T)}{E_b(T)} = \frac{\int_0^\infty \varepsilon_\lambda(\lambda, T) E_{\lambda,b}(\lambda, T) d\lambda}{E_b(T)} \qquad (27)$$

ค่า ε นี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นผิว เช่น ผิวโลหะขัดมันอาจมีค่า ε ต่ำ ($\varepsilon < 0.2$) แต่ถ้าทาสีทับผิวโลหะนั้นค่า ε อาจเพิ่มขึ้นเป็น 0.8-0.9 ได้ หรือ ถ้าทิ้งผิวโลหะมันไว้จนเกิดสนิมหรือออกไซด์อย่างอื่นเกาะที่ผิวค่า ε จะเพิ่มได้เช่นกัน

Surface Absorption, Reflection and Transmission : Spectral irradiation; total irradiation: semitransparent-medium; opague:

การดูดซึม การสะท้อน และการส่งผ่านรังสีทะลุของพื้นผิว

ในหัวข้อที่ผ่านมา เรากำหนด Spectral irradiation. G_λ เป็นอัตราที่รังสีความยาวคลื่น λ ตกกระทบบนพื้นผิวหนึ่งหน่วยต่อหนึ่งหน่วยความยาวคลื่น $d\lambda$ รอบ λ ซึ่งอาจจะมาจากทิศทางต่าง ๆ และจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ กัน ค่า Total irradiation (G) นั้นจะรวมค่า G_λ ทุก ๆ ความยาว ในหัวข้อนี้เราจะพิจารณาขบวนการอันเป็นผลมาจากการตกกระทบของรังสีนี้โดยตัวกลางที่เป็นของแข็งหรือของเหลว

ปรากฏการณ์ทั่ว ๆ ไปนั้นรังสีจะตกกระทบกับตัวกลางกึ่งโปร่งแสง (Semitransparent media) เช่น ผ่านชั้นของน้ำ หรือ แผ่นแก้ว ตามรูปที่ 4 รูปที่ 4 ขบวนการดูดซึม การสะท้อน และการผ่านทะลุเกี่ยวกับตัวกลางกึ่งโปร่งแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก สมดุลย์ของการแผ่รังสีตัวกลาง จะได้ว่า

$$G_{\lambda} = G_{\lambda,ref} + G_{\lambda,abs} + G_{\lambda,tr} \quad (28)$$

หรือ $$G_{\lambda} = G_{ref} + G_{abs} + G_{tr} \quad (29)$$

และถ้าตัวกลางนี้เป็นตัวกลางทึบแสง (Opague) ต่อการตกกระทบของรังสี จะได้ว่า $G_{\lambda,tr} = \emptyset$ หรือการส่งผ่านทะลุของพื้นผิวเบ็นศูนย์ สมการข้างบนจะลดรูปลงเป็น

$$G_{\lambda} = G_{\lambda,ref} + G_{\lambda,abs} \quad (30)$$

หรือ $$G = G_{ref} + G_{abs} \quad (31)$$

ในรูปข้างบน เมื่อมีรังสี G ตกกระทบพื้นผิวใด ๆ จะเกิดปรากฏการณ์ได้ 3 ชนิดคือ

ก. รังสีบางส่วนจะถูกดูด (absorb) ไว้ ค่าที่แสดงถึงความสามารถของพื้นผิวในการดูดรับรังสีนี้เรียกว่า absorptivity ($\alpha\lambda$)

ข. รังสีบางส่วนจะสะท้อนกลับ (reflect) ค่าที่แสดงความสามารถของพื้นผิวในการสะท้อนรังสีนี้เรียกว่า Reflectivity ($\rho\lambda$)

ค. รังสีบางส่วนจะผ่านทะลุพื้นผิวออกไป (transmit) ค่าที่แสดงถึงความสามารถของพื้นผิวที่ยอมให้ผ่านทะลุเรียกว่า Transmittivity (τ)

ก. Absorptivity: the spectral, directional absorptivity; a spectral, hemispherical absorptivity; the total hemispherical absorptivity

จากหัวข้อ 10.6.2 เรารู้ว่า Absorptivity เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของพื้นผิวในการดูดซึมรังสีความร้อนไว้และยังมีคุณลักษณะที่ขึ้นอยู่กับทิศทาง (directional) และการเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่น (spectral) The spectral, directional absorptivity ถูกกำหนดว่าเป็นสัดส่วนของ the spectral intensity incident ($I_{\lambda,i}$) ในทิศทางของ (θ, ϕ) ซึ่งถูกดูดโดยพื้นผิว ดังนั้น

$$\alpha_{\lambda,\theta}(\lambda, \theta, \phi) = \frac{I_{\lambda,i,ads}(\lambda, \theta, \phi)}{I_{\lambda,i}(\lambda, \theta, \phi)} \quad (32)$$

สำหรับการคำนวณทางวิศวกรรมแล้ว คุณสมบัติของผิวนั้นจะแทนด้วยค่าทิศทางเฉลี่ย เพราะฉะนั้นเรากำหนด spectral, hemispherical absorptivity $\alpha_{\lambda}(\lambda)$ เป็น

$$\alpha_{\lambda}(\lambda) = G_{\lambda,abs}(\lambda)/G_{\lambda}(\lambda) \quad (33)$$

ส่วน Total, hemispherical absorptivity α แทนด้วยการรวมค่าเฉลี่ยทั่วทั้งทุกทิศทางและความยาวคลื่น ซึ่งถูกกำหนดเป็นสัดส่วนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรวมค่าเฉลี่ยทั่วทั้งทุกทิศทางและความยาวคลื่น ซึ่งถูกกำหนดเป็นสัดส่วนของ total irradiation ซึ่งดูดกลืนโดยผิว ดังนั้น

ข. Reflectivity : the spectral directional reflectivity; the spectral, hemisperical reflectivity; total, hemispherical reflectivity;

Reflectivity (ρ) เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของพื้นผิวในการสะท้อนรังสี ซึ่งหาจากสัดส่วนของรังสีตกกระทบซึ่งสะท้อนโดยพื้นผิว เนื่องจากคุณสมบัตินี้เป็น bidirectional นั่นคือขึ้นอยู่กับทิศทางของรังสีตกกระทบ และเช่นเดียวกันก็ขึ้นอยู่กับทิศทางของรังสีสะท้อนซึ่งอาจจะสะท้อนแบบกระจัดกระจาย (diffuse) หรือเป็น specular เราจะหลีกเลี่ยงโดยแทนการสะท้อนทั่วทั้งครึ่งทรงกลม เพื่อจะไม่ต้องสนใจเกี่ยวกับทิศทางของรังสีนี้

The spectral, directional reflectivity, $\rho_{\lambda,\theta}$ (λ, θ, ϕ) ของผิวถูกกำหนดว่าเป็นสัดส่วนของ Spectral Intensity incident, $I_{\lambda,i}$ ในทิศทาง (θ, ϕ) ซึ่งถูกสะท้อนโดยพื้นผิว ดังนั้น

$$\rho_{\lambda,\theta}(\lambda,\theta,\phi) = \frac{I_{\lambda,i,ref}(\lambda,\theta,\phi)}{I_{\lambda,i}(\lambda,\theta,\phi)} \qquad (34)$$

ค่า Spectral hemispherical reflectivity, $\rho_\lambda(\lambda)$ ถูกกำหนดว่าเป็นสัดส่วนของ G ซึ่งสะท้อนโดยพื้นผิว ดังนั้น

$$\rho_\lambda(\lambda) = G_{\lambda,ref}(\lambda)/G(\lambda) \qquad (35)$$

ส่วนค่า total, hemispherical reflectivity, ρ ถูกกำหนดเป็น

$$\rho = G_{ref}/G \qquad (36)$$

ค. Transmissivity : total transmissivity; spectral transmissivity จะเกิดขึ้นเฉพาะตัวกลางหรือวัตถุ Semitransparent เป็นคุณลักษณะอย่างหนึ่งของพื้นผิวที่ยอมให้รังสีผ่านทะลุเรียก transmissivity (τ) โดยใช้ hemispherical transmissivity จะได้ค่า Spectral transmissivity ว่าเป็นสัดส่วนของ G ที่ผ่านทะลุพื้นผิว เพราะฉะนั้น

$$= \frac{G_{\lambda,tr}(\lambda)}{G_\lambda(\lambda)} \qquad (37)$$

และค่า total transmissivity, τ นั้นโดยรวม λ ทุกความยาวคลื่นจะได้

$$\tau = G_{tr}/G \qquad (38)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก α , ρ และ τ ได้ถูกนิยามเป็นเศษส่วนของรังสีกระทบ (G) ดังนั้นอาจเขียนได้ว่า

$$\rho_\lambda + \alpha_\lambda + \tau_\lambda = 1.0 \quad (39)$$

และ $$\rho + \alpha + \tau = 1.0 \quad (40)$$

และพื้นผิวนั้นเป็นผิวทึบ (opague) ซึ่งให้ $\tau = 0$ จะได้

$$-\rho + \alpha = 1.0 \quad (41)$$

ข้อสังเกต อย่าลืมว่าสำหรับวัตถุดำแล้ว $\rho = 0$ เสมอ $\therefore \alpha = 1.0$

นอกจากนี้ ค่า α และ τ ของวัตถุจริงบางชนิด แสดงไว้ในรูป 10.11 และ 10.13

Kirchoff's law ; Gray Surface

กฎของ Kirchoff กล่าวว่า ถ้าวัตถุใด ๆ อยู่ในสภาวะสมดุลย์ทางความร้อนกับสิ่งแวดล้อมที่มีอุณหภูมิคงที่ จะสามารถให้เห็นว่า

$$E_1 (T) = E_2 (T) = \ldots\ldots\ldots E_b (T) \quad (42)$$

หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ

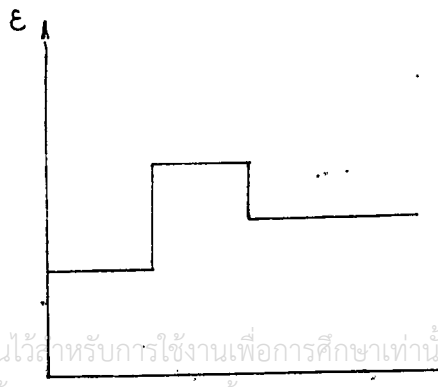
$$\varepsilon_1 / \alpha_1 = \varepsilon_2 / \alpha_2 \quad (43)$$

นั่นคือ ถ้าวัตถุใดอยู่ในสภาพสมดุลย์ทางความร้อนกับสิ่งแวดล้อมที่มีอุณหภูมิคงที่ ค่า emissivity และ absorptivity ของวัตถุนั้นจะมีค่าเท่ากัน รวมทั้ง Spectral emissivity และ Spectral absorptivity ด้วย นั่นคือ $\varepsilon_\lambda = \alpha_\lambda$

Gray Surface

จากหัวข้อที่ผ่านมา รู้ว่า ผิวดำมีค่า $\rho = 0$ และ $\varepsilon = \alpha = 1$ ซึ่งไม่เปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่น พื้นผิวสีเทาก็มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับผิวดำ ซึ่งค่า ρ , ε และ α ไม่เปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่น เพียงแต่ ρ อาจไม่เป็นศูนย์ และ ε , α มีค่าน้อยกว่าหนึ่ง

ถ้าพื้นผิวใด ๆ มีค่า ρ , ε หรือ α ไม่คงที่กับความยาวคลื่น แต่สามารถประมาณว่าเป็นค่าคงที่ในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ ได้ ดังรูปข้างล่าง ก็ยังถือว่าผิวนั้นเป็นผิวสีเทาภายในช่วงความยาวคลื่นช่วงนั้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Enviroment Radiation

การแผ่รังสีของสิ่งแวดล้อม จะประกอบไปด้วยการแผ่รังสีทางตรงและทางอ้อม โดยการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ไปเป็นการแผ่ทางตรง ส่วนบรรยากาศจะแผ่รังสีทางอ้อมอีกทีหนึ่ง

โดยปกติถือว่าดวงอาทิตย์เป็นวัตถุดำที่มีอุณหภูมิผิวประมาณ 5800 K มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.39×10^{9} เมตร และห่างจากผิวโลกเป็นระยะทาง 1.5×10^{11} เมตร

อัตราการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่ตั้งฉากซึ่งอยู่ในอากาศและห่างจากดวงอาทิตย์เป็นระยะทางเท่ากับระยะทางระหว่างดวงอาทิตย์กับโลก มีค่าคงที่เท่ากับ

$$S_c = 1353 \ W/m^2$$

ค่าคงที่นี้เรียกว่า Solar Constant เป็นค่ามากที่สุดที่จะเป็นไปได้สำหรับพื้นผิวใด ๆ ที่อยู่บนโลกแต่ความเป็นจริงแล้ว รังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนผิวโลกย่อมมีค่าต่ำกว่า 1353 W/m^2 เนื่องจากการดูด และการสะท้อนของบรรยากาศ

รังสีแสงอาทิตย์ที่ถูกดูดโดยบรรยากาศ จะถูกแผ่ออกมาอีกในรูปของความยาวคลื่นที่ยาวขึ้น เนื่องจากบรรยากาศมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิพื้นผิวของดวงอาทิตย์มาก รังสีที่บรรยากาศแผ่ออกมานี้เรียกว่า atmosphere radiation ซึ่งหาได้จากสมการ

$$G_{atm} = \sigma T_{sky}^{4}$$

โดยที่ T_{sky} คืออุณหภูมิประสิทธิผลของท้องฟ้า (effective sky temperature) ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของอากาศ ความชื้นในอากาศ ปริมาณเมฆ และอื่น ๆ โดยปกติ T_{sky} มีค่าระหว่าง 230-290 K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การศึกษา-วิเคราะห์ทางทฤษฎีของ Solar Cooling Chimney

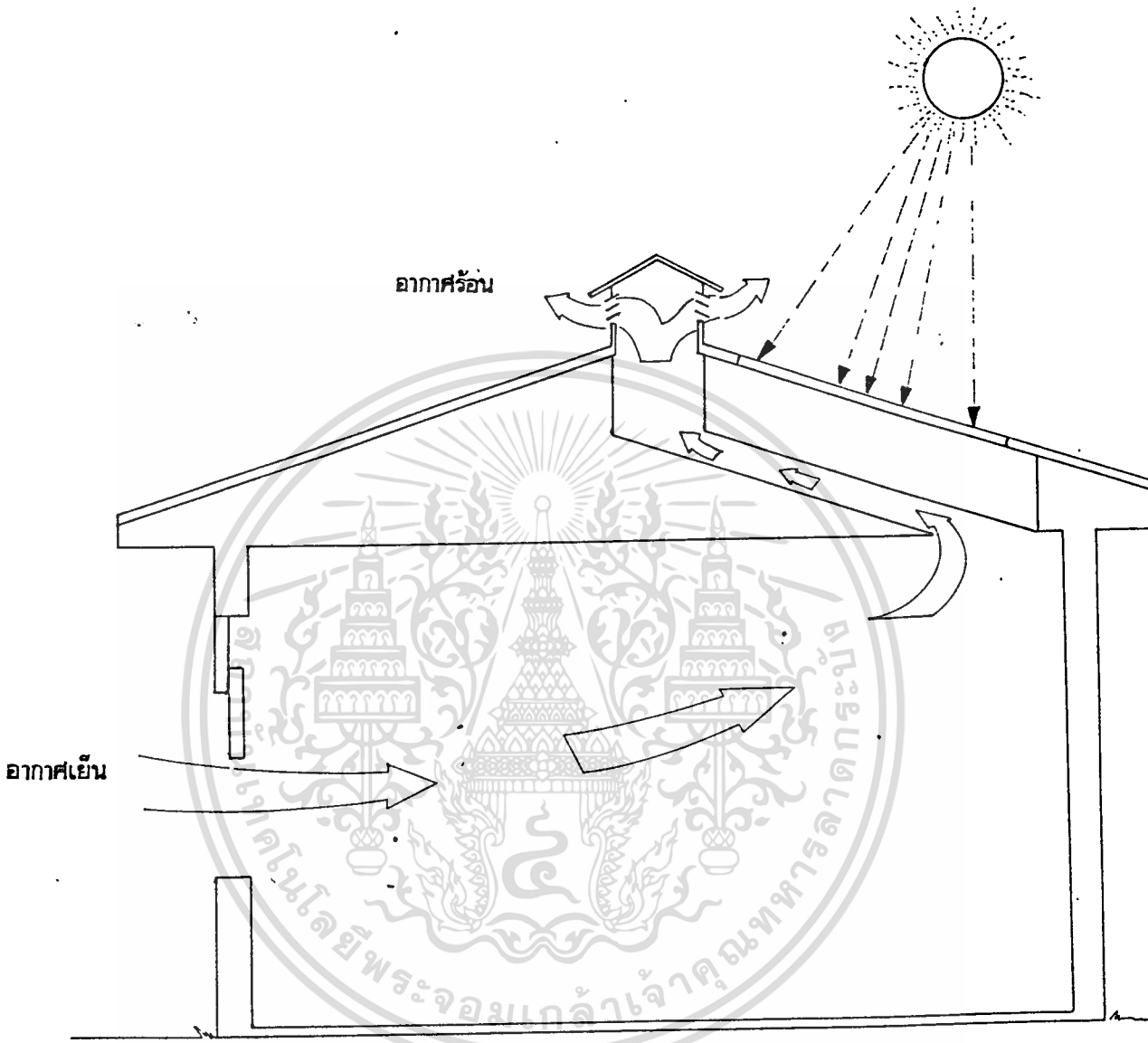
2.1 หลักการทำงานของ Solar Cooling Chimney

Solar Cooling Chimney เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการลดอุณหภูมิภายในบ้าน ซึ่งเหมาะกับบ้านที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่มีสภาพภูมิอากาศร้อน หลักการทั่วไปของ Solar Cooling Chimney นี้อาศัยหลักการเคลื่อนที่ของอากาศจากภายนอกบ้านซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าภายในบ้าน เข้ามาหมุนเวียนภายในบ้าน ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิภายในบ้านมีค่าลดลง โดยการเคลื่อนที่ของอากาศจากภายนอกบ้านเข้ามาภายในบ้านนั้นจะไม่ใช้อุปกรณ์ช่วยเหลือใด ๆ เลยไม่ว่าจะเป็นพัดลมดูด, เครื่องดูดอากาศ ฯลฯ แต่จะใช้หลักการของ Passive Solar Cooling ซึ่งเป็นการดึงดูดอากาศให้มีการเคลื่อนที่ โดยอากาศร้อนที่มีความหนาแน่นต่ำจะลอยตัวขึ้นสูง ซึ่งจะดึงดูดให้อากาศที่เย็นกว่าซึ่งอยู่ ณ บริเวณนั้นเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ โดยในกรณีของ Solar Cooling Chimney นี้อากาศจะถูกทำให้ร้อนโดยอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์ (การทำความเย็นภายในบ้านโดยอาศัยหลักการหมุนเวียนของอากาศภายในบ้านนั้นโดยใช้อุปกรณ์ช่วย เช่น พัดลม, เครื่องดูดอากาศนั้นเราจะเรียกว่าเป็นการทำความเย็นแบบ Active Cooling)

การทำงานของอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney พอจะอธิบายได้ดังนี้

1. อากาศภายในท่ออากาศ (ทำจากสังกะสี) ซึ่งติดตั้งอยู่ใต้หลังคาบ้าน จะถูกทำให้ร้อนโดยการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์
2. อากาศที่ร้อนขึ้นจะมีความหนาแน่นต่ำลง ซึ่งจะทำให้อากาศนั้นลอยตัวสูงขึ้นออกทางปล่องอากาศ ซึ่งอยู่บนตอนบนสุดของหลังคาและขณะเดียวกันอากาศที่อยู่ข้างเคียงก็จะถูกดึงดูดเข้ามาแทนที่
3. อากาศภายในบ้าน จะถูกดึงดูดเข้าไปแทนที่อากาศร้อนภายในท่อลมและอากาศจากภายนอกซึ่งเย็นกว่าจะถูกดึงดูดเข้าไปแทนที่อากาศภายในบ้านอีกทอดหนึ่งเป็นวัฏจักร เช่นนี้ตลอดไป ซึ่งจะทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศจากภายนอกบ้าน เข้าไปหมุนเวียนภายในบ้านก่อนถูกส่งออกมาทางปล่องอากาศบนหลังคา
4. การไหลเวียนของอากาศจากภายนอกบ้าน เข้าไปยังภายในบ้านและเกิดการหมุนเวียนภายในบ้านนั้น ทำให้มีอุณหภูมิลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงการทำงานของ Solar Cooling Chimney

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การวิเคราะห์ทางทฤษฎีของ Solar Cooling Chimney

ในหัวข้อที่จะพิจารณาต่อไปนี้ เราถือได้ว่าเป็นหัวข้อที่สำคัญที่สุดหัวข้อหนึ่งที่จะใช้ในการคำนวณหาค่าอุณหภูมิของภายในบ้านทางทฤษฎีเมื่อมีการนำ Solar Cooling Chimney มาใช้กับบ้าน ซึ่งวัตถุประสงค์หลักก็คือเพื่อที่จะได้นำค่านี้ไปเปรียบเทียบกับค่าจริงที่วัดได้จากภายในบ้านเพื่อหาค่าความแตกต่าง (error) ดังนั้นในการคำนวณต่อไปนี้จะต้องใช้ความละเอียดรอบคอบ และสมมุติฐานที่ดีเพื่อให้ได้ค่าของทฤษฎีที่ถูกต้องที่สุดและเพื่อให้เข้าใจหลักการคำนวณทุกขั้นตอนอย่างละเอียด ดังนั้นเราจะทำการพิจารณาจากลมการที่ติดอยู่ในรูปของตัวแปรเสียก่อนแล้วจึงนำค่าที่สำคัญต่าง ๆ มาแทนเพื่อใช้หาค่าอุณหภูมิภายในบ้านทางทฤษฎีต่อไป(การหาค่าอุณหภูมิภายในบ้านโดยใช้ค่าจากการทดลองได้แสดงไว้ในบทที่4)

ก. การวิเคราะห์ทางความร้อนของระบบ (THERMAL SYSTEM ANALYSIS)

การวิเคราะห์ในหัวข้อนี้ก็เพื่อจะหาสมการทางคณิตศาสตร์ของการถ่ายเทความร้อนของตัวบ้าน ซึ่งเราจะแยกวิเคราะห์เป็น 2 ส่วนคือ

1) ที่บริเวณผนัง
2) ภายในบ้าน

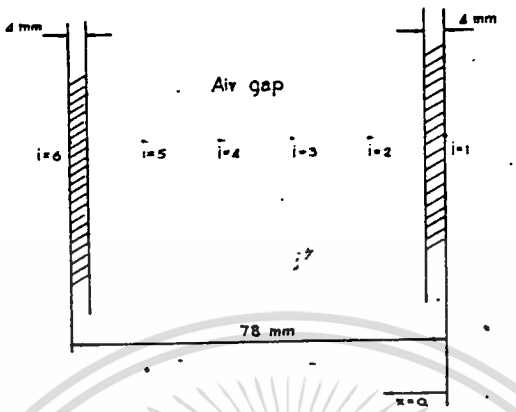
และเพื่อลดความยุ่งยากในการคำนวณลง จึงขอกำหนดสมมุติฐานในการคำนวณขึ้นดังนี้

1. การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นในทิศทางเดียว ซึ่งตั้งฉากกับพื้นผิว
2. การถ่ายเทความร้อนที่บริเวณที่พิจารณาถือว่าอยู่ในสภาวะที่ไม่คงที่ (Transient State)
3. คุณสมบัติทางความร้อนต่าง ๆ ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ และหาจากอุณหภูมิเฉลี่ยที่พิจารณา
4. ทุกพื้นผิวถือเป็น gray surface และ perfect diffuse
5. ถือว่าอากาศเป็นตัวกลางโปร่งแสง
6. ไม่คิดค่าการรั่วซึมของอากาศเข้า - ออก ภายในบ้าน
7. การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างผนัง, เพดานและพื้นดิน เพื่อความสะดวก จะคิดรวมกันโดยใช้ equivalent temperature และ equivalent Saurface และการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดโดยใช้ผนังทางด้านทิศใต้ (ทิศที่มีแสงอาทิตย์ส่องโดน) เป็นหลัก
8. ถือว่าอากาศภายในช่องว่างของผนัง หยุดนิ่ง
9. ในสภาวะทั่วไป ถือว่าไม่มีอากาศจากภายนอกไหลเข้าสู่ภายในบ้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1) พิจารณาสมการการถ่ายเทความร้อนที่ผนัง

จากรูป 2.2 จะเห็นว่าเมื่อพิจารณาสมการการถ่ายเทความร้อนที่ผนัง เราจะได้



รูปที่ 2.2

$$\frac{\partial Te}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 Te}{\partial x^2} \qquad (2.1)$$

$$-K\frac{\partial Te}{\partial x}_{x=0} = \alpha_s Gts - h_w(Tee - Ta) + 0.5\,\delta\alpha_s(T_s^4 + T_g^4 - 2Tee^4) \qquad (2.2)$$

$$-K\frac{\partial Te}{\partial x}_{x=e} = h_i(Tei - Ti) \qquad (2.3)$$

จากระบบสมการที่กำหนดให้ จะเห็นว่าตัวแปรสำคัญที่จะต้องพิจารณาเป็นอย่างมากคือ G_{tg} , h_w , h_i ซึ่งเราจะแยกพิจารณาการหาค่าเหล่านี้ได้ดังนี้

ก.1.1) การหาค่า G_t (ค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนพื้นผิวตั้งฉากในทิศทางใด)

ในการคำนวณหาค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนพื้นผิวตั้งฉากในทิศใด ๆ นั้นเพื่อความสะดวกขึ้น เราจะมาทำความเข้าใจกับตัวแปรต่าง ๆ ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ กับ ระนาบพื้นผิวที่รับรังสีที่ตกกระทบ

ϕ ละติจูด (Latitude) เป็นมุมที่แสดงถึงตำแหน่งที่พิจารณาว่าอยู่เหนือ หรือใต้ของเส้นศูนย์สูตรซึ่งถ้าอยู่ทางเหนือจะมีค่าเป็นบวก (+)

$-90° < \phi < 90°$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

δ มุมลาดเอียง (Declination) , เป็นค่ามุมที่แสดงถึงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่เวลาเที่ยงวัน เมื่อเทียบกับระนาบของเส้นศูนย์สูตร. ถ้าอยู่ทางเหนือเป็นค่า +

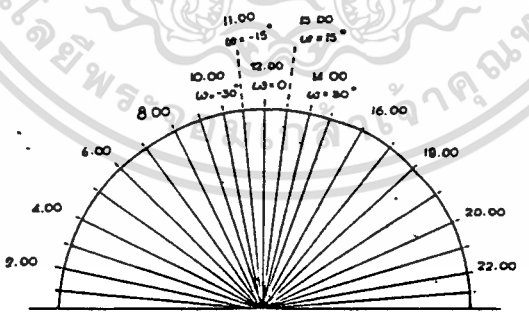
$-23.45^\circ < \delta < 23.45^\circ$

β มุมชัน (Slope) , เป็นค่ามุมเอียงระหว่างระนาบพื้นผิวกับ แนวราบ $0 < \beta < 180^\circ$ (ค่า $\beta > 90^\circ$ หมายความว่าระนาบพื้นผิวมีการคว่ำหน้าลง)

γ มุมอะซิมุทของพื้นผิว (Surface azimuth angel) , แสดงถึงค่ามุมเบี่ยงเบนของโปรเจคชั่นบนระนาบในแนวระดับของเส้นตั้งฉากกับพื้นผิว กับทิศทางต่างๆ ของท้องถิ่นนั้น

ω Hour angle , แสดงถึงการเคลื่อนที่เชิงมุมของดวงอาทิตย์ เทียบกับแกนการหมุนของโลก ซึ่งมีค่า 15° ต่อชั่วโมง (มีค่าเป็น + ในตอนเช้า , - ในตอนบ่าย)

θ Angle of incidence , เป็นมุมระหว่างการแผ่รังสีโดยตรงบนพื้นผิว กับเส้นตั้งฉากของพื้นผิว



รูปที่ 2.3 แสดงค่า ω ที่เวลา 10.00-14.00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปค่ามุม δ สามารถคำนวณจากสมการของ Cooper (1969)

$$\delta = 23.45 \sin\left[360 \times \left[\frac{284 + n}{365}\right]\right] \quad (2.4)$$

โดยที่ n เป็นค่าของวันในปีนั้น ๆ

และสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุม θ และมุมอื่น ๆ คือ

$$\begin{aligned}\cos\theta = {} & \sin\delta \sin\phi \cos\beta - \sin\delta \cos\phi \sin\beta \cos\gamma \\ & + \cos\delta \cos\phi \cos\beta \cos\omega \\ & + \cos\delta \sin\phi \sin\beta \cos\gamma \cos\omega \\ & + \cos\delta \sin\beta \sin\gamma \sin\omega \end{aligned} \quad (2.5)$$

ในการหาค่ารังสีที่ตกกระทบลงบนพื้นผิวตั้งฉาก ในทิศทางใด ๆ (G_t) นั้นจะหาได้จากสมการ

$$Gt = GbRb + Gd\left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + (Gb + Gd)\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right)\rho \quad (2.6)$$

1. Gt : คือ ค่าความเข้มของรังสีความร้อนรวมจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนระนาบเอียง
2. Gb : คือ ความเข้มของรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนพื้นผิวโดยตรง
3. Gd : คือ ความเข้มของรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ซึ่งถูกทำให้กระจัดกระจายโดยบรรยากาศที่ตกกระทบลงบนพื้นผิว
4. Gl : คือ ความเข้มของรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนพื้นผิวในแนวระนาบเป็นค่าที่วัดได้จริง
5. ρ : คือ ค่าสะท้อนรังสีจากพื้นดิน โดยทั่วไปให้มีค่าเท่ากับ ๐.๕
6. Rb : เป็น ค่าอัตราส่วนระหว่างความเข้มของรังสีความร้อนที่ตกกระทบลงบนระนาบเอียง ต่อ ความเข้มของรังสีความร้อนที่ตกกระทบลงบนพื้นผิวแนวระนาบ

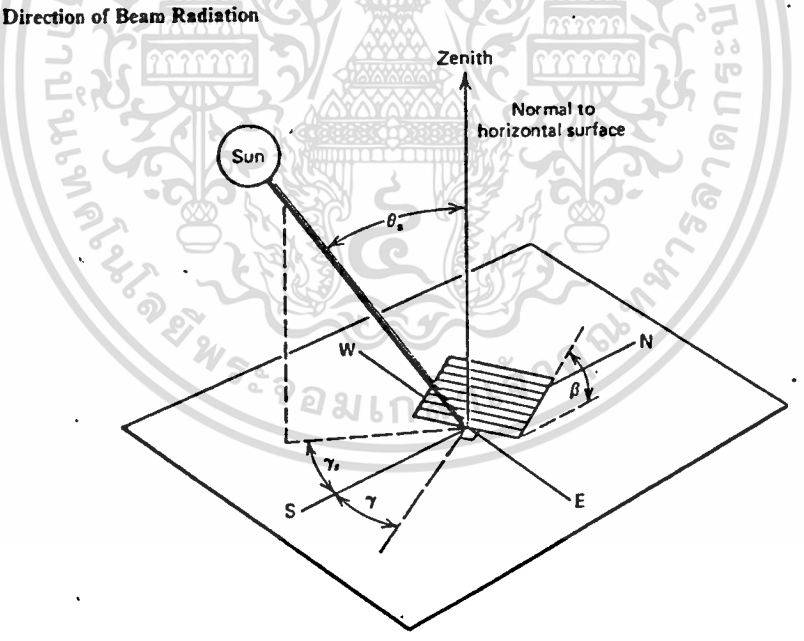
โดยในการหาค่า Gb, Gd นั้นจะต้องคำนวณจากค่าความเข้มของรังสีที่ตกกระทบลงบนพื้นผิวแนวราบในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส (Gc) เสียก่อน เพื่อนำมาเปรียบกับค่าความเข้มของรังสีที่ตกกระทบลงบนพื้นผิวแนวราบจริงในวันนั้น ๆ โดยมีลำดับขั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Month	n for ith Day of Month[b]	For the Average Day of the Month		
		Date	n, Day of Year[b]	δ, Declination
January	i	17	17	−20.9
February	$31 + i$	16	47	−13.0
March	$59 + i$	16	75	−2.4
April	$90 + i$	15	105	9.4
May	$120 + i$	15	135	18.8
June	$151 + i$	11	162	23.1
July	$181 + i$	17	198	21.2
August	$212 + i$	16	228	13.5
September	$243 + i$	15	258	2.2
October	$273 + i$	15	288	−9.6
November	$304 + i$	14	318	−18.9
December	$334 + i$	10	334	−23.0

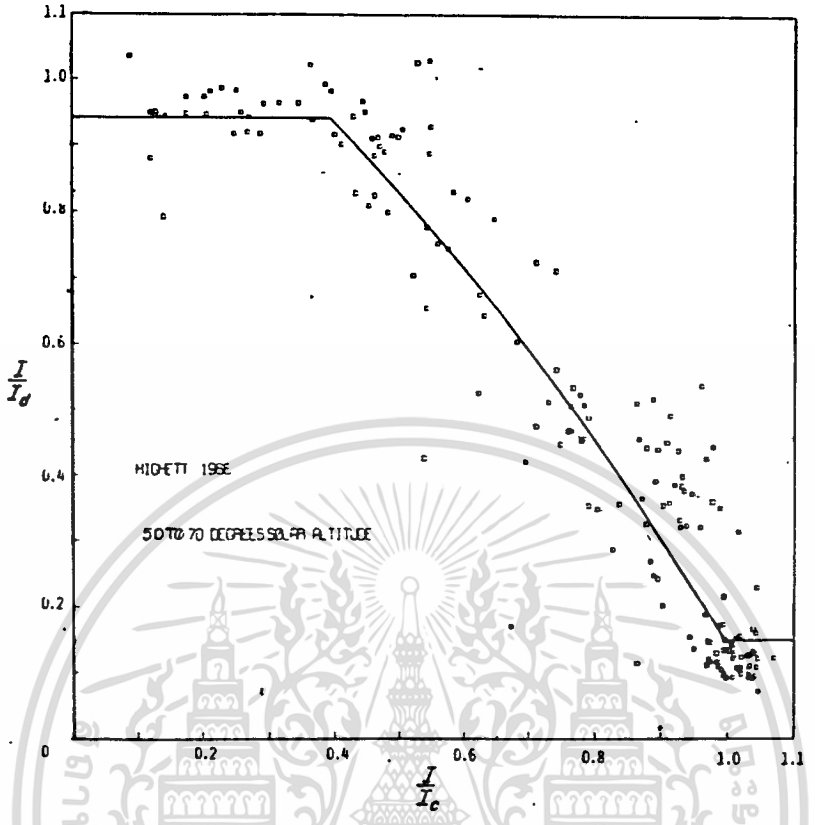
[a] The average day is that day which has the extraterrestrial radiation closest to the average for the month. See Section 1.8.
[b] These do not account for leap year; values of n from March onward for leap years can be corrected by adding 1. Declination values will also shift slightly.

ตาราง 2.1 แสดงค่า n ในแต่ละเดือน



รูปที่ 2.4 แสดงความหมายของมุมต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I/Id กับ I/Ic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณดังนี้

$$G_c = G_{cb} + G_{cd}$$

ซึ่ง $$G_{cb} = G_{sc}\left[1 + 0.033\cos\left[\frac{360n}{365}\right]\right]\cos\theta_z\,\tau_b \qquad (2.7)$$

โดยที่ค่า $G_{sc} = 1353\ w/m^2$

และค่า τ_b สามารถหาได้จาก

$$\tau_b = a_0 + a_1 e^{-(k/\cos\theta_z)} \qquad (2.8)$$

โดยที่ค่าตัวแปรต่าง ๆ ในสมการหาได้จาก

$$a_0^* = 0.4237 - 0.00821\,(6-A)^2$$

$$a_1^* = 0.5055 + 0.00595\,(6.5-A)^2$$

$$k^* = 0.2711 + 0.01858\,(2.5-A)^2$$

A : ระดับความสูงของผู้สังเกต km.

ซึ่งค่า a_0^*, a_1^*, k^* เป็นค่าที่สภาวะอากาศมาตราฐาน ดังนั้นในการหาค่า a_0, a_1, k ที่สภาวะอากาศแบบต่าง ๆ สามารถหาได้โดยใช้ ตัวประกอบแก้ไขต่าง ๆ ดังนี้

$$r_0 = a_0/a_0^*$$

$$r_1 = a_1/a_1^*$$

$$r_k = k/k^*$$

ค่า r_0, r_1, r_k ที่สภาวะอากาศแบบต่าง ๆ หาได้จากตาราง

ตารางที่ 2.2 แสดงค่า r_0, r_1, r_k ที่สภาวะอากาศต่าง ๆ

Climate Type	r_0	r_1	r_k
Tropical	0.95	0.98	1.02
Mid-Latitude Summer	0.97	0.99	1.02
Subarctic Summer	0.99	0.99	1.01
Mid-Latitude Winter	1.03	1.01	1.00

* From Hottel (1976).

ส่วน cos หาได้จาก สมการ (2.5) โดยใช้ค่า $\beta = 0$

$$\cos\theta_z = \cos\delta\cos\phi\cos\omega + \sin\delta\sin\phi \qquad (2.9)$$

ดังนั้นสมการ $[G_{cb}]$ เขียนได้ใหม่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G_{cb} = G_{sc}\left[1+0.033\cos\left[\frac{360n}{365}\right]\right]\left[\cos\delta\cos\phi\cos\omega + \sin\delta\sin\phi\right]\left[a_0 + a_1 e^{-K/\cos\theta_z}\right] \quad (2.10)$$

ส่วนค่า G_{cd} หาได้จาก

$$G_{cd} = G_{sc}\left[1+0.033\cos\left[\frac{360n}{365}\right]\cos\theta_z\,\tau_d \quad (2.11)$$

ค่า τ_d หาได้จาก

$$\tau_d = 0.2710 - 0.2939\,\tau_b \quad (2.12)$$

.. สมการ (2.11) เขียนได้ใหม่เป็น

$$G_{cd} = G_{sc}\left[1+0.033\cos\frac{360n}{}\right]\left[\cos\delta\cos\phi\cos\omega + \sin\delta\sin\phi\right]\left[0.2710-0.2939\,\tau_b\right] \quad (2.13)$$

นำ G_{cb} และ G_{cb} ที่ได้ไปหา G_c ตามสมการ $[G_c]$

หลังจากได้ค่า G_c มาแล้วเราจะนำค่า G_c มาเทียบกับค่า G_i ซึ่งได้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา โดยให้

$$M = G_i/G_c$$

นำค่า M ไปเปรียบเทียบหาค่า Gd/GI จาก

$$G_d/G_i = \begin{cases} 1-0.1(G_i/G_c) & \text{สำหรับ } 0 \leq G_i/G_c \leq 0.48 \\ 1.11+0.0396(G_i/G_c)-0.789(G_i/G_c)^2 & \text{สำหรับ } 0.48 < G_i/G_c < 1.10 \\ 0.2 & \text{สำหรับ } 1.10 \leq G_i/G_c \end{cases}$$

ซึ่งเราจะได้ค่า Gd ออกมา และจะนำไปหาค่า Gb จาก

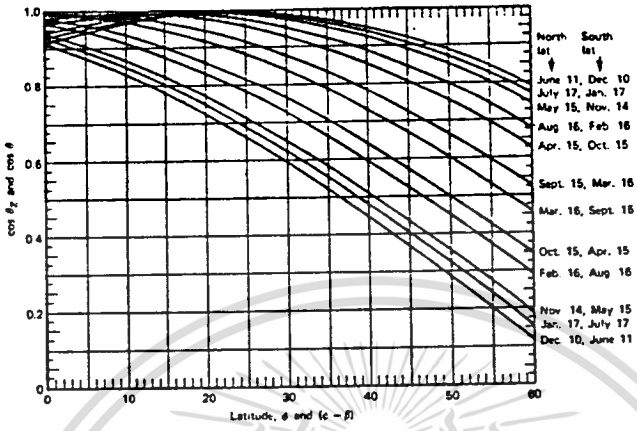
$$G_b = G_i - G_d$$

สำหรับค่า R_b นั้นสามารถหาได้จากสมการ

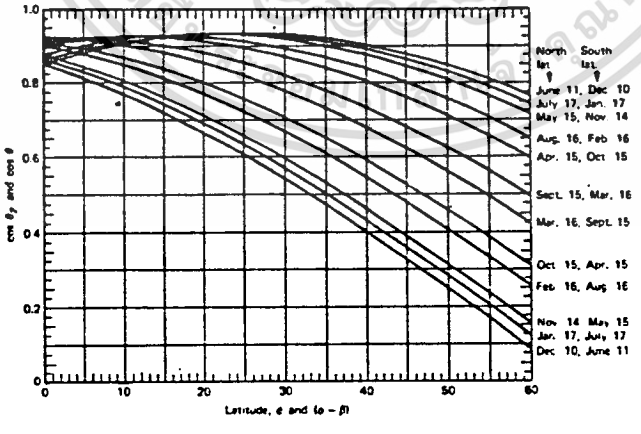
$$Rb = \cos\theta/\cos\theta_z \quad (2.14)$$

ซึ่งแทนสมการ (2.5), (2.9) ลงในสมการ (2.14) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

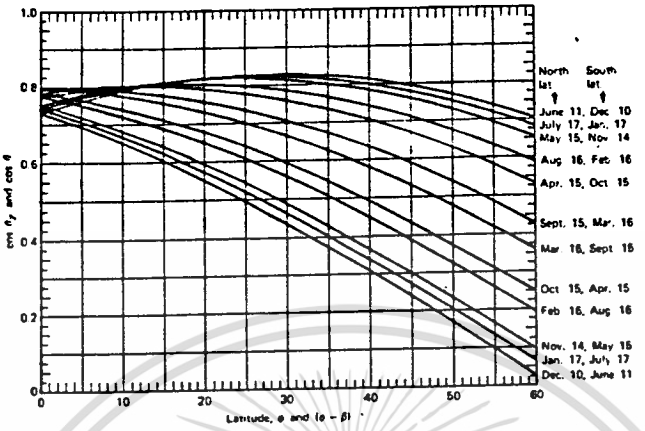


รูปที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง cos θ กับ ($\phi - \beta$) และ cos θ_z กับ ϕ ที่เวลา 11:00 - 12:00 และ 12:00 - 13:00 น.

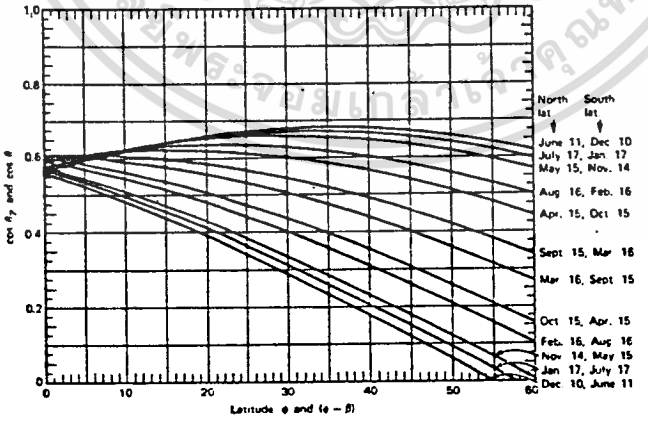


รูปที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง cos θ กับ ($\phi - \beta$) และ cos θ_z กับ ϕ ที่เวลา 10:00 - 11:00 และ 13:00 -14:00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

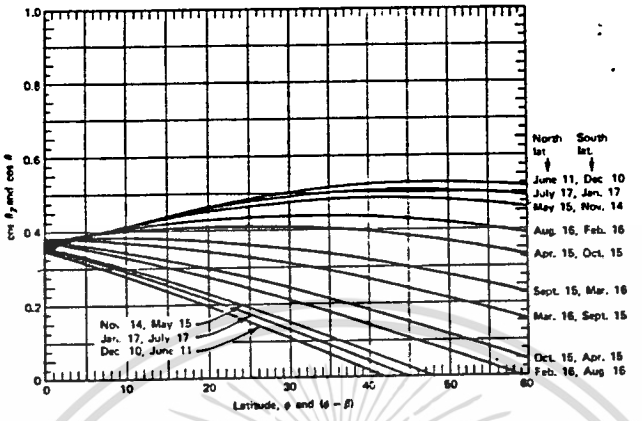


รูปที่ 2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\cos\theta$ กับ $(\phi - \beta)$ และ $\cos\theta_z$ กับ ϕ ที่เวลา 9:00 - 10:00 และ 14:00 - 15:00 น.

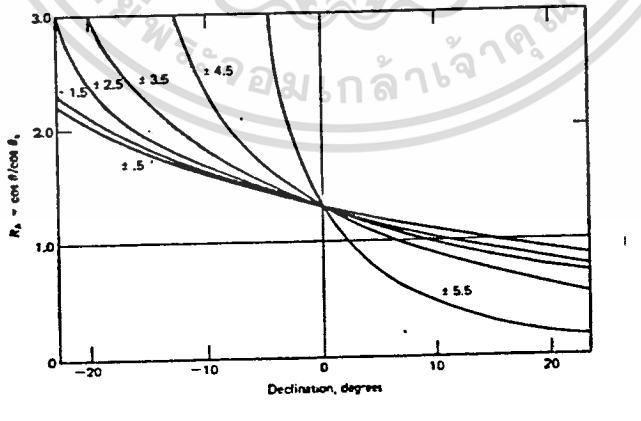


รูปที่ 2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\cos\theta$ กับ $(\phi - \beta)$ และ $\cos\theta_z$ กับ ϕ ที่เวลา 8:00 - 9:00 และ 15:00 - 16:00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\cos\theta$ กับ $(\phi - \beta)$ และ $\cos\theta_z$ กับ ϕ ที่เวลา 07:00 - 08:00 และ 16:00 - 17:00 น.



รูปที่ 2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Rb ($\cos\theta / \cos\theta_z$) กับค่ามุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Rb = \sin\delta\sin\phi\cos\beta - \sin\delta\cos\phi\sin\beta\cos\gamma + \cos\delta\cos\phi\cos\beta\cos\omega + \cos\delta\sin\phi\sin\beta\cos\gamma\cos\omega + \cos\delta\sin\beta\sin\gamma\sin\omega \left[\cos\delta\cos\phi\cos\omega + \sin\delta\sin\phi\right] \quad (2.15)$$

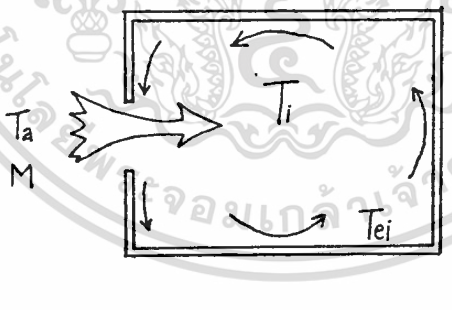
นำค่า Gb, Gd, Rb ไปแทนในสมการ (2.6) เพื่อหาค่า G+ ต่อไป

ก.1.2) การหาค่า hw, hi

ในการหาค่า hw หรือการพาความร้อนเนื่องจากลมนั้น เราจะใช้หลักการของการพาความร้อนแบบไหลภายนอกวัตถุ ส่วนการหาค่า hi หรือการพาความร้อนภายในบ้าน เราจะใช้หลักการของการพาความร้อนแบบธรรมชาติ

ก.2) การคำนวณหาอุณหภูมิภายในบ้าน (Ti)

เนื่องจากการที่อากาศร้อนในท่อรับความร้อนมีการลอยตัวสูงขึ้น ทำให้อากาศเย็นจากภายนอกถูกดึงดูดเข้ามาภายในบ้าน ซึ่งอากาศเย็นจากภายนอกนั้นจะเข้ามาผสมกับอากาศภายในบ้าน ทำให้มีอุณหภูมิภายในต่ำลง



รูปที่ 2.12

พิจารณารูป2.12 จะเห็นว่าเมื่อพิจารณาสมดุลความร้อนจะได้สมการทางความร้อนเป็น

$$\rho C_p V(dTi/dt) = MC_p(Ta-Ti)+Seq\ hi(Tei-Ti) \quad (2.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ Seq คำนวณจาก

$$Seq = \sum_{i=1}^{4} Si\ Gt.i/Gts \qquad (2.20)$$

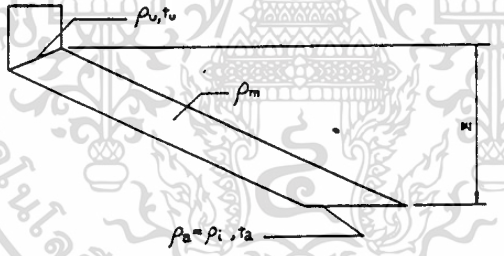
S_i คือ พื้นที่ของผนังในทิศทาง i ใด ๆ

$G_{t.i}$ คือ ค่าความเข้มของรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนทิศทาง i ใด ๆ

$G_{t.s}$ คือ ค่าความเข้มของรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนทิศใต้

จากสมการต่าง ๆ ที่กล่าวมานั้น ในการแก้สมการ (2.1)-(2.3) นั้นจะเขียนให้เป็นแบบ finite difference Equation ในรูปแบบของ Crank-Nicolson Method ส่วนสมการ (2.19) นั้นจะแก้สมการหาคำตอบโดยวิธี Euler's method ซึ่งผลลัพท์รวมทั้งหมดจะถูกแก้หาคำตอบอีกทีโดยใช้ Gauss-Seidel iterative method ส่วนสมการอื่น ๆ สามารถคำนวณได้โดยตรงเมื่อแทนค่าตัวแปรที่ต้องการลงไปแล้ว

ข). การหา Mass Flow Rate ของอากาศร้อนภายในท่ออากาศร้อน



รูปที่ 2.13

พิจารณารูปที่ 2.13 จะได้ แรงขับดันในการเคลื่อนที่ของอากาศอันเนื่องมาจากความแตกต่างของความหนาแน่น(Z)

$$Z = Hg\ (\rho a - \rho m) \qquad (2.21)$$

ค่าความดันจำเพาะที่ได้มีค่าเป็น

$$z = Z/H = g(\rho a - \rho m)$$
$$= g(\rho a - (\rho u + \rho i)/2)$$
$$= 1/2(\rho a - \rho u)g \qquad (2.22)$$

เนื่องจากเราสามารถหาค่าความหนาแน่นของอากาศที่อุณหภูมิ $t(c^{\circ})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใด ๆ ได้เป็น

$$\rho t = \rho o - 0.004t \qquad (2.23)$$

นำ (2.23) แทนลงใน (2.22) จะได้

$$z - 0.02(tu-ta) \quad (Pa/m) \qquad (2.24)$$

กำหนดให้ ψ (pa/m) เป็นค่าความดันลดจำเพาะตลอดท่ออากาศร้อน. Ri และ Ru เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลของอากาศที่ทางเข้า และทางออกของท่ออากาศ ดังนั้นจากสมการเบอร์นูลิ (Bernoulli's Theorem) ที่ทางเข้า - ออก จะได้

$$V^2u/2 = (z-\psi) H/\rho m - Ri\ V^2i/2 - Ru\ V^2u/2 \qquad (2.25)$$

พิจารณากฎการอนุรักษ์มวล (Mass Conservation Law) จะได้

$$Vi = Vu\ \rho u/\ i \qquad (2.26)$$

แทน (2.26) ลงใน (2.25) จะได้

$$Vo = \frac{2H(z-\psi)/\rho m}{1+Ri(\rho u/\rho i)^2+Ru} \quad (m/s) \qquad (2.27)$$

อัตราการไหลของมวลภายในท่ออากาศสามารถคำนวณได้จาก

$$G = Vu\ \rho A \quad (kg/s) \qquad (2.28)$$

และความดันสุทธิที่ได้มีค่า

$$\tau = [(z-\psi)H/\rho mg-(Ri(\rho u/\rho i)^2+Ru)V^2u/2g]X10^4 \quad (Pa) \qquad (2.29)$$

ค่าความดันลดสุทธิสามารถหาได้จากสมการ

$$= 2.11X10^5XG^{1.824}/Deq^{4.82}/g \quad (Pa/m) \qquad (2.30)$$

โดย G มีหน่วยเป็น m^3/h และ D_{eq} มีหน่วยเป็น mm ซึ่งในการคำนวณนั้นเราจะใช้วิธี Trial and error กำหนดค่า ψ ขึ้นมาก่อนในสมการ (2.27) แล้วนำไปหา G ในสมการ (2.28) เพื่อนำค่า G ที่ได้จากสมการ (2.28) มาแทนหา ψ ในสมการ (2.30) จนกว่าจะได้ว่า ψ ที่กำหนดมีค่าต่างกันเล็กน้อย (< .0005) กับค่า ψ ที่คำนวณได้จากสมการ (2.30)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดลองวัดอุณหภูมิภายในบ้านและผลการทดลอง

หลังจากที่ได้สร้างบ้านตัวอย่าง และมีการติดตั้ง Solar Cooling Chimney เข้าไว้ภายในบ้านเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การทดลองวัดอุณหภูมิภายในบ้าน ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิประกอบด้วย

1. เครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบ Digital ซึ่งวัดได้ 3ต ตำแหน่ง จำนวน 1 เครื่อง

2. สาย Thermo Couple แบบ Copper-Constant Type-T จำนวน 3.5 เมตร

3. สาย Extension เพื่อนำสัญญาณจาก Thermo Couple มายังเครื่องวัด จำนวน 55 เมตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

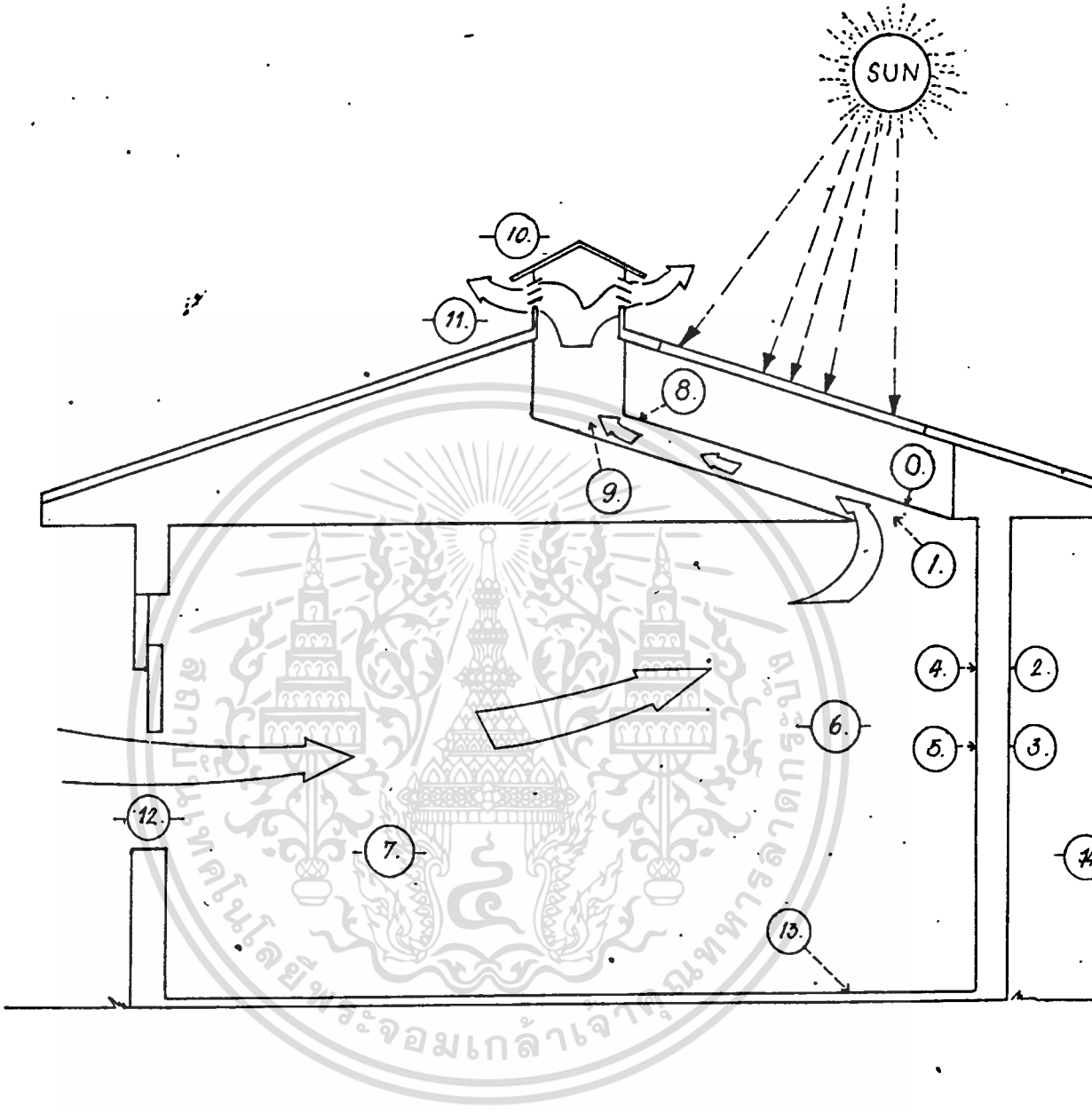
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ในการวัดอุรหภูมินั้นจะวัดทั้งสิ้น 15 จุด โดยแบ่งออกเป็น

หมายเลข	จุดประสงค์ในการใช้วัด	ตัวแปรในสูตรการคำนวณ
ø	วัดอุณหภูมิของท่ออากาศทางเข้า	Tad
1	วัดอุณหภูมิของอากาศทางเข้าท่อ	Tui
2	วัดอุณหภูมิของผนังทางด้านนอก (ด้านรับแสงอาทิตย์ทางทิศใต้)	Tee(1)
3	เช่นเดียวกับ No.2	Tee(2)
4	วัดอุณหภูมิของผนังทางด้านใน (ด้านภายในบ้าน)	Tei(1)
5	เช่นเดียวกับ No.4	Tei(2)
6	วัดอุณหภูมิภายในบ้าน	Ti(1)
7	เช่นเดียวกับ No.6	Ti(2)
8 (29)	วัดอุณหภูมิของท่ออากาศร้อนทางด้านออก	Tud
9 (15)	วัดอุณหภูมิของอากาศร้อนทางด้านออก	Tue
10 (16)	วัดอุณหภูมิท้องฟ้า	Ts(1)
11 (17)	เช่นเดียวกับ No.10	Ts(2)
12 (28)	วัดอุณหภูมิทางเข้าอากาศจากภายนอกบ้าน	Ta
13 (27)	วัดอุณหภูมิของพื้นดิน	Tg
14 (26)	วัดอุณหภูมิของอากาศภายนอก	Tam

หมายเหตุ : กรณีบางจุดนั้นมีจุดประสงค์ในการวัดเหมือนกัน ดังนั้นจะนำค่าที่วัดได้ทั้งหมดมาเฉลี่ยเพื่อหาค่าที่ต้องการนั้น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงจุดวัดอุณหภูมิภายในบ้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองวัดอุณหภูมิ ณ จุดต่าง ๆ นั้น เราจะเริ่มวัดตั้งแต่เวลา 11.00 น.-15.30 น. ในทุกวัน ซึ่งในช่วงเวลา 11.00-13.30 นั้นเราจะทำการวัดที่ค่อนข้างละเอียดเนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่มีความร้อนมาก และลมที่พัดนั้นไม่ค่อยแรงจนเกินไป ซึ่งจะมีการบันทึกอุณหภูมิ ณ จุดต่าง ๆ ทุก ๆ 7 นาที สำหรับเวลา 13.30-15.30 นั้นเราจะทำการบันทึกทุก ๆ 10 นาที ซึ่งจากการทดลองวัดเป็นจำนวน 7 วัน เราได้ผลการทดลองดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดง: ผลการทดลอง

	6,7 Ti		14 Tam		10,11 Ts		12 Ta		1 Tui	9 Tue
เวลา	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	C
11:30	31.3	32.6	33.6	35.2	38.2	39.8	30.8	31.7	33.2	35.0
11:37	31.6	33.5	33.2	37.4	39.2	41.0	30.3	33.3	33.6	35.4
11:44	31.6	33.1	33.0	37.3	37.3	40.5	30.3	32.7	34.3	35.0
11:51	32.5	34.5	33.7	36.9	38.4	41.4	31.3	34.6	37.0	45.0
11:58	32.9	34.7	35.0	35.8	39.3	39.2	32.0	33.2	37.4	45.3
12:05	32.5	34.3	33.3	36.2	39.4	40.8	31.8	34.3	38.5	46.5
12:12	33.5	34.9	34.4	37.3	39.9	45.4	33.2	34.0	37.9	47.6
12:19	34.3	35.3	35.6	36.8	41.0	44.3	33.7	34.1	38.4	47.9
12:26	34.4	34.8	36.5	36.3	43.6	41.6	33.7	34.1	38.9	46.5
12:33	34.5	35.8	36.5	36.5	43.8	44.0	32.9	34.0	38.7	47.0
12:40	34.9	35.5	36.2	36.6	39.4	41.3	33.8	35.1	39.3	45.2
12:47	34.6	36.0	37.0	37.5	40.3	41.9	33.5	35.6	39.2	47.5
12:54	34.6	36.1	37.7	37.5	40.4	42.6	33.8	35.5	39.0	47.5
13:01	34.7	35.6	38.8	37.2	41.5	42.4	34.6	35.2	39.3	46.3
13:08	34.3	35.6	37.5	38.8	42.0	43.7	34.6	35.0	39.0	47.2
13:15	34.7	35.3	38.6	38.8	41.5	44.3	34.3	35.2	38.8	48.6
13:22	35.0	35.2	36.5	37.3	40.4	43.6	34.5	34.9	38.6	48.1
13:29	35.5	35.6	37.2	37.0	42.0	44.2	35.5	35.0	38.8	47.4
13:36	35.5	35.8	36.8	38.6	40.7	43.0	34.8	34.4	39.2	48.9
13:43	35.6	35.7	38.3	36.4	41.0	40.4	35.3	34.6	38.3	45.8
13:50	35.5	35.6	37.3	36.8	38.8	42.0	34.9	35.5	38.3	47.8
13:57	35.5	35.8	36.8	36.9	39.0	39.5	34.4	35.2	38.3	46.2
14:04	35.2	35.2	37.5	36.5	38.1	39.7	35.0	34.8	37.9	45.1
14:11	35.2	35.6	36.8	38.0	37.0	39.1	33.9	35.0	37.9	44.6
14:18	35.2	35.4	36.8	38.2	36.2	38.5	33.5	35.0	37.4	42.8

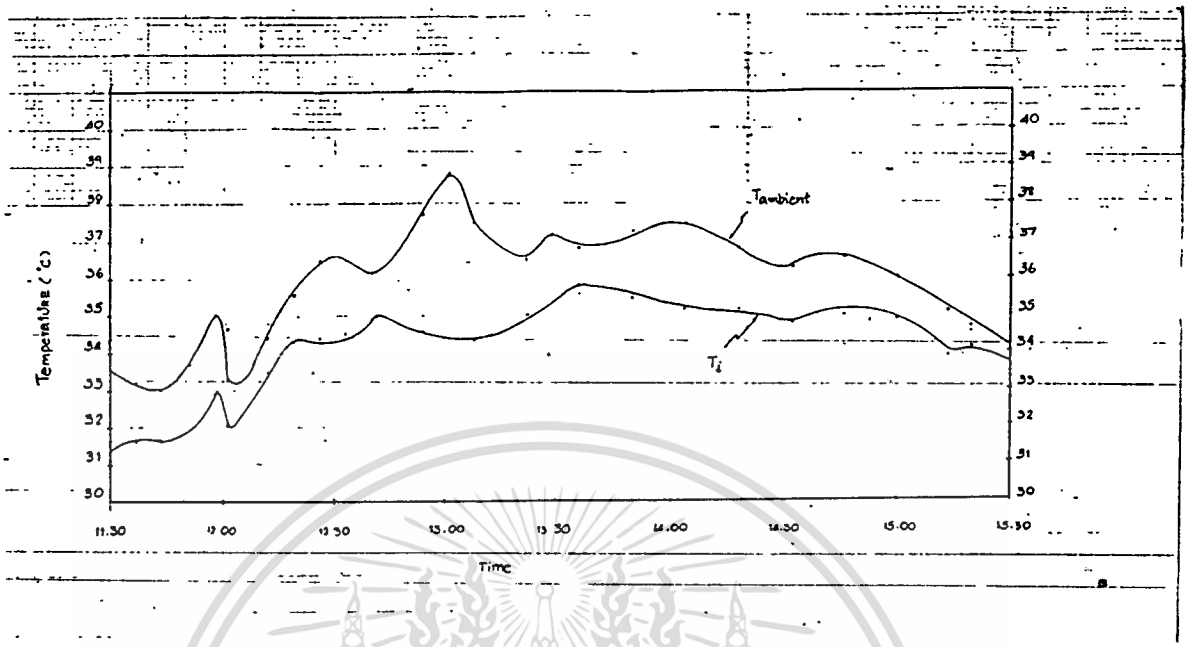
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	6,7 Ti		14 Tam		10,11 Ts		12 Ta		1 Tui	9 Tue
เวลา	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	C
14:25	34.7	35.1	36.1	36.2	36.8	38.6	34.1	34.6	37.2	41.6
14:32	34.8	35.4	36.3	36.9	36.1	38.9	34.1	35.1	37.1	41.8
14:39	35.2	35.2	36.5	35.5	36.6	38.1	34.0	33.8	36.9	40.5
14:46	35.0	35.2	36.6	36.7	36.7	38.3	34.3	34.6	37.3	41.4
14:53	34.9	35.5	36.2	36.0	36.4	38.3	34.2	34.8	36.4	41.0
15:00	34.9	35.2	36.0	36.0	35.4	38.4	33.5	34.9	36.5	41.7
15:07	34.9	35.2	36.4	45.5	36.0	37.0	34.2	34.8	36.6	40.4
15:14	33.9	35.1	35.1	36.2	34.2	36.2	33.4	33.9	36.2	38.7
15:21	34.1	35.0	35.0	35.2	34.5	35.9	33.2	34.5	35.9	37.4
15:20	34.1	34.8	34.7	34.8	34.5	35.1	35.8	34.1	35.7	36.9
15:35	33.8	34.3	34.0	34.3	34.6	34.7	33.3	33.0	35.1	36.0

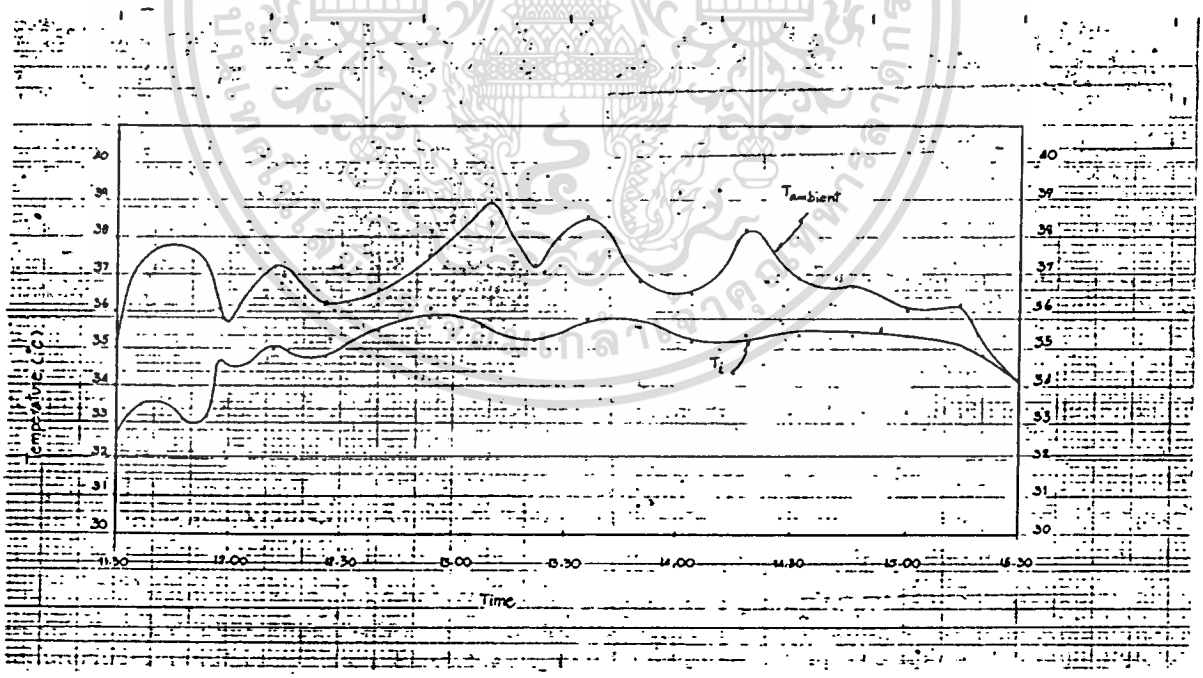
หมายเหตุ : C : ทำการทดลองโดยมีชุด SOLAR COOLING CHIMNEY

NC : ทำการทดลองโดยไม่มีชุด SOLAR COOLING CHIMNEY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ที่ 3.2 ก กราฟแสดงผลการทดลองโดยใช้อุปกรณ์
SOLAR COOLING CHIMNEY



รูปที่ 3.2ข กราฟแสดงผลการทดลองโดยไม่ใช้อุปกรณ์
SOLAR COOLING CHIMNEY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การคำนวณหาค่าอุณหภูมิภายในบ้านและอัตราการไหลของมวลอากาศ จากค่าที่วัดได้จากผลการทดลอง

1. การคำนวณหาค่าอุณหภูมิภายในบ้าน เป็นการคำนวณจากสูตรต่าง ๆ ที่กล่าวถึงในหัวข้อ ก. โดยการนำค่าตัวแปรบางตัวที่วัดได้จากการทดลองวัดอุณหภูมิมาแทนค่าในสูตร เพื่อใช้ในการคำนวณหาอุณหภูมิภายในบ้าน ซึ่งขั้นตอนในการคำนวณดังนี้

- พิจารณาจาก Temperature equivalent ที่ผนังก่อน จากสูตร (2.1) -(2.3) ได้ว่า

$$\frac{\partial T_e}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T_e}{\partial x^2}$$

$$-K \frac{\partial T_e}{\partial x}\Big|_{x=0} = \alpha_s G_{ts} - h_w (T_{ee} - T_a) + 0.5\, 6 \alpha_s (T_s^4 + T_g^4 - 2T_{ee}^4)$$

$$-K \frac{\partial T_e}{\partial x}\Big|_{x=l} = h_i (T_{ei} - T_i)$$

จากสมการ (1) เขียนให้อยู่ในรูปของ Finite difference Equation โดยใช้รูปแบบของ Crank-Nicolson Method ได้ว่า

$$\frac{\partial^2 T_e}{\partial x^2} = 1/(\Delta x)^2 \,(T_{i-1,j} - 2T_{i,j} + T_{i+1,j})(1-\theta) + 1/(\Delta x)^2 \,(T_{i-1,j+1} - 2T_{i,j+1} + T_{i+1,j+1})\theta \qquad (4.1)$$

โดย θ = เป็นตัวแปรถ่วงน้ำหนัก (Weighting Factor) มีค่าระหว่าง ๐ - 1๐

$$\frac{\partial T_e}{\partial t} = (-T_{i,j} + T_{i,j+1})/\Delta t \qquad (4.2)$$

แทน (4.1) และ (4.2) ลงใน (2.1) ได้ว่า

$$(-T_{i,j} + T_{i,j+1})/\Delta t = \alpha [1/(\Delta x)^2 \,(T_{i-1,j} - 2T_{i,j} + T_{i+1,j})(1-\theta) + 1/(\Delta x)^2 \,(T_{i-1,j+1} - 2T_{i,j+1} + T_{i+1,j+1})\theta]$$

$$\beta(1-\theta)T_{i-1,j} + (1 - 2\beta + 2\beta\theta)\,T_{i,j} + \beta(1-\theta)T_{i+1,j} + \beta\theta T_{i-1,j+1} - (2\beta\theta + 1)\,T_{i,j+1} + \beta\theta T_{i+1,j+1} = 0 \qquad (4.3)$$

โดยที่ $\beta = \alpha \Delta t / (\Delta x)^2$ (4.4)

เนื่องจากใช้วิธี Crank-Nicolson Method ดังนั้นค่า $\theta = 1/2$ ดังนั้นสมการบนเขียนใหม่ได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\beta T_{i-1,j} + (2 - 2\beta) T_{i,j} + \beta T_{i+1,j} + \beta T_{i-1,j+1} - (2 + 2\beta) T_{i,j+1} + \beta T_{i+1,j+1} = 0 \quad (4.5)$$

ถ้าเราเลือกใช้ $\beta = 1/2$ จะได้

$$6T_{i,j+1} - T_{i-1,j+1} - T_{i+1,j+1} = T_{i-1,j} + 2T_{i,j} + T_{i+1,j} \quad (4.6)$$

สมการ (4.6) เป็นสมการหลักที่ใช้ในการคำนวณหา T ที่จุดต่าง ๆ ที่ผนัง

เนื่องจากค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ทางความร้อนของกระเบื้องแผ่นเรียบตราช้างมีค่าดังนี้

$K = 0.2312$ Btu/h.ft $^{\circ}$F

$C = 0.24$ Btu/lb $^{\circ}$F

$\rho = 1.55$ g/cm^3 = 96.7634 lb/ft^3

ค่า $\alpha = K/\rho C = 0.2312/(96.7634)(0.24)$

$= 9.955 \times 10^{-3}$ ft^2/h = 2.57×10^{-7} m^2/s

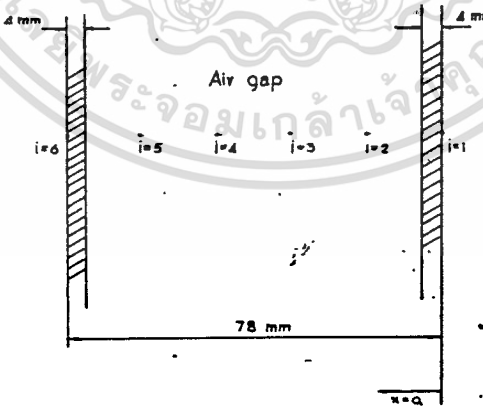
จากที่เลือก $\beta = 1/2$

ใช้ค่า $t = 436$ s (7.27 min)

$X = 20$ mm

อากาศที่ $T \cong 300$ K มีค่า $\alpha = 2.25 \times 10^{-7}$ m^2/s

∴ พิจารณา node ต่าง ๆ ที่ผนัง



รูปที่ 4.1

ที่จุด i = 1 เป็นจุดที่เป็น boundary condition ดังนั้นพิจารณาสมการ (4.6) ในรูป Finite difference จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$- K\,[[(T_{20} - T_{10})/2\Delta x] + [T_{2j} - T_{1j}]/2\Delta x]]$$

$$= \alpha_s G_{ts} - h_w (T_{10} - T_a) + \emptyset.5\,6\alpha_s (T_s^4 + T_2^4 - 2T_{10}^4)$$

$$- K/2\Delta h\,[(T_{2j} - T_{1j}) + (T_{20} - T_{10})]$$

$$= \alpha_s G_{ts} - hw (T_{10} - T_a) + \emptyset.5\,6\alpha_s (T_s^4 + T_2^4 - 2T_{10}^4)$$

ที่จุด i = 1 $T_{1j} - T_{2j} = T_{20} - (1 + \frac{2\Delta x h_w}{K})T_{10} + \frac{2\Delta x \alpha_s G t_s}{K} + \frac{2\Delta x h_w T_a}{K} +$

$$6\alpha_s \Delta X (T_s^4 + T_2^4 - 2T_{10}^4) \qquad (4.7)$$

ที่จุด i = 2 ได้ $6T_{2j} - T_{1j} - T_{3j} = T_{10} + 2T_{20} + T_{30}$

$$T_{2j} = \frac{T_{1,j} + T_{3j} + T_{10} + 2T_{20} + T_{30}}{6} \qquad (4.8)$$

ในทำนองเดียวกันกับจุดอื่น ๆ

ที่จุด i = 3 ได้ $T_{3j} = \frac{T_{2j} + T_{4j} + T_{20} + 2T_{30} + T_{40}}{6}$ (4.9)

ที่จุด i = 4 ได้ $T_{4j} = \frac{T_{3j} + T_{5j} + T_{30} + 2T_{40} + T_{50}}{6}$ (4.10)

ที่จุด i = 5 ได้ $T_{5j} = \frac{T_{4j} + T_{6j} + T_{40} + 2T_{50} + T_{60}}{6}$ (4.11)

ที่จุด i = 6 เป็นจุดที่เป็น boundary condition เช่นกัน ดังนั้น พิจารณาสมการ (2.3) ในรูป Finite difference จะได้

$$-K[(T_{60} - T_{50})/2\Delta x + (T_{6j} - T_{5j})/2\Delta x] = h_1(T_{60} - T_1)$$

∴ จะได้ว่า i = 6 ,

$$T_{5j} - T_{6j} = [(2\Delta x h_1)/K + 1)T_{60} - T_{50} - ((2\Delta x h_1)/K)T_{1j} \qquad (4.12)$$

ต่อไปพิจารณาสมการอุณหภูมิภายในบ้าน

$$\rho C_p V \quad (dT_i/d_t) = \dot{m} C_p (T_a - T_{10})$$

$$+ (Seqh_1)(T_{ei} - T_i)$$

จาก Euler's Method $Ti(t+J) = Tio + J\,f(t, Tio)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หา i ชั่ง $= dT_i/d_t$

$= (MC_p/\rho C_p V)(T_a - T_{io})$

$+ (Seq\ h_i/\rho C_p V)(T_{so} - T_{io})$

$\therefore T_{ij} = T_{io} + (M\Delta t/\rho V)(T_a - T_{io})$

$= (Seq\ h_i/\rho C_p V)(T_{so} - T_{io})$ (4.13)

นำสมการทั้ง 2 ส่วนมารวมกันในการคำนวณ ซึ่งจะเห็นว่าเราสามารถแบ่งหมู่ตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

ตัวแปรที่วัดจากการทดลอง	คือ	T1Ø, T6Ø. Ts. Tg, Ta. Tio
ตัวแปรที่ต้องคำนวณก่อน	"	T2Ø, T3Ø. T4Ø, T5Ø, hi, hw, m, Seg, Gts
ตัวแปรที่ต้องการหาค่า	"	Tij, T2j, T3j, T4j, T5j, T6j, Tij
ตัวแปรที่ทราบจากตาราง	"	$K, \alpha_s, \rho, C_p, V, \delta, \Delta x, \Delta t$

ซึ่งจากการทดลองวัดค่าอุณหภูมิ เราจะต้องทำการคำนวณค่า hi. hw, M. Seg, Gts, T2Ø, T5Ø ออกมาก่อน

ในการคำนวณหาค่า $T_{2o} - T_{5o}$ ซึ่งเป็นค่าสภาวะเริ่มต้นภายในผนัง เพื่อความสะดวกนั้นเราจะใช้สมการดังนี้

$$-K\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \qquad (1)$$

$$T(1) = T_{1o}$$

$$T(2) = T_{2o}$$

$\therefore$ จาก (1) จะได้ว่า $\partial^2 T/\partial x^2 = 0$

สามารถเขียนอยู่ในรูปสมการ numericle ได้เป็น

$$\frac{(T_{i+1} + T_{i-1} - 2T_i)}{\Delta x^2} = 0$$

$\therefore$ ที่จุด i=2 ได้ $T_3 + T_1 - 2T_2 = 0$

ที่จุด i=3 ได้ $T_4 + T_2 - 2T_3 = 0$

ที่จุด i=4 ได้ $T_5 + T_3 - 2T_4 = 0$

ที่จุด i=5 ได้ $T_6 + T_4 - 2T_5 = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า $T_1 = T_{10}$ และ $T_6 = T_{60}$ ลงในระบบสมการได้ว่า

$-2T_2 + T_3$	$= -T_{10}$
$T_2 - 2T_3 + T_4$	$= 0$
$T_3 - 2T_4 + T_5$	$= 0$
$T_4 - 2T_5$	$= -T_{60}$

แก้สมการหาค่าต่าง ๆ ได้

$T_2 = T_{20}$	=	317.8	K
$T_3 = T_{30}$	=	316.6	K
$T_4 = T_{40}$	=	315.4	K
$T_5 = T_{50}$	=	314.2	K

2. การคำนวณหาค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนผนังก่อแพงในทิศทางต่าง ๆ ($G_{\alpha\gamma}$)

จากรูปแบบ-หลักการคำนวณที่เสนอไปแล้วในหัวข้อ ก.1.1 และ จากวัน-เวลา ที่พิจารณาเพื่อหาค่า $G_{\alpha\gamma}$ จะได้ว่า

เนื่องจากเราจะทำการคำนวณโดยพิจารณาวันที่ 13 มีนาคม 2533 เวลา 12.00 - 13.00 น. เป็นหลักและจากทำเลที่ตั้งของบ้านตัวอย่างเราจะได้ว่า

n = 72 (ลำดับวันของปีหนึ่ง ๆ)

ϕ = 13.44° n (ที่ตั้งของกรุงเทพฯ)

β = 90°

γ = 0, 90°, -90°, 180° (ตามทิศทางที่หันไปของผนัง คือ S,W,E,N ตามลำดับ)

w = +7.5 (เฉลี่ยคิดที่เวลา 12:30 น.)

จากข้อมูลพิจารณาที่ $\gamma = 0°$ ก่อน จะได้

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \times \left(\frac{284+n}{365}\right)\right)$$

$$= 23.45 \sin\left(360 \times \left(\frac{284+72}{365}\right)\right)$$

$$= -3.69$$

หาค่า τ_b จาก $\tau_b = a_0 + a_1 e^{-k/\cos\theta_z}$

a_0^* = 0.4237 - 0.00821 [6-0]^2 (A=0 ผู้สังเกตุอยู่บนพื้นดิน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$= 0.128$

$a_1^* = 0.5055 + 0.00595\,(6.5-0)^2$

$= 0.757$

$k^* = 0.2711 + 0.01858\,(2.5)^2$

$= 0.387$

. . จากตาราง 2-1 จะได้

$r_0 = a_0/a_0^* = 0.95$ . . $a_0 = 0.1216$

$r_1 = a_1/a_1^* = 0.98$ . . $a_1 = 0.742$

$r_k = k/k^* = 1.02$ . . $k = 0.395$

และ $\cos = \cos\delta \cos\phi \cos\omega + \sin\delta \sin\phi$

$= \cos(-3.69^\circ)\cos(13.44^\circ)\cos(+7.5^\circ) + \sin(-3.69^\circ)\sin(13.44^\circ)$

$= 0.947$

. . $b = 0.1216 + 0.742\,[e]^{-[0.395/0.947]}$

$= 0.611$

$\therefore G_{cb} = G_{sc}\,[1+0.033\cos[360n/365]\,]\,[\cos\theta_z]\,\tau_b$

$= 1353\,[1+0.033\cos[360\times72/365]\,](0.947)(0.611)$

$= 791.125 \ w/m^2$

หา $\tau_d = 0.2710 - 0.2939\,\tau_b$

$= 0.2710 - 0.2939\,(0.611) = 0.0915$

$\therefore G_{cd} = G_{sc}\,[1+0.33\cos[360n/365]\,]\,[\cos\theta_z\,]\,\tau_d$

$= 1353\,[1+0.033\cos[360\times72/365]\,][0.947]\,[0.0915]$

$= 118.595 \ w/m^2$

. . ความเข้มรวม $= 791.13 + 118.59 = 909.72 \ w/m^2$

จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาค่า G ที่ตกกระทบจริงในวันที่ 13 มี.ค ของปี (30-31) ได้ว่า

$G_1 = 445 \ w/m^2$

$\therefore M = G_1/G_c = 445/909.72 = 0.489$

$\therefore G_d/G_1 = 1.11 + 0.0396\,[M] - 0.789\,[M]^2$

$= 0.9019$

$\therefore G_d = 418.56 \ w.m^2$

$G_b = 26.44 \ w/m^2$

$\therefore$ จากสูตร (2.15) หาค่า K_b จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R_b = $\cos\theta / \cos\theta_z$

= $\sin(-3.69^\circ)\sin(13.44^\circ)\cos(90^\circ) - \sin(-3.69^\circ)\cos(13.44^\circ)\sin 90^\circ \cos 0^\circ + \cos(-3.69^\circ)\cos(13.44^\circ)\cos 90^\circ \cos(7.5^\circ) + \cos(-3.69^\circ)\sin 13.44^\circ \sin 90^\circ \cos 0^\circ \cos(7.5^\circ) + \cos(-3.69^\circ)\sin 90^\circ \sin 0^\circ \sin(7.5^\circ)$

$[\cos(-3.69^\circ)\cos 13.44^\circ \cos 7.5^\circ + \sin(-3.69^\circ)\sin 13.44^\circ]$

= $0.2932/0.947 = 0.3094$

แทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการ (2.6) จะได้ว่า

$G_{ts} = 26.44[0.309] + 418.56[1+\cos 90^\circ/2] + 445[1-\cos 90^\circ/2] \times 0.5$

$= 328.7\ w/m^2$

คำนวณค่า G_{tn}, G_{tw}, G_{te} โดยเปลี่ยนค่า $\gamma = 180^\circ, 90^\circ, -90^\circ$ ไปตามลำดับ และใช้รูปแบบการคำนวณเช่นเดิมจะได้

$G_{tn} = 312.39\ w/m^2$ ($R_b = -0.2918/0.947 = -0.308$)

$G_{tw} = 324.19\ w/m^2$ ($R_b = 0.1312/0.947 = 0.139$)

$G_{te} = 316.92\ w/m^2$ ($R_b = -0.1292/0.947 = -0.1364$)

จากค่าที่ได้มาจาก G_t ทั้ง 4 ทิศ หา Seg ได้ดังนี้

$Seg = \sum Si \times Gti/Gts$

$Seg = 3 \times 2.1 + (3\times 2.1)[312.39/328.7] + (2\times 2.1)[324.19/328.7] + (2\times 2.1)[316.92/328.7]$

$= 6.3 + 6.3(0.950) + 4.2(0.986) + 4.2(0.964)$

$= 20.475\ m^2$

3. การคำนวณหาค่า อัตราการไหลของมวลอากาศร้อน (m)

จากข้อมูลของผลการทดลองเราจะได้ว่า

$t_u = 46.9^\circ c$

$t_a = 38.8^\circ c$

$H = 173\ mm = 0.173\ m$

$Ri = 0.6$

$Ku = 0.5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

. . จาก Vu สมการ $\left[\frac{2H(Z-\psi)/\rho_m}{1+R_i\left(\frac{\rho_u}{\rho_l}\right)^2+Ru}\right]^{1/2}$

. . $Z = 0.02(t_u - t_a)$

$= 0.02(46.9 - 38.8) = 0.162$ Pa/m

และ $\rho = \rho_o - 0.004t$

. . $\rho_u = 1.287 - 0.004(46.9) = 1.0994$ Kg/m^3

$\rho_l = 1.287 - 0.004(38.8) = 1.1318$ Kg/m^3

$\rho_m = (\rho_u + \rho_l)/2 = 1.1156$ kg/m^3

. . $Vu = \frac{[2(0.173)(0.08-\psi)/1.1156]^{1/2}}{[1+0.6[1.0994/1.1318]^2 + 0.5]}$

$= [0.31014(0.08-\psi)]^{1/2}$

2.066

$= [0.1501(0.08-\psi)]^{1/2}$ ..... (1)

$G = VuAx3600 = 50.4\ Vu$ ..... (2)

$= \frac{2.0678\times10^{-3} \times G^{1.824}}{(84.5)^{4.82}}$ ..... (3)

(Deq = 4A/p = 4(50x2800/660) = 84.5 mm)

การหา Vu ทำได้โดย Assume ค่า ψ_o ขึ้นในสมการ (1) แล้วหาค่า Vu. G ตามลำดับเพื่อนำมาหาค่า ψ_1 ในสมการ (3) แล้วนำ ψ_1 ที่หาได้ไปเปรียบเทียบกับ ψ_o ที่สมมุติขึ้นมาจนกว่า $|\psi_1 - \psi_o| \leq 0.0005$ จึงหยุด และเราจะได้ค่า $\psi = \psi_1$ นำไปหา Vu ใหม่ แล้วนำมาหา m จาก

$m = 1.135 \times Vu \times A \times 2$

$= 0.0318 \times Vu$

. . จากคำอธิบายข้างต้นทำการคำนวณหาค่า โดยกำหนด = ก่อน ซึ่งหลังจากทำ Trial - Error ได้

V (m/s)	G (m^3/h)	ψ (pa/m)
0.1096	5.522	0.0241
0.0916	4.6170	0.0174
0.0970	4.8864	0.01927
0.0955	4.8120	0.01873
0.0959	4.8330	0.01889

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ø.Ø958	4.827	Ø.Ø1885
Ø.Ø9581	4.8290	Ø.Ø1886

∴ ได้ค่า Vu = Ø.Ø9581 m/s

G = 4.8290 m/s

ψ = Ø.Ø1886 Pa/m

∴ m = Ø.Ø318xØ.Ø9581 = $3.Ø5x10^{-3}$ kg/s

4. การคำนวณหาค่า hw

เราได้ค่า Tee = 46°c (319 k) และ Ta = 34.5°c (3Ø7.5 k) และความเร็วลมเฉลี่ยภายนอกมีค่าเท่ากับ Ø.5 m/s (คิดเฉลี่ยที่เวลา 12.ØØ - 13.ØØ น. ของวันที่ 13 มีนาคม 2533) ดังนั้นจะได้ว่า

Tf = (319 + 3Ø7.5)/2 = 313 k

∴ หาค่าคุณสมบัติของอากาศที่อุณหภูมิ 313 k ได้ดังนี้

k = $27.26x10^{-3}$ w/m^2 k

= $17.2x10^{-6}$ m^2/s

P_r = Ø.7Ø518

หา Re_L = VL/Y = Ø.5x3/$17.2x10^{-6}$ = 87220.45

= $8.722x10^4$ ($Re_L < 10^5$)

∴ การไหลเป็นแบบ LAMINAR FLOW

หา $\overline{Nu}_L$ = Ø.664 $Rex^{1/2}$ $Pr^{1/3}$ (Pr > Ø.6)

= Ø.664($8.722x10^4$)$^{1/2}$ (Ø.7Ø518)$^{1/3}$

= 174.54

∴ หา hw จาก

hwL/k = 174.54

hw = 174.54($27.26x10^{-3}$)/3 = 1.59 w/m^2 k

5. การคำนวณหาค่า hi

เราได้ค่า Tei = 4Ø°c (313k) , Ti = 3Ø°c (3Ø9k) จาก Tf = (313+3Ø9)/2 = 311 k นำไปหาค่าคุณสมบัติต่าง ๆของอากาศได้ว่า ที่ T = 311k มีค่า β = $1/T_f$ = $3.215x10^{-3}$ k^{-1}

V = $17x10^{-6}$ m^2/s

α = $24.13x10^{-6}$ m^2/s

Pr = Ø.7Ø546

K = $27.11x10^{-3}$ w/m^2 K°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่า $R_{aL} = g\beta(T_s - T_\infty)L^3/\nu\alpha$

$= 9.81(3.215\times10^{-3}).(40-36).(2.2)^3 /(17\times10^{-6}).(24.13\times10^{-6})$

$= 3.275\times10^9 \quad (R_{aL} > 10^9)$

∴ เป็นการไหลแบบ Turbulent Flow หาค่า Nu_L จาก

$Nu_L = (0.037\ Re_L - 871).Pr^{1/3}$

$= (0.037(3.275\times10^9) - 871).(0.70546)^{1/3}$

$= 177.44$

∴ หา hi จาก

$hiL/k = 177.44$

$hi = 177.44(27.11\times10^{-3})/2.2 = 2.1865\ w/m^2\ k$

ค่าต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการคำนวณทั้งหมด ถูกแสดงในตารางนำไปแทนในสมการ (4.8) - (4.13) เพื่อคำนวณค่า Tij ที่เวลาต่าง ๆ ซึ่งจากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม TK-SOLVER แบบ Iteration ได้ค่า Tij ที่เวลาต่าง ๆ ดังนี้

เวลา	T_i จากการคำนวณ		T_i จากการทดลอง	
	C	NC	C	NC
12:05	307.385	307.512	305.5	307.3
12:12	307.283	307.528	306.5	307.9
12:19	307.187	307.540	307.3	308.3
12:26	307.103	307.557	307.4	307.8
12:33	307.022	307.568	307.5	308.8
12:40	306.955	307.587	307.9	308.5
12:47	306.886	307.598	307.6	309
12:54	306.832	307.618	307.6	309.1
13:01	306.772	307.628	307.7	308.6

* การคิดค่า Ti โดยสมมุติว่าค่า G_{ts} คงที่ตลอดช่วงเวลา 12:00-13:00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.1 แสดงค่า $G_{\downarrow}$ (Gsun)

สูตรหาค่า

$$Gsun = [[0.9 \times (G87 + G88)/2] \times 10^{6}]/3600 \times 100$$

เดือนมีนาคม วันที่	Gsunเวลา11-12 ปี 2530	ปี 2531	Gsunเฉลี่ย	Gsunเวลา12-13 ปี 2530	ปี 2531	Gsunเฉลี่ย
1	0	340	425	0	357	446.25
2	84	356	550	106	347	566.25
3	13	335	435	11	333	430
4	236	336	715	184	311	618.75
5	83	363	557.5	40	356	532.5
6	266	369	763.75	245	282	658.75
7	219	126	431.25	234	119	441.25
8	310	328	797.5	293	338	778.75
9	285	335	775	272	294	707.5
10	316	359	843.75	286	336	777.5
11	225	313	672.5	227	300	658.75
12	282	345	783.75	278	313	738.75
13	71	355	532.5	10	346	445
14	305	387	865	288	366	817.5
15	206	373	723.75	173	358	663.75
16	286	392	847.5	305	372	846.25

* ข้อมูลเหล่านี้ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

* ตารางที่ 4.2 แสดงว่า Gts ที่เวลา 12.00-13.00 น.ของวันที่ 1-16 มี.ค.

วันที่	Gcd	Gcd	Rb	Gc	Gd	Gb	Gts
1	765.68	118.13	0.402	883.81	414.5	31.75	331.57
2	768.01	118.18	0.3943	886.19	460.46	105.79	413.5
3	770.32	118.23	0.3866	888.55	406.09	23.91	319.79
4	772.58	118.27	0.3788	890.85	468.32	150.43	445.83
5	774.81	118.32	0.3711	893.13	454.3	78.2	389.3
6	777.00	118.36	0.3634	895.36	469.06	189.69	468.15
7	779.15	118.40	0.3557	897.55	414.24	27.01	327.04
8	781.25	118.44	0.348	899.7	430.77	347.98	531.17
9	783.32	118.48	0.340	901.8	463.72	243.78	491.62
10	785.34	118.51	0.333	903.85	435.6	341.9	526.03
11	787.32	118.54	0.325	905.86	475.32	183.43	461.96
12	789.24	118.57	0.317	907.81	457.82	280.93	502.65
13	791.12	118.60	0.309	909.72	418.56	26.44	328.7
14	792.96	118.62	0.3018	911.58	417.72	399.78	533.89
15	794.74	118.64	0.294	913.38	479.30	184.45	459.82
16	796.96	118.66	0.286	915.12	399.35	446.9	539.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.3 แสดงค่าต่าง ๆ ของตัวแปร

T_{10} = 319 K	m = 3.05×10^{-3} .0 kg/s
T_{20} = 317.8 K	Seg = 20.475 m^2
T_{30} = 316.6 K	G^*_{ts} = 164.35 w/m^2
T_{40} = 315.4 K	$K_{กระเบื้อง}$ 0.4 w/m^2 k
T_{50} = 314.2 K	α_s = 0.45
T_{60} = 313 K	ρ_a^{**} = 1.1348 kg/m^3
T_{10} = 307.5 K	C_{pa}^{**} = 1007.32 $J/_{kg}$. K
Ts = 314 K	V = 13.2 m^3
Tg = 303.5 K	σ = 5.67×10^{-8} $w/m^2 . K^4$
hi = 2.1865 w/m^2. k	Δx = 0.02 m
hw = 1.59 w/m^2. k	Δt = 436 s

* ค่า G_{ts} ในตารางนั้นคิดจาก 50% ของ G_{ts} ที่คำนวณได้จาก เนื่องจากในการทดลองมีหลังคาเป็นร่มเงาบางส่วน

** เป็นการคิดคุณสมบัติของอากาศที่อุณหภูมิ 310 k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและวิเคราะห์-วิจารณ์การทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้มานั้นจะเห็นว่า อุปกรณ์ Solar Cooling Chimney นั้นยังไม่สามารถทำหน้าที่ได้ตามที่มุ่งหมายไว้ โดยค่าอุณหภูมิที่ได้จากการติดตั้งกับไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney นั้นมีค่าต่างกันเพียง 1-2°C เท่านั้น แตกต่างจากที่มุ่งหมายไว้คือ 4-5°C (ค่านี้ได้จากการทดลองของประเทศออสเตรเลีย ซึ่งทำการทดลองที่ทวีปแอฟริกาเหนือ) ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิจะมีค่าน้อย เมื่อเวลาที่ดวงอาทิตย์แผ่รังสีมากสุด (เวลาประมาณเที่ยง) และจะมาก เมื่อการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ลดลง จากประสบการณ์ที่ได้จากการทดลองและศึกษารายงานการทดลองของต่างประเทศทำให้เราพอจะสรุปสาเหตุของข้อบกพร่อง และความผิดพลาดต่าง ๆ ของ Project ชิ้นนี้ ได้ดังต่อไปนี้

1. สภาพอากาศที่แตกต่างกัน ระหว่างทวีปแอฟริกาเหนือ กับประเทสไทย ในด้านอุณหภูมิ, ความร้อนสัมพัทธ์, ทิศทางลม ฯลฯ ที่มีผลต่อการไหล-หมุนเวียนของอากาศ
2. ขนาดของท่อ ซึ่งเป็นส่วนที่รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาถ่ายเทให้แก่อากาศ มีขนาดที่เล็กจนเกินไป คือมีขนาดพื้นที่ที่รับพลังงานแสงอาทิตย์ = 0.028 m^2 เท่านั้น เมื่อเทียบกับขนาดพื้นที่ของส่วนที่เป็นหลังคา ซึ่งมีพื้นที่ = 5.88 m^2 ทำให้อากาศภายในท่อไม่สามารถถูกทำให้ร้อนได้เพียงพอ ซึ่งจะทำให้การไหลเวียนของอากาศเกิดขึ้นได้น้อย
3. วัสดุที่ใช้ทำเป็นส่วนที่รับพลังงานความร้อนคือ สังกะสี (galvanized steel) มีความสามารถในการดูดกลืนความร้อน ดีไม่เพียงพอ
4. การใช้หลังคาพลาสติกแบบลอนใส มาเป็นตัว cover เป็นสิ่งที่ไม่เหมาะสมเป็นที่สุด ซึ่งอาจถือได้ว่าเป็นข้อผิดพลาดสำคัญที่สุดของการทดลองครั้งนี้ เนื่องจากว่าค่า transmissivity ของหลังคาพลาสติกแบบลอนใส มีค่าสูงไม่เพียงพอ และหากมีบล่อยทิ้งไว้เป็นเวลานานจะทำให้พลาสติกนั้นชุ่น ซึ่งจะลดค่า transmissivity ลงไปอีก (ค่า τ_s ของหลังคาพลาสติก ≈ 0.65) (สาเหตุที่ใช้หลังคาพลาสติกแบบลอนใส ในขั้นแรกเพราะมีราคาถูก-สามารถหาซื้อง่าย-ติดตั้งเข้ากับหลังตาบ้านได้ดี)
5. การทำให้อากาศร้อนเป็นไม่ควรจะใช้ท่อเป็นสื่อกลางถ่ายเท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อน เพราะจะเกิดการสูญเสียความร้อนไปในอีกด้านหนึ่งของท่อ ซึ่งเป็นด้านรับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์

6. การแก้ไขหลังจากสร้างบ้านตัวอย่างเสร็จเรียบร้อยแล้ว เป็นไปได้ยากมาก

7. การทำ Herd ware (บ้านตัวอย่าง & อุปกรณ์ Solar Cooling Chimney) ก่อนที่จะมีการศึกษาทาง Soft Ware (หลักการทั่ว ๆ ไป) ของ Solar Cooling Chimney ที่ดี

การศึกษา-ทดลองเกี่ยวกับอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney ในครั้งนี้ แม้ผลการทดลองออกมาจะไม่ได้ค่าเป็นไปตามความคาดหมาย แต่ก็ทำให้ทราบถึงรูปแบบที่ควรจะเป็นของ Solar Cooling Chimney ต่อไป ซึ่งเราขอเสนอรูปแบบของ Solar Cooling Chimney ที่เหมาะสมจากทฤษฎี-หลักการ-ประสบการณ์ที่ได้ในการศึกษาที่ผ่านมาดังนี้

1. ควรใช้ตัว Cover เป็นกระจก แทนการใช้หลังคาพลาสติกแบบลอนใส เพราะเนื่องจากกระจกมีค่า transmissivity สูงกว่าหลังคาพลาสติก (τ_s กระจก = 0.85 - 0.90 ตามคุณภาพของกระจก) และมีความเหมาะสมกว่าในด้านการใช้งานเป็นระยะเวลานาน เพราะกระจกไม่ขุ่นและการทำความสะอาดจะง่ายกว่า แต่มีข้อที่พึงระวังคือควรมีการซีลตามขอบกระจกกระจกกับหลังคาบ้านให้ดี มิฉะนั้นอาจมีการรั่วซึมเกิดขึ้นภายในบ้านเวลาฤดูฝน

2. ควรทำให้อากาศรับความร้อนจากส่วนรับพลังงานความร้อน และจากดวงอาทิตย์ได้พร้อม ๆ กัน ไม่ควรให้อากาศรับพลังงานความร้อนจากตัวกลางรับพลังงานอีกทอดหนึ่ง เพราะอาจเกิดการสูญเสียระหว่างการถ่ายเทได้

3. ควรเลือกวัสดุที่ใช้ทำตัวรับพลังงานความร้อน ที่มีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานได้ดี (α_s สูง) และสามารถถ่ายเทได้ดี เช่น อาลูมิเนียม. ทองแดง. เหล็กสแตนเลส ในข้อนี้สิ่งที่ควรพิจารณาเป็นสำคัญคือ ทางด้านค่าใช้จ่าย เพราะวัสดุที่มีค่าสูง จะมีราคาแพง (เช่น ทองแดง. สแตนเลส)

4. ควรเพิ่มขนาดของส่วนที่ใช้รับพลังงานความร้อนให้มีค่ามากขึ้น (ค่าเหมาะสมควรมีค่าประมาณ 1/4 หรือ 1/8 ของบริเวณเดียวกับที่ติดตั้ง) การเพิ่มอาจทำได้โดย เพิ่มขนาดของส่วนที่ใช้

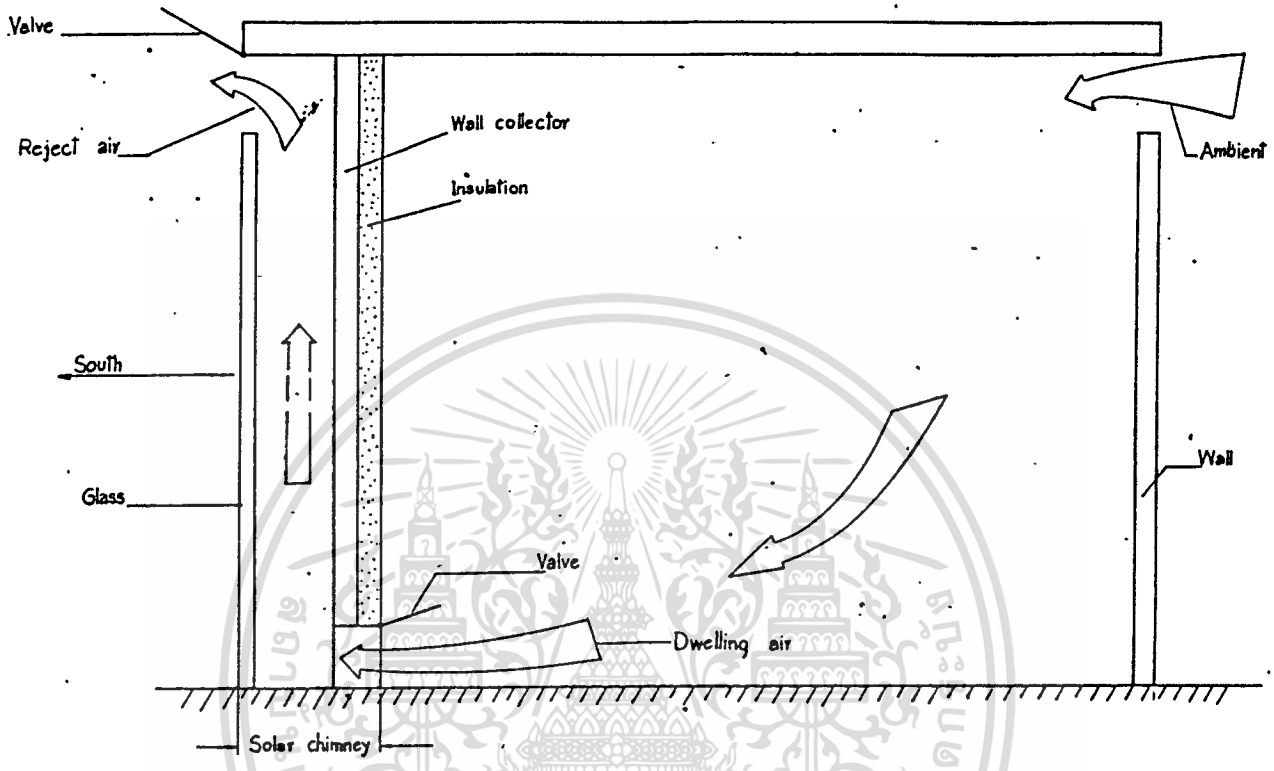
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับพลังงานความร้อนบนหลังคาให้มีค่ามากขึ้น (ควรมีค่า A ~ 1.47 M^2 หรือ 0.735 m^2 (ของการทดลองเดิม)) หรืออาจเปลี่ยนตำแหน่งติดตั้งส่วนที่รับพลังงานความร้อน จากบนหลังคามาเป็นที่ผนังด้านนอกที่ดวงอาทิตย์ส่องถูกโดยตรง (หันไปทางทิศเหนือ) โดยมีการบุฉนวนด้านหลังของส่วนที่รับพลังงาน และทำกรอบกระจกครอบเป็นตัว Cover และมีทางเดินอากาศเข้า-ออกจากกรอบกระจกครอบ

(ข้อ 1-4 ถูกอธิบายโดยรูป 5.1)

จากที่กล่าวมาทั้งหมดนั้น เป็นข้อเสนอแนะแก่บุคคลที่สนใจที่จะพัฒนาอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney ได้ใช้เป็นแนวทางในการศึกษา-สร้างอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney ที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพในการใช้งานในประเทศไทยต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 แสดงแบบบ้านที่เสนอแนะในการศึกษา Solar Cooling Chimney ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

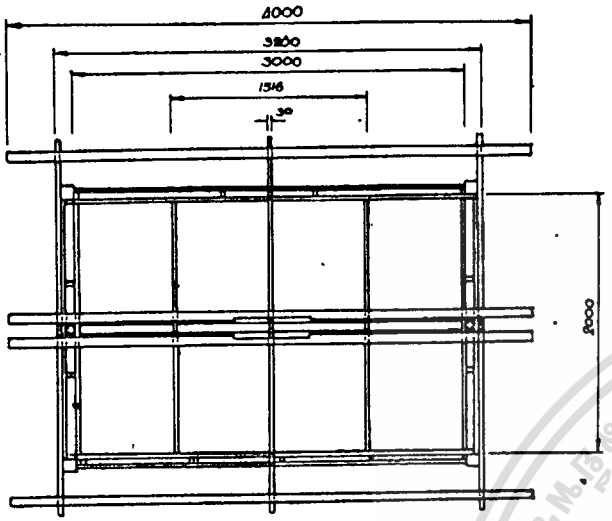
คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ Library & Regional Documentation Center Asian Institute of Technology ซึ่งเอื้อเฟื้อทั้งในด้านคำแนะนำและความสะดวกในการค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบพระคุณอาจารย์อัครเดช สินธุภัค และ Prof. TOSHIO IJIMA ซึ่งช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์, เครื่องมือในการทดลอง ขอขอบพระคุณอาจารย์วราคม เนิดน้อย ที่ให้คำปรึกษาในด้านการคำนวณ และขอขอบพระคุณคุณจุฑาภรณ์ เทียนทอง ที่ช่วยจัดพิมพ์ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนเพื่อนร่วมรุ่นทุกท่านที่ช่วยเหลือในการทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ซึ่งคณะผู้จัดทำขอซาบซึ้ง และจดจำไว้ตลอดไป

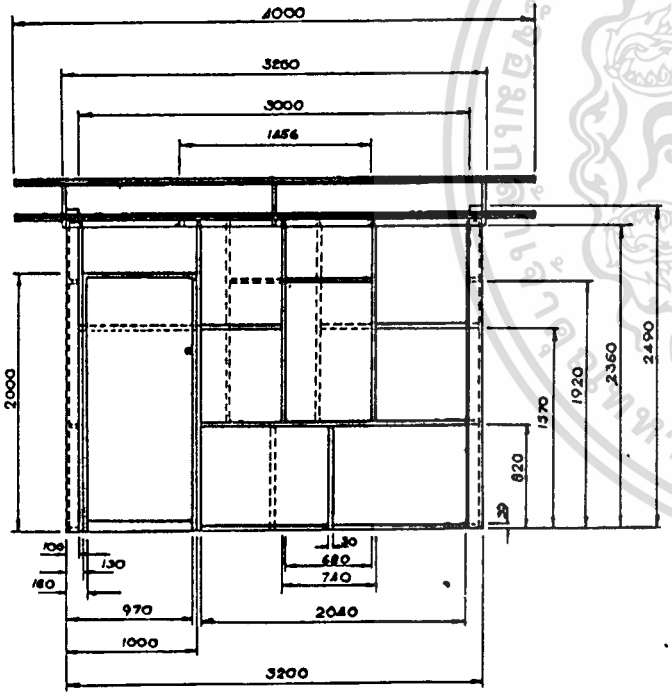
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

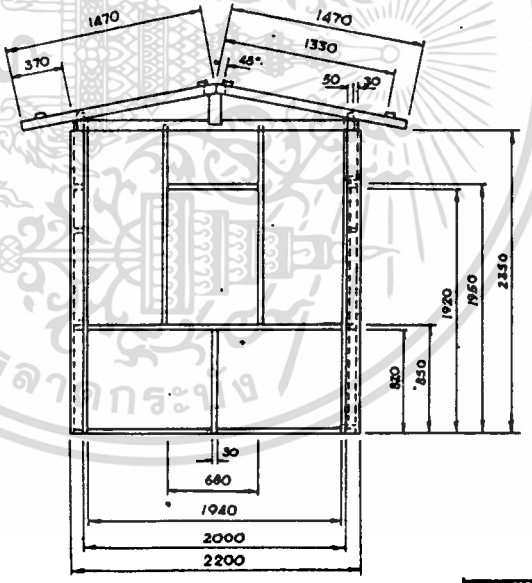
หนังสืออ้างอิง

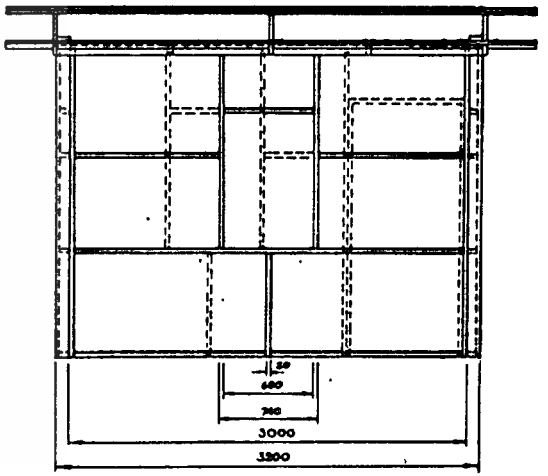
1. Szokolay, S.V.; Sale, R.W., "The Australia and New Zealand Solar Home Bool" : A practical Guide, Australia & New Zealand Book Company, Melbourne, 1979, 130p.
2. Zrikan, ; ilgen, E; "Ventilation of dwellings using solar chimneys in North African clmate", Solar & Wind Tech, Vol4 , No.3, 1978, pp.313-317.
3. Al-Karaghoult, A.; Al-Hamdani, N.; Al-Sinan, W; "Iraqi solar house cooling season performance evaluation", Solar & Wind Tech, vol.6, No.1, 1989, pp.29-40.
4. Canference, Miami Beach, Fla, "Passive Cooling" , Proceeding of the International Passive and Hytrid Cooling, The American section of the International Solar Energy Society, Inc, ix+1052p., 1981, pp.474-477, pp.211-215.
5. J.A.Duffie and W.A.Beckman, "Solar Engineering of Thermal Processes", John Wiley, New York, 1980; pp. 1-77.
6. F.P.Incorpera and D.P.De Witt, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", John Wiley, New York, 1983.
7. N.M.Ozisik, "Basic Heat Transfe", McGraw-Hill, New York, 1977.
8. J.D.Balcomb, "Passive Solar Design Hsndbook", Vol.2, National Technical Information Services. Washingten, 1980.
9. A.W. Al-Khafaji and J.R Tooley, "Numerical Methods in Engineering Practice", HRW International Editions, New York, 1986, pp.548-558.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



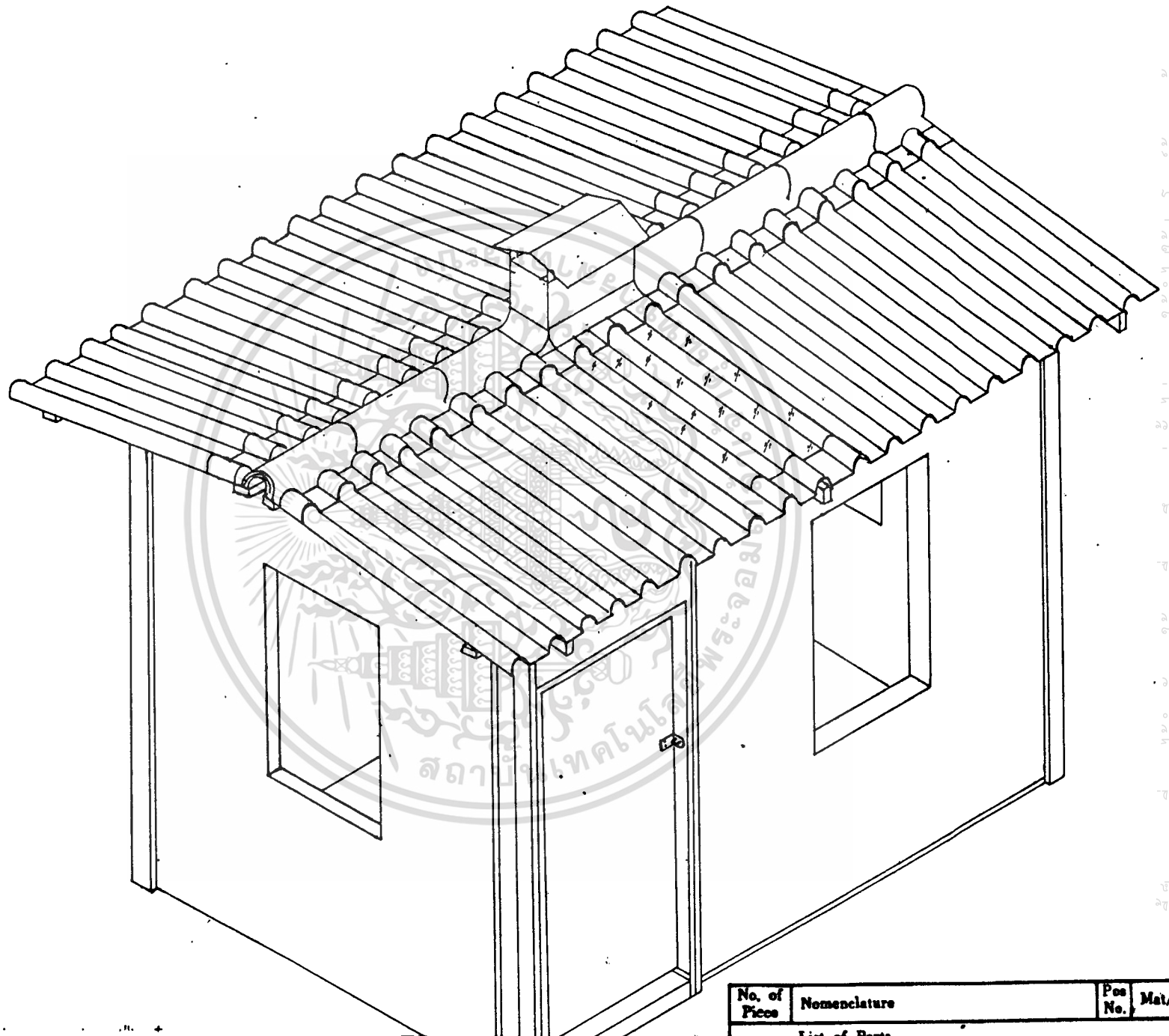






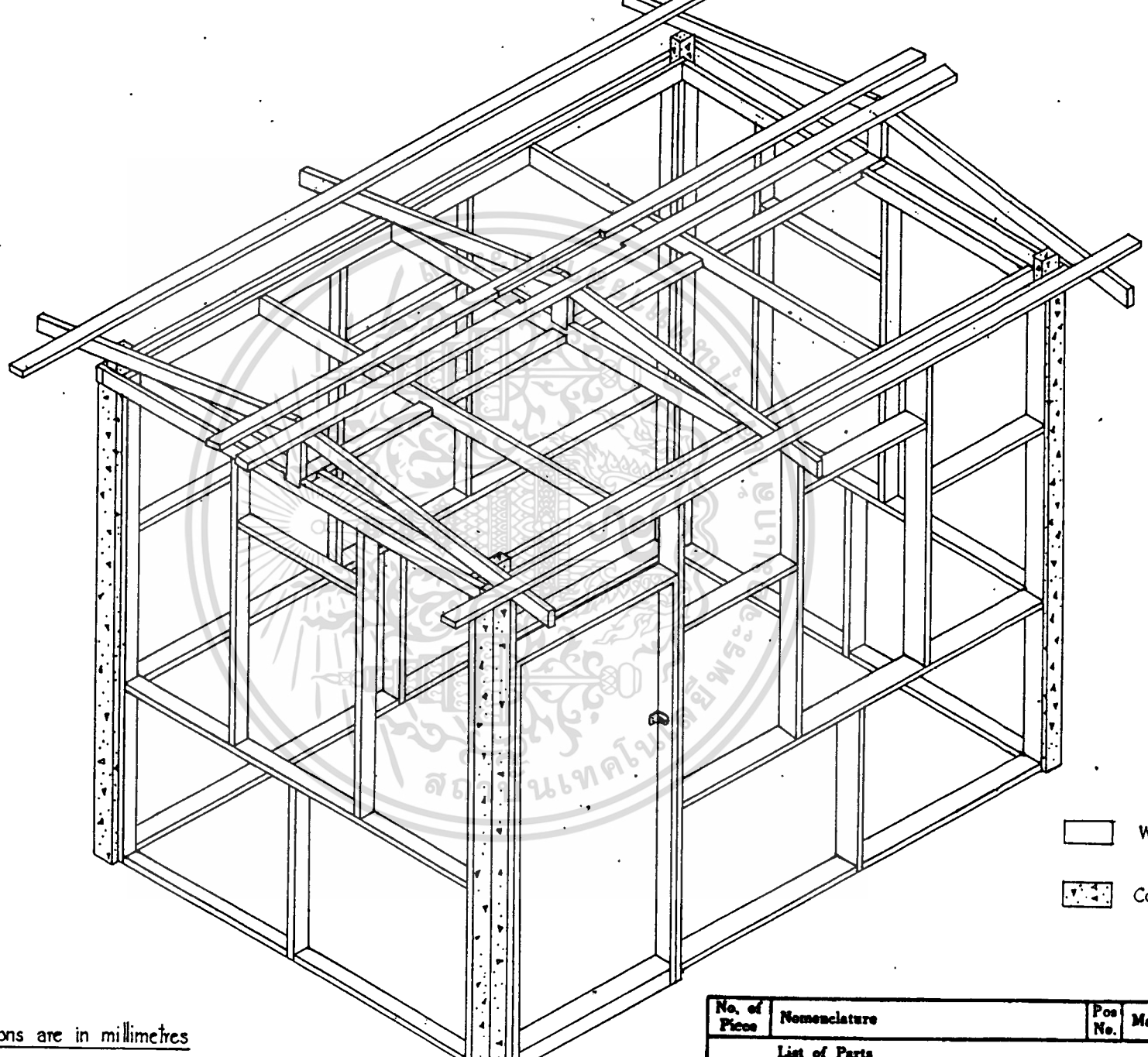
All dimensions are in millimetres

No. of Piece	Nomenclature	Pos No.	Mat/Dim/Misc.
List of Parts			
King Mongkut's Institute of Technology			Name :
Scale 1:30			Date :
			Class :



No. of Piece	Nomenclature	Pos No.	Mat/Dim/Misc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



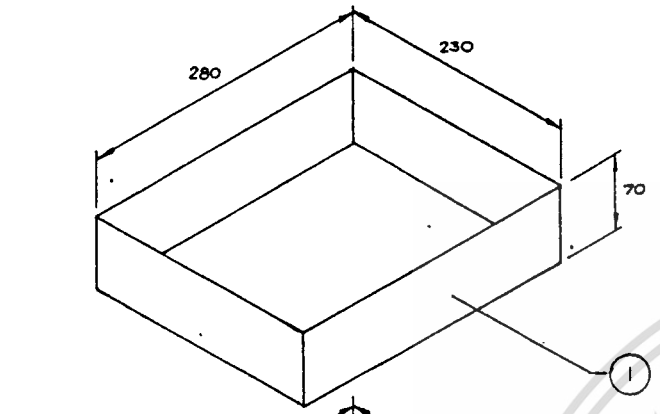
Wood

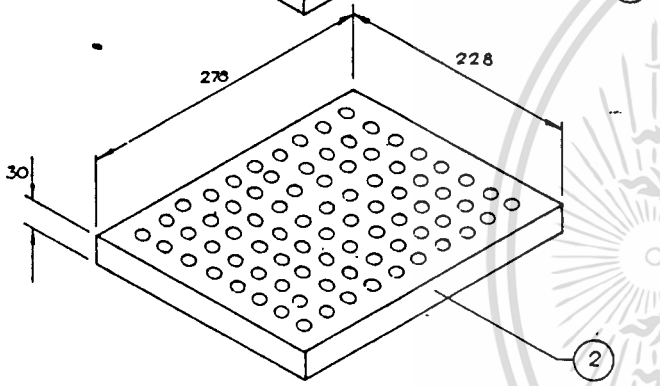
Concrete

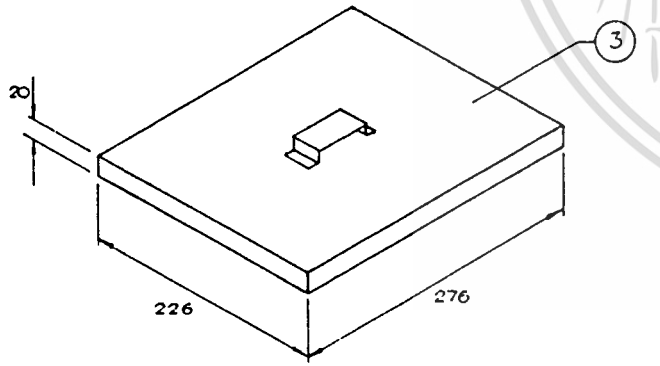
All dimensions are in millimetres

No. of Pieces	Nomenclature	Pos No.	Mat/Dim/Misc.
	List of Parts		

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้







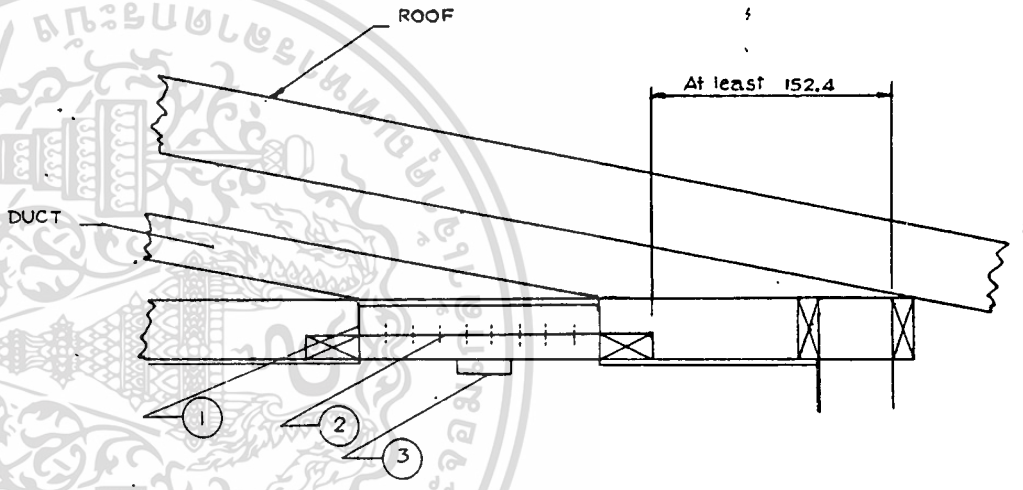
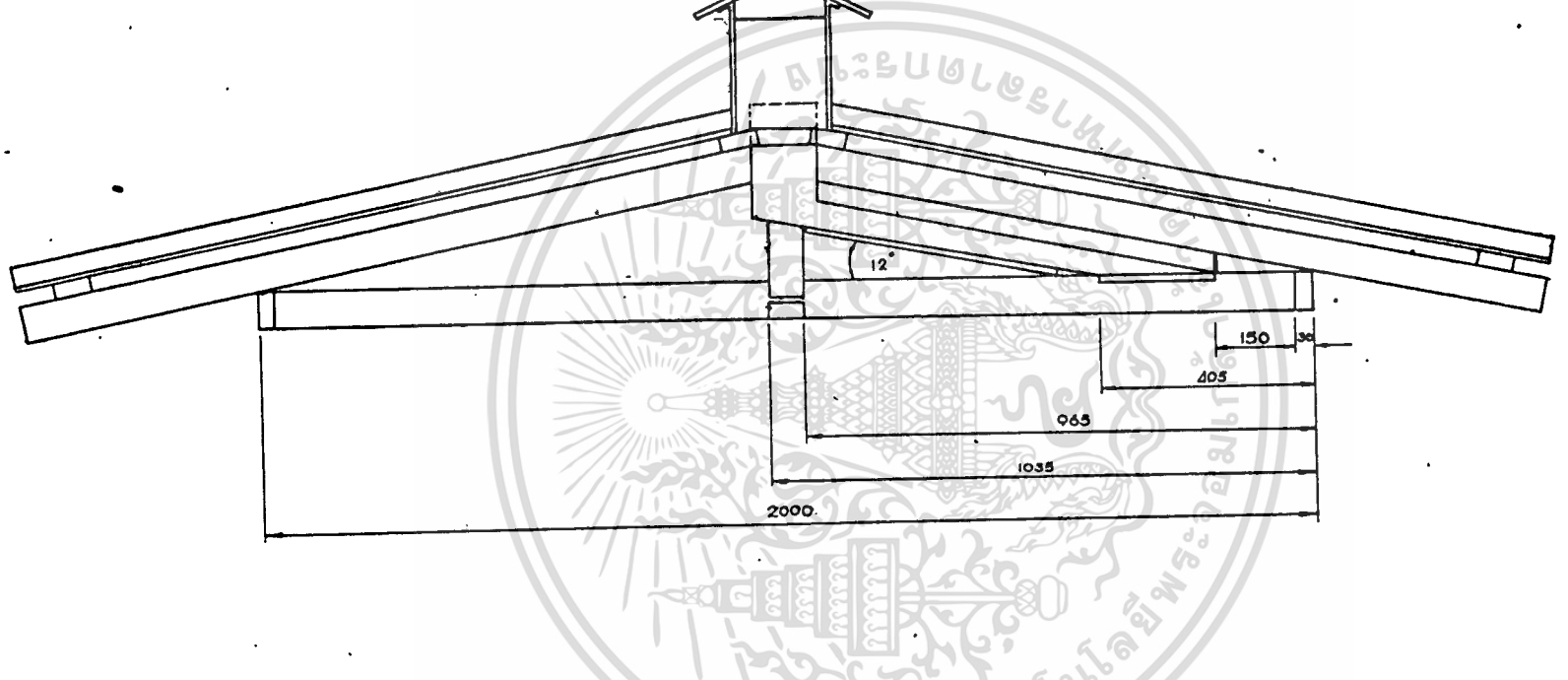


Illustration - Vent Frame, Screening and Door positioning within the rafters.

All dimensions are in millimetres

2	Vent Door	3	Sheet Steel
2	Vent Screening	2	Sheet Steel
2	Vent Frame	1	Sheet Steel
No. of	**Nomenclature**	**Pos**	**Mat/Dim/Misc.**

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

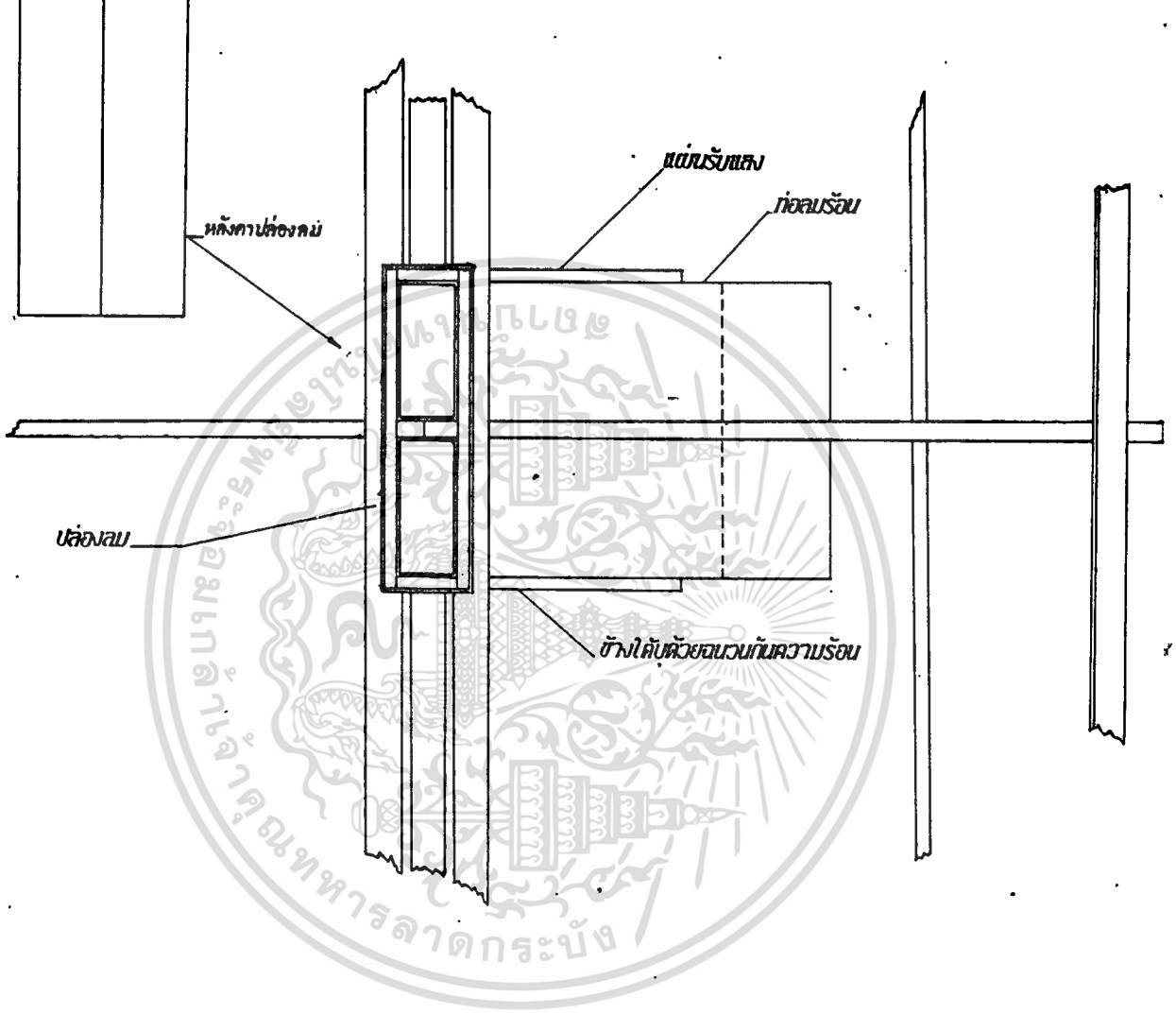


A

FRONT-VIEW

No. of Piece	Nomenclature	Pos No.	Mat / Dim / Misc
	List of Parts		

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

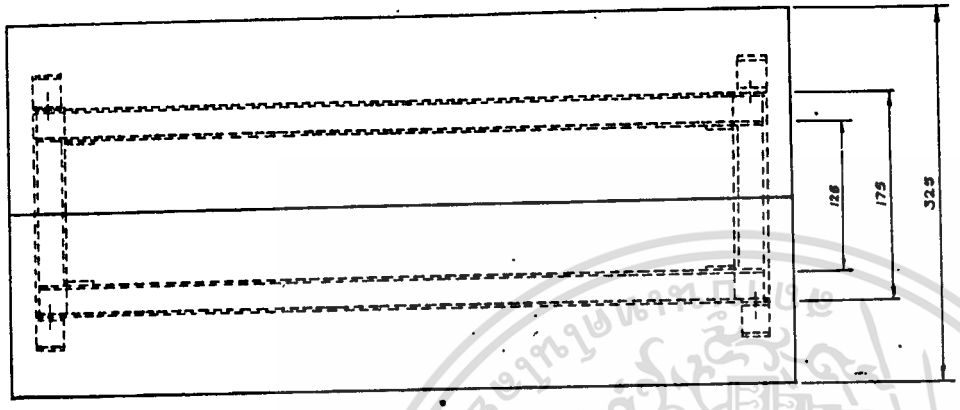


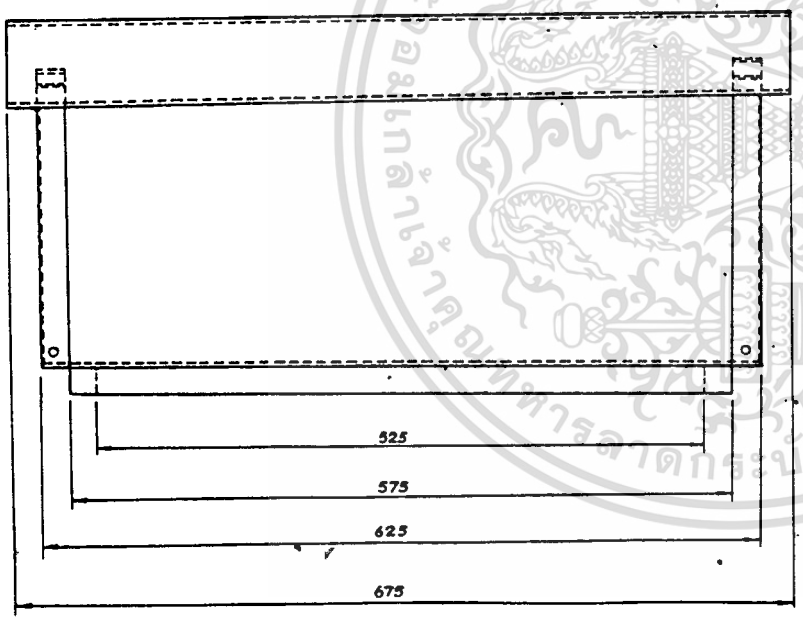
B

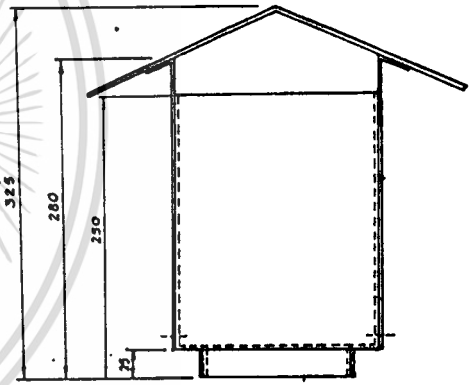
. แสดงตำแหน่งท่อลม,แผ่นรับแสง **TOP-VIEW**

No. of Piece	Nomenclature	Pos No.	Mat'/Dim/Misc
	List of Parts		
	King Mongkut's Institute of Technology		Name :

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

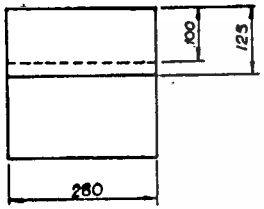


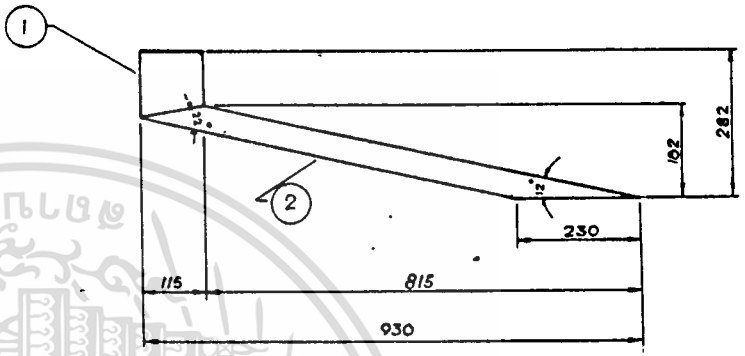


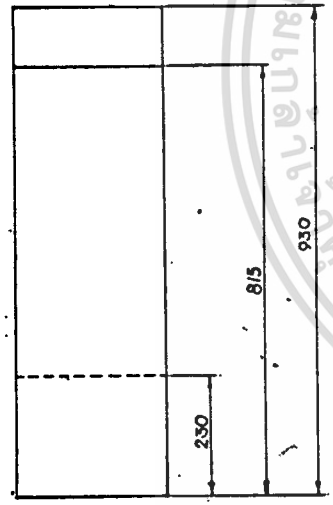


All dimensions are in millimetres

No. of Piece	Nomenclature	Pos No.	Mat/Dim/Misc.
List of Parts			
King Mongkut's Institute of Technology			Name:
Scale	CHIMNEY		Date :
			Class :

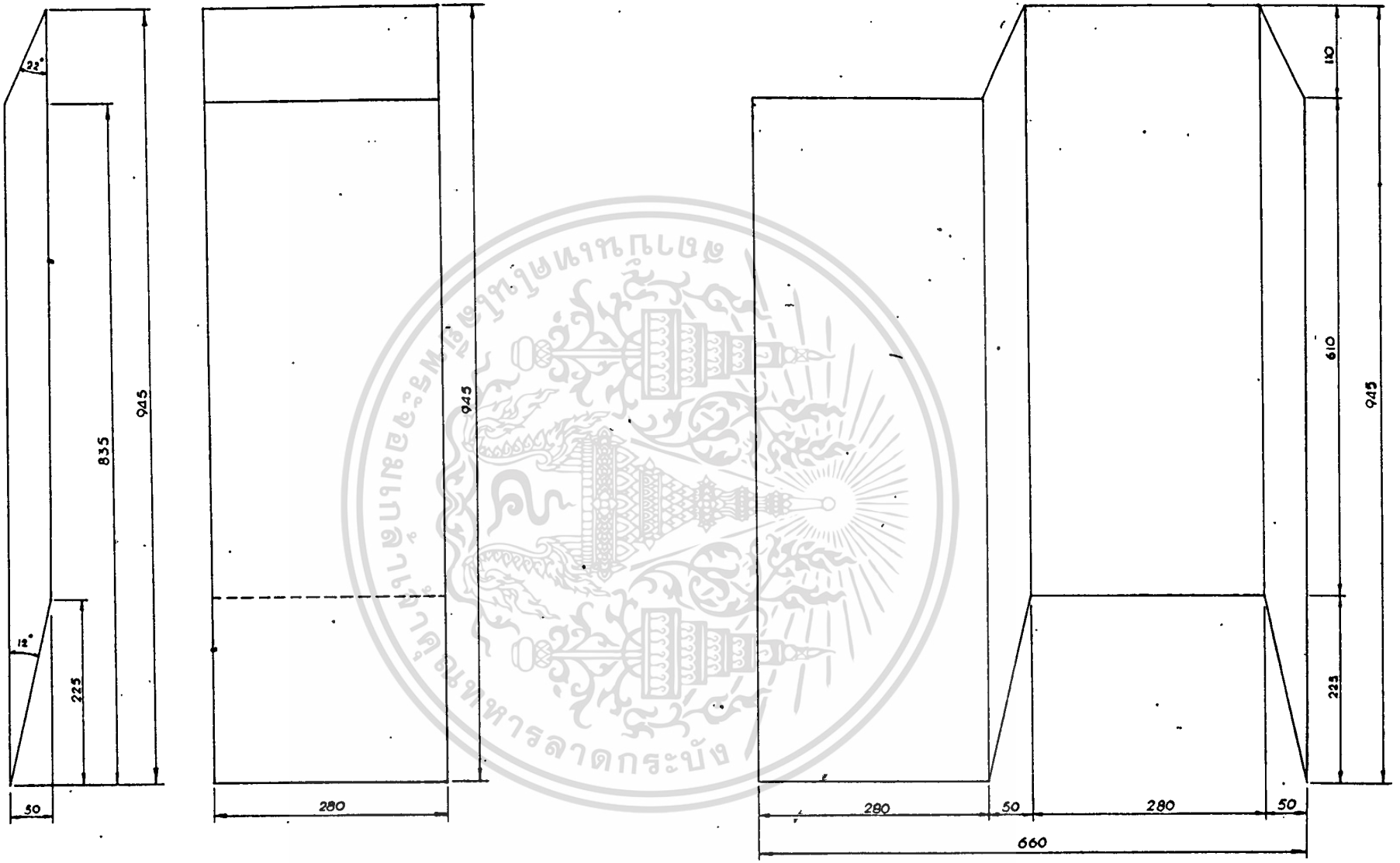




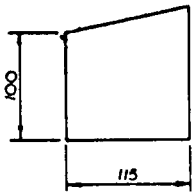


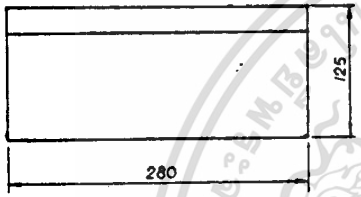
All dimensions are in millimetres

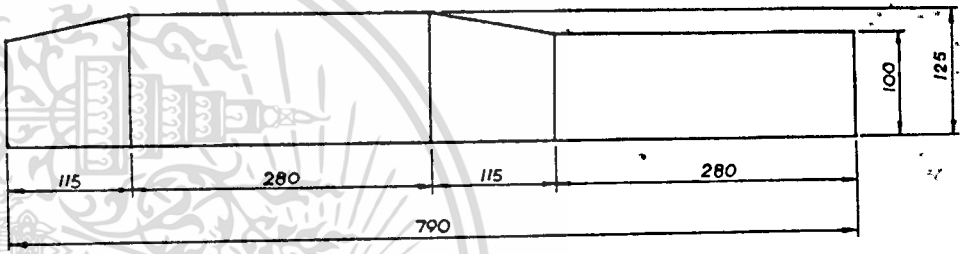
2	DUCT	t	Steel sheet
No. of Pieces	Nomenclature	Pos No.	Mat/Dim/Misc.
List of Parts			
King Mongkut's Institute of Technology			Name:



No. of Pieces	Nomenclature	Pos No.	Mat/Dim/Misc.
List of Parts			
King Mongkut's Institute of Technology			Name:
Scale			Date:







All dimensions are in millimetres

No. of Pices	Nomenclature	Pos No.	Mat/Dim/Misc.
List of Parts			
King Mongkut's Institute of Technology			Name:
Scale	DWG.T. (1)		Date:

ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ห้ามมิให้ผู้ใดนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า