



การประยุกต์ใช้วัสดุธรรมชาติเพื่อเป็นฉนวนกันความร้อนสำหรับอาคาร

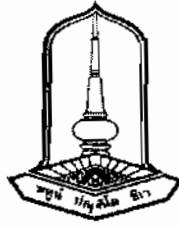
นางสาวอารยา พรหมรักษา

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ (สายพลังงาน)

มีนาคม 2555

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม



The application of natural materials as insulation for buildings

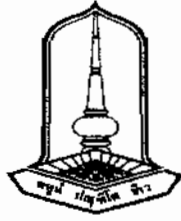
Araya Promraksa

This physics project report present in Partial fulfillment for  
The requirements for the Bachelor Science degree in Applied Physics

At Maharakham University

March 2012

All rights reserved by Maharakham University



การประยุกต์ใช้วัสดุธรรมชาติเพื่อเป็นฉนวนกันความร้อนสำหรับอาคาร

อารยา พรหมรักษา

รายงานปัญหาพิเศษนี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะกรรมการตรวจสอบรายงานปัญหาพิเศษ

..... ประธานกรรมการอาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. อีรพจน์ พุทธิภักดิ์วิวงศ์)

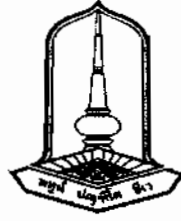
..... กรรมการ

(อ.ดร. นิคม นครเรียบ)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. อนุสรณ์ แสงประจักษ์)

วันที่ 30 เดือน มิถุนายน พ.ศ.2555



The application of natural materials as insulation for buildings

Araya Promraksa

This special project has been approved to be partial fulfillment for requirements for the Bachelor of science degree in Applied Physics

Examining committee

*Thirapote* ..... Chairman

(Assoc.Prof Thirapote Puthikitakawiwong )

*Nicom* ..... Examining Member

(Nakornriab NICOM Dr.Eng.)

*A. Saengprajak* ..... Examining Member and Advisor

(Asst. Prof. Dr. Arnusorn Saengprajak)

Date *April 30, 2012* ,

### กิตติกรรมประกาศ

โครงการฟิสิกส์นี้สำเร็จสมบูรณ์ด้วยความกรุณา และความช่วยเหลือในด้านต่างๆ จากท่าน อาจารย์ ผศ. ดร. อนุสรณ์ แสงประจักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้ความกรุณาให้คำแนะนำในการทำ ปรินต์งานนี้ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขปัญหาต่างๆในปรินต์งานนี้ อย่างเอาใจใส่ในทุกๆ ขั้นตอนในการทำปรินต์งานนี้ และตลอดจนนำเสนอโครงการปัญหาพิเศษนี้ขึ้นนำเสนอ

ขอขอบคุณ คณาจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆ ด้านวิชาการมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ คุณเอกพล เพ็ชรนงก์ เจ้าหน้าที่ประจำโรงฝึกงาน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆ ในงานวิจัยนี้

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้กำลังใจ และสนับสนุนในทุกๆ เรื่องตลอดมา

อารยา พรหมรักษา

ชื่อเรื่อง	การประยุกต์ใช้วัสดุธรรมชาติเพื่อเป็นฉนวนกันความร้อนสำหรับอาคาร
ผู้วิจัย	อารยา พรหมรักษา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อนุสรณ์ แสงประจักษ์
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ (พลังงาน)
สถาบัน	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่พิมพ์ 2555

### บทคัดย่อ

งานวิจัยเป็นการศึกษาการหาค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนแต่ละชนิด โดยแผ่นฉนวนแต่ละชนิดนี้ได้ทำมาจากวัสดุทางธรรมชาติ ได้แก่ แกลบ ไมยราบยักษ์ หญ้าคา และผักตบชวา โดยใช้อัตราส่วน 1:1 มีขนาดความกว้าง 13 cm ความยาว 13 cm และความหนา 2 cm ได้ทำการศึกษาขั้นตอนและวิธีการทำและได้ศึกษาวิธีการวัดค่า และนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนแต่ละชนิด เพื่อให้ทราบว่าแผ่นฉนวนของวัสดุชนิดใดมีค่าการนำความร้อนได้ดีที่สุด แผ่นฉนวนแต่ละแผ่นจะมีค่าความหนาแน่นที่แตกต่างกัน โดยแต่ละชนิดจะมีค่าของความหนาแน่นตั้งแต่ 100 ,150, 200 250 กก / ลบ.ม จากการทดสอบดังกล่าวได้ข้อสรุปว่า แกลบจะมีค่าการนำความร้อนได้ดีที่สุด รองจากแกลบคือหญ้าคา ไมยราบ และสุดท้ายคือผักตบชวา

**คำสำคัญ :** แผ่นฉนวนแต่ละชนิด , ค่าความหนาแน่น , ค่าการนำความร้อน

TITLE The application of natural materials as insulation for buildings  
AUTHOR Miss. Araya Promraksa  
ADVISORS Dr.Arnusorn saengprajak  
DEGREE Bachelor of Science MAJOR Applied Physics  
UNIVERSITY Mahasarakham University DATE 2012

### Abstract

Research study to determine the thermal conductivity of the Insulation types. The insulation panels are made of various materials ,including rice, natural grass and water hyacinth, giant sensitive plant, using a 1:1 ratio of width 13 cm, length 13 cm and 2 cm thick, the study of processes and procedures. And learn how to measure. And applied in this study. This research studied the thermal conductivity of the insulation types. So that the insulation of thermal conductivity of any material best. Insulation sheets, each sheet has a different density. Each species will have a density ranging from 100, 150, 200 250 kg / delete from such tests have concluded that the husk is the best thermal conductivity. The husk is the grass, water hyacinth, mimosa and last.

**Keywords:** Insulation sheet for each type, density, thermal conductivity.

## สารบัญ

บทที่	หน้า
กิตติกรรมประกาศ .....	จ
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ฉ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ช
สารบัญ .....	ซ
สารบัญตาราง .....	ญ
สารบัญภาพประกอบ .....	ฎ
บัญชีสัญลักษณ์ .....	ฐ
<b>1. บทนำ</b>	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	2
<b>2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	3
2.2 ฉนวนความร้อน .....	4
2.3 กระบวนการถ่ายเทความร้อน .....	5
2.4 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ .....	11
<b>3. ขั้นตอนการดำเนินงาน</b>	
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ .....	18
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง .....	18
3.3 กระบวนการเตรียมวัสดุที่ใช้ทดลอง .....	20
3.4 การทดสอบค่าการนำความร้อน.....	23



## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
<b>4. ผลการทดลองและอภิปรายผล</b>	
4.1 ค่าความหนาแน่นของฉนวน .....	26
4.2 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิของฉนวน .....	28
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับค่าการนำความร้อนของวัสดุฉนวน ที่ทำการทดสอบ.....	33
4.4 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับค่าการนำความร้อนของวัสดุฉนวน ที่ทำการทดสอบของวัสดุฉนวนที่ทำการทดสอบ.....	37
<b>5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 สรุปผลการทดลอง .....	41
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	42
<b>บรรณานุกรม .....</b>	<b>44</b>
<b>ภาคผนวก</b>	
ภาคผนวก ก ตารางข้อมูลและค่าการนำความร้อนของวัสดุ .....	46
ภาคผนวก ข วิธีการคำนวณ .....	96
ภาคผนวก ค ภาพประกอบการดำเนินงาน .....	99
<b>ประวัติย่อผู้วิจัย .....</b>	<b>105</b>

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุประกอบอาคาร .....	5
ตารางที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและสมบัติแบบแยกธาตุของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ.....	17
ตารางที่ 4.1.1 แสดงค่าของมวลของแผ่นฉนวนแต่ละชนิด .....	26
ตารางที่ 4.1.2 ตารางค่าความหนาแน่นของแผ่นฉนวนแต่ละชนิด .....	26
ตารางที่ 4.1.2.1 แสดงค่าความหนาแน่นของแกลบ .....	26
ตารางที่ 4.1.2.2 แสดงค่าความหนาแน่นของไมยราบ .....	27
ตารางที่ 4.1.2.3 แสดงค่าความหนาแน่นของหญ้าคา .....	27
ตารางที่ 4.1.2.4 แสดงค่าความหนาแน่นของผักตบชวา .....	27
ตารางที่ 4.2.1 ตารางวิเคราะห์ dT ของฉนวนจากวัสดุธรรมชาติแต่ละชนิด .....	30
ตารางที่ 4.2.1.1 แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยด้านในและด้านนอกของฉนวนหญ้าคา .....	30
ตารางที่ 4.2.1.2 แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยด้านในและด้านนอกของฉนวนแกลบ.....	31
ตารางที่ 4.2.1.3 แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยด้านในและด้านนอกของฉนวนผักตบ .....	31
ตารางที่ 4.2.1.4 แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยด้านในและด้านนอกของฉนวนไมยราบยักษ์ .....	31
ตารางที่ 4.3.1 ตารางค่าการนำความร้อนของฉนวน .....	34
ตารางที่ 4.3.1.1 แสดงค่าการนำความร้อนของแกลบ.....	34
ตารางที่ 4.3.1.2 แสดงค่าการนำความร้อนของไมยราบ.....	34
ตารางที่ 4.3.1.3 แสดงค่าการนำความร้อนของหญ้าคา.....	35
ตารางที่ 4.3.1.4 แสดงค่าการนำความร้อนของผักตบชวา.....	35
ตารางที่ 4.4.1 ตารางค่าความต้านทานความร้อนของฉนวน.....	37
ตารางที่ 4.4.1.1 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของแกลบ.....	37
ตารางที่ 4.4.1.1 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของไมยราบ.....	38
ตารางที่ 4.4.1.1 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของหญ้าคา.....	38
ตารางที่ 4.4.1.1 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของผักตบชวา.....	38

## สารบัญภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า
รูปภาพที่ 2.2.1 แสดงการใช้วัสดุจากธรรมชาติในการสร้างอาคารจากหญ้าคา .....	4
รูปภาพที่ 2.2.2 แสดงการใช้วัสดุจากธรรมชาติในการสร้างอาคารจากใบจาก .....	4
รูปภาพที่ 2.3 แสดงการไหลของความร้อนผ่านฉนวน .....	7
รูปภาพที่ 2.4 แสดงถึงการถ่ายเทอุณหภูมิจาก ณ เวลาเริ่มต้น ไปยัง ณ เวลาสุดท้าย .....	8
รูปภาพที่ 2.5 แสดงการการถ่ายเทความร้อนออกไปสู่สภาวะต่างๆ .....	9
รูปภาพที่ 2.6 แสดงรูปของหญ้าคา.....	11
รูปภาพที่ 2.7 แสดงรูปของผักตบชวา.....	13
รูปภาพที่ 2.8 แสดงรูปของไมยราบ.....	14
รูปภาพที่ 2.9 แสดงรูปของแกลบ.....	16
รูปภาพที่ 3.1 รูปตราชั่งใช้ชั่งหาปริมาณของวัสดุและกาวในการผสม .....	18
รูปภาพที่ 3.2 รูปบีกเกอร์ที่ใช้หาปริมาตรของวัสดุที่ใช้ในการทำฉนวน ขนาด 500 ml .....	19
รูปภาพที่ 3.3 รูปเครื่องบดใช้บดไมยราบยักษ์ ผักตบชวา และ หญ้าคา .....	19
รูปภาพที่ 3.4 เครื่องอัดขึ้นงานใช้ในการอัดขึ้นรูปชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ .....	20
รูปภาพที่ 3.5 แสดงรูปฉนวนแกลบของมวลแต่ละกรัม .....	21
รูปภาพที่ 3.6 แสดงรูปฉนวนไมยราบของมวลแต่ละกรัม .....	22
รูปภาพที่ 3.7 แสดงรูปฉนวนหญ้าคาของมวลแต่ละกรัม .....	22
รูปภาพที่ 3.8 แสดงรูปฉนวนผักตบชวาของมวลแต่ละกรัม .....	23
รูปภาพที่ 3.9 แสดงการวัดค่าของวัตต์อุณหภูมิในแต่ละจุด .....	24
รูปภาพที่ 3.10 เครื่อง Data Logger ใช้ในการวัด .....	25
รูปภาพที่ 3.11 มัลติมิเตอร์ใช้ในการควบคุมการจ่ายกระแสไฟให้กับชุดหลอดไฟฟ้า .....	25
รูปภาพที่ 3.12 เครื่อง Variable Voltage Trans former .....	25
รูปภาพที่ 4.2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิด้านในและด้านนอกของฉนวนแกลบ .....	28
รูปภาพที่ 4.2.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิด้านในและด้านนอกของฉนวนไมยราบ .....	29
รูปภาพที่ 4.2.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิด้านในและด้านนอกของฉนวนหญ้าคา .....	29

## สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
รูปภาพที่ 4.2.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิด้านในและด้านนอกของฉนวนฝักตบชวา .....	30
รูปภาพที่ 4.2.5 ผลต่างอุณหภูมิภายในและภายนอกเฉลี่ยของวัสดุฉนวนธรรมชาติแต่ละชนิด .....	32
รูปภาพที่ 4.2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างมวล (แกน X) และผลต่างของอุณหภูมิผิวด้านในและด้านนอก ของฉนวนจากวัสดุธรรมชาติแต่ละชนิด .....	33
รูปภาพที่ 4.3.1 แสดงค่าการนำความร้อนของฉนวนแต่ละชนิด .....	36
รูปภาพที่ 4.3.2 แสดงค่าเฉลี่ยของค่าการนำความร้อนของแผ่นวัสดุฉนวนธรรมชาติ แต่ละชนิด .....	37
รูปภาพที่ 4.4.1 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวน (R) .....	39
รูปภาพที่ 4.4.2 แสดงค่าความต้านทานความร้อนเฉลี่ยของแผ่นวัสดุฉนวนธรรมชาติ แต่ละชนิด .....	40

### บัญชีสัญลักษณ์

$Q_x$	อัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการนำ $W/m^3$
$\Delta T$	ผลต่างของอุณหภูมิ $^{\circ}C/m$
$A$	พื้นที่ความร้อนไหลผ่าน $m^2$
$K$	ค่าการนำความร้อน $W/m. ^{\circ}C$ หรือ $W/m. K$
$R$	ค่าความต้านทานความร้อน $m^2k/W$
$Q_E$	ค่าการถ่ายเทความร้อนของไฟฟ้า
$I$	กระแส (A)
$V$	ค่าความต่างศักย์ (V)
$P$	กำลังไฟฟ้า (W)
$t$	เวลาที่ใช้ในการปล่อยกระแสไฟฟ้า (S)
$m$	มวลของวัตถุ
$C$	ค่าความจุความร้อนของวัสดุ
$L$	ความหนาของแผ่นฉนวน

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แม้ปัจจุบันประเทศไทยจะเป็นศูนย์กลางของอุตสาหกรรมบางประเภทในภูมิภาคก็ตาม แต่รายได้หลักที่เกิดจากการส่งออกยังอยู่ที่ภาคการเกษตร ซึ่งแต่ละปีจะมีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก บางส่วนนำไปเป็นอาหารสัตว์ ปุ๋ย หรือนำไปแปรรูปเป็นพลังงาน แต่ยังมีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอีกมากที่ต้องเผาทำลาย ไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์อันใดประชากรส่วนใหญ่ของประเทศไทยอาศัยอยู่ในชนบท ซึ่งมีอาชีพเกษตรกรรม สภาพที่อยู่อาศัยของชาวชนบทเหล่านี้มักทำด้วยวัสดุที่ไม่ถาวรและหาได้ง่ายในพื้นที่ใกล้เคียงเช่น ไม้ไผ่ แผก จาก หากมีฐานะดีขึ้นก็จะเปลี่ยนมาใช้วัสดุที่มีอายุการใช้งานนานขึ้น เช่น สังกะสี ซึ่งมักจะมีปัญหาเรื่องความร้อนภายในอาคาร ทำให้อยู่อาศัยไม่สบายหรือบางบ้านอาจจะใช้ไม่จริง อิฐมอญ หรือคอนกรีตบล็อก ซึ่งเป็นวัสดุชนิดเดียวกับที่บ้านพักอาศัยในชุมชนเมืองใช้กันอยู่โดยทั่วไปแต่หากพิจารณาสภาพการทำงานในภาคเกษตรกรรมแล้ว จะเห็นว่าปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเกิดขึ้นในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก และมีความหลากหลาย เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย กากมะพร้าว ชังข้าวโพด ต้นมันสำปะหลังและอื่นๆ เป็นต้น ซึ่งมีหน่วยงานและองค์กรหลายแห่งได้ให้ความสนใจที่จะนำวัสดุเหลือใช้เหล่านี้มาแปรรูปให้เกิดประโยชน์ เช่น ทำเป็นอาหารสัตว์ ผลิตพลังงาน เป็นต้น

ในปัจจุบันการประหยัดพลังงานและการอนุรักษ์พลังงานมีมากขึ้น ทำให้มีการนำเอาวัสดุเหลือใช้มาทำอาคารบ้านพักเพิ่มปริมาณมากขึ้น วัสดุประเภทหนึ่งที่มีการใช้อย่างแพร่หลายเพื่อป้องกันความร้อนและประหยัดพลังงาน คือ ฉนวนกันความร้อน วัสดุฉนวนถูกใช้ในอาคารเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากมีคุณสมบัติป้องกันความร้อนให้กับอาคาร ส่วนใหญ่แล้วเราจะใช้ฉนวนเพื่อการประหยัดพลังงานเพียงอย่างเดียวโดยล้มผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมที่ตามมา โดยวัสดุฉนวนที่มีใช้กันอยู่ทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น อิฐมอญ คอนกรีตบล็อก คอนกรีตมวลเบา กระจกตัดแสง ยิปซัมบอร์ด ไฟเบอร์บอร์ด โยแก้ว ฉนวนโฟม และอลูมิเนียมฟอยล์ ด้วยเหตุผลด้านสิ่งแวดล้อมดังกล่าว การใช้วัสดุธรรมชาติจึงได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น มีงานวิจัยจำนวนมากไม่น้อยที่แสดงให้เห็นว่า การนำเอาวัสดุเหลือใช้จากภาคการเกษตรบางชนิดมาทำเป็นฉนวนกันความร้อน สามารถให้คุณสมบัติของการต้านทานความร้อนได้ใกล้เคียงกับวัสดุสังเคราะห์ตามท้องตลาด [นายกิตติศักดิ์ บัวศรี.2550] นอกจากนี้ งานวิจัยบางชิ้น แสดงให้เห็นว่าวัสดุธรรมชาติแต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนที่แตกต่างกันอีกด้วย [ธนัญชัย ปทุมวรกิจ.2549] อย่างไรก็ตาม การศึกษาก็ยังจำกัดอยู่ที่วัสดุธรรมชาติบางชนิดเท่านั้น ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษานำเอาวัสดุจากธรรมชาติชนิดอื่นๆมาใช้เป็นฉนวนเพิ่มเติม โดย

มุ่งเน้นทำการรวบรวมข้อมูล คุณสมบัติความเป็นฉนวนของวัสดุธรรมชาติต่างๆที่มีในท้องถิ่น เพื่อจัดทำเป็นฐานข้อมูลสำหรับใช้ประโยชน์ในแง่ของการวิจัยและพัฒนาในอนาคตต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุธรรมชาติในท้องถิ่นมาใช้ในการทำฉนวน

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 เพื่อศึกษาวิเคราะห์ปัจจัยการขึ้นรูปของแผ่นฉนวนจากวัสดุธรรมชาติ

1.3.1.1 อัตราส่วนของวัสดุต่อกาวที่ใช้ในกระบวนการอัดแผ่นฉนวน

1.3.1.2 ระยะเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปฉนวนจากวัสดุธรรมชาติ

1.3.1.3 อัตราส่วนที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปฉนวนจากวัสดุธรรมชาติ

1.3.2 ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นฉนวน

1.3.2.1 ค่าความหนาแน่น (Density)

1.3.2.2 ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity)

1.3.2.3 ประเมินและสรุปผลการทดสอบ

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความเข้าใจหลักการในการทำฉนวนจากวัสดุทางธรรมชาติมากขึ้น
2. เพื่อเพิ่มทางเลือกในการนำวัสดุทางธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์และเป็นการเพิ่มแนวทางในการสร้างมูลค่าของวัสดุทางธรรมชาติ
3. เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติของวัสดุทางธรรมชาติในการนำมาใช้เป็นฉนวนกันความร้อน

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

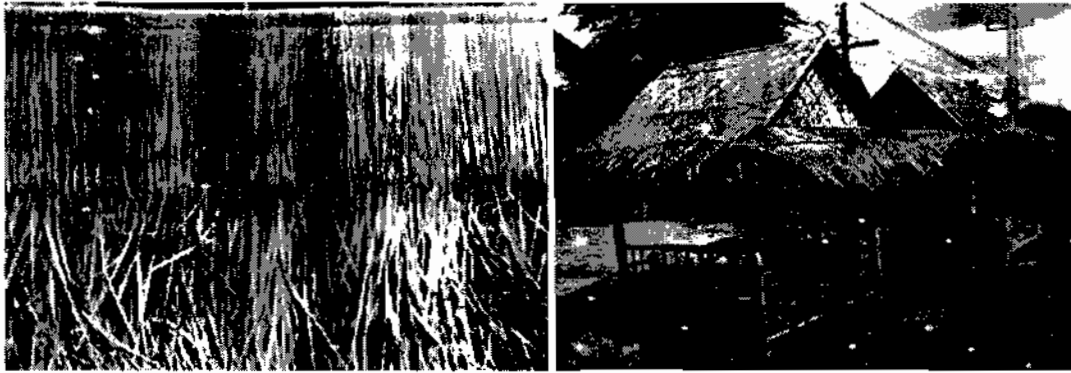
#### 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการประยุกต์ใช้วัสดุทางธรรมชาติเพื่อใช้เป็นฉนวนกันความร้อนนี้เป็นการนำเอาวัสดุเหลือใช้มาทำให้เกิดประโยชน์ โดยการทำฉนวนจากวัสดุจากธรรมชาติที่ระดับความหนาแน่นต่างกัน เพื่อหาความหนาแน่นที่สามารถลดการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด การขึ้นรูปแผ่นฉนวนความร้อนจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพื่อประหยัดพลังงานและการนำความร้อนต่ำ มีผู้ได้ทำการศึกษาวิจัยไว้ดังต่อไปนี้ ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนอาคาร<sup>(1)</sup> จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ การนำเส้นใยมาใช้ประโยชน์และการนำชิ้นวัสดุหรือลำต้นมาใช้ประโยชน์ ซึ่งบทความนี้เป็นการเสนอผลการศึกษาความเป็นไปได้การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสองชนิด คือ ชังข้าวโพดและต้นมันสำปะหลังมาใช้ประโยชน์ทั้งในลักษณะเป็นแผ่นฉนวนที่ผนังอาคารเพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคารและใช้เป็นแผ่นผนังอาคารเพื่อทดแทนวัสดุอื่น เช่น ไม้อัด เนื่องจากวัสดุจำพวกเส้นใยนั้นต้องนำเข้าจากไอโซไซยาเนตจากต่างประเทศ [วรรณธรรม อุ๋นจิตติชัย.2548]โดยมีความหนาแน่นในระดับต่าง ๆ ตั้งแต่ 200 400 และ 800 กก./ลบ.ม.ผลการทดสอบพบว่า ฉนวนที่มีความหนาแน่นน้อยสามารถลดความร้อนได้ดีกว่าฉนวนชนิดเดียวกันที่มีความหนาแน่นมาก การผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากฟางข้าว<sup>(2)</sup> การผลิตแผ่นฉนวนความร้อนที่มีความหนาแน่นระหว่าง 400-800 Kg/m<sup>3</sup> ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า แผ่นฉนวนความร้อนจากฟางข้าวจัดเป็นฉนวนความร้อน ที่ดีประเภทหนึ่ง ซึ่งพิจารณาจากค่าการนำความร้อนที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0564 และ 0.0957 W/m.K ขึ้นอยู่กับความหนาแน่น ค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวน มีแนวโน้มลดลงเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนใยพารา<sup>(3)</sup> เป็นกระบวนการผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยเซลลูโลสของใยพารา เพื่อศึกษาลักษณะเส้นใยใยพารา และพัฒนาไปสู่การผลิตแผ่นฉนวนที่เกษตรกรสามารถทำเองได้ง่าย และใช้งานได้จริง หากเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด อุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ทำการติดตั้งฉนวนความร้อนทั้ง 4 ประเภท สามารถช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้ดี โดยที่ฉนวนใยพาราสามารถลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารจากผลต่างที่ลดลงของอุณหภูมิชั่วโมงสะสมอุณหภูมิอากาศภายในของฉนวนความร้อนที่ทำการทดลองพบว่า ฉนวนความร้อนที่ผลิตจากใยพารา มีผลต่างจากฉนวนใยแก้ว ฉนวนใยเซลโลกรีต และฉนวนโพลียูรีเทนโฟม ตามลำดับ โดยฉนวนใยพารา มีค่าอุณหภูมิชั่วโมงสะสมใกล้เคียงกับฉนวนใยแก้วมากที่สุด จึงทำให้ทราบได้ว่าฉนวนใยพารามีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนใกล้เคียงกับฉนวนใยแก้ว ดังรูปภาพที่ 2.1 และ 2.2 แสดงการใช้วัสดุจากธรรมชาติในการสร้างสิ่งปลูกสร้างจากหญ้าคาและใบจา

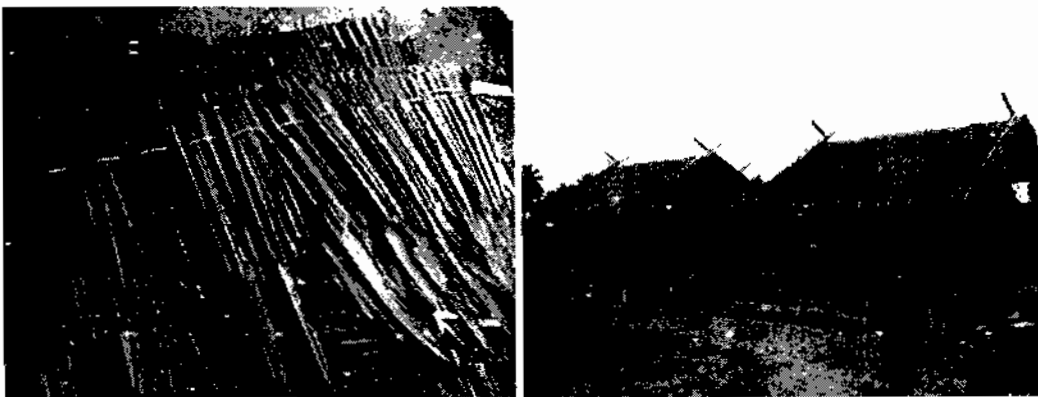


## 2.2 ฉนวนความร้อน (Thermal Insulation)

ฉนวนกันความร้อนเป็นวัสดุที่ใช้เพื่อการประหยัดพลังงานที่สำคัญ เกือบทุกอาคารใช้เป็นฉนวนกันความร้อนในการควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ ฉนวนกันความร้อนมีสมบัติในการสกัดการส่งผ่านความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง ในการใช้งานอาจใช้รักษาความร้อนและความเย็น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของฉนวนและลักษณะการใช้งานฉนวนนั้นๆ เช่นฉนวนกันความร้อนในอุตสาหกรรมแช่แข็ง ตลอดจนการขนส่งอาหารที่ต้องใช้ฉนวนในการรักษาความเย็นของห้องบรรจุอาหาร สำหรับอุณหภูมิอาคาร สิ่งก่อสร้างอาจทำหน้าที่หลายๆอย่าง เช่น ป้องกันความร้อน ป้องกันเสียง ป้องกันไฟ สภาวะภูมิอากาศของประเทศไทยมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น อากาศภายนอกมีอุณหภูมิสูง ดังนั้นเพื่อให้ภายในอาคารมีสภาพเหมาะสมต่อการอยู่อาศัยและเกิดภาวะความสบาย จึงต้องลดความร้อนที่จะเข้ามาภายในอาคาร การใช้ฉนวนกันความร้อนสำหรับประเทศไทยจึงมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้ามายังภายในสิ่งปลูกสร้าง



รูปภาพที่ 2.2.1 แสดงการใช้วัสดุจากธรรมชาติในการสร้างอาคารจากหญ้าคา



รูปภาพที่ 2.2.2 แสดงการใช้วัสดุจากธรรมชาติในการสร้างอาคารจากใบจาก

ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุประกอบอาคาร

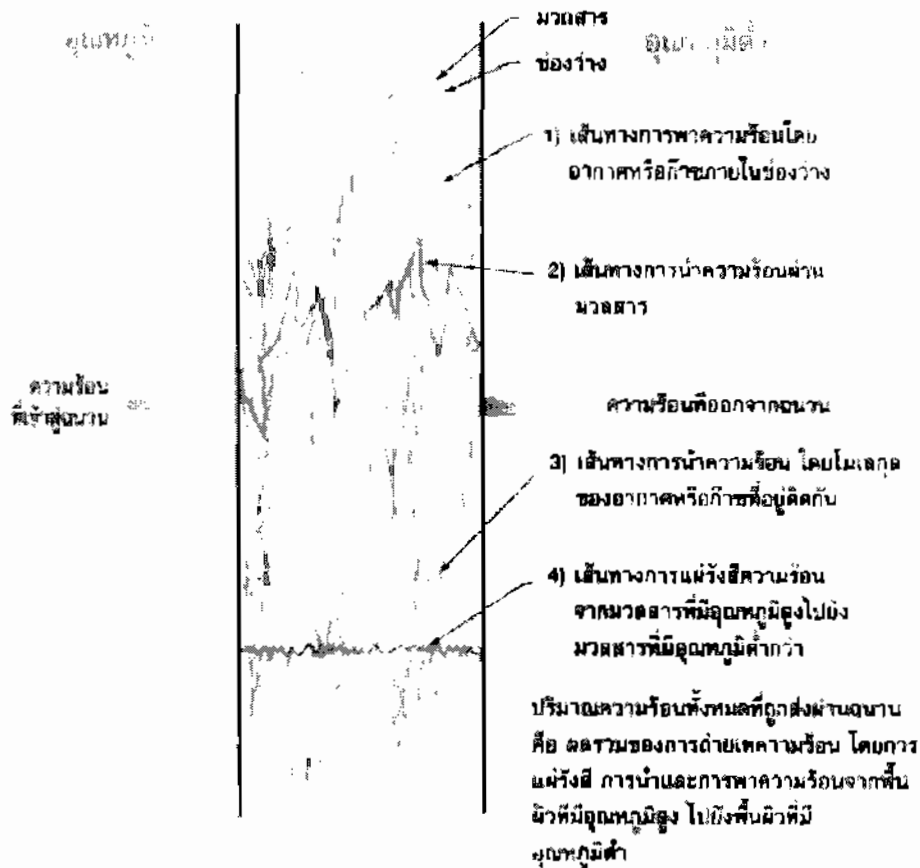
วัสดุประกอบอาคารตามท้องตลาด									
รายการวัสดุ	ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	ฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว	ฉนวนเยื่อกระดาษ ๒ นิ้ว	แผ่นสะท้อนความร้อน Aluminium Foil	ยิบซัมบอร์ด + แผ่นสะท้อนความร้อน	โฟมโพลีเอทิลีน	โฟมโพลียูรีเทน	โฟมโพลีสไตรีน	เซรามิคโคตติ้ง
ค่าการนำความร้อน (Conductivity – K value) (W/m.K)	0.035( ๒ นิ้ว) 0.0365 (๒ นิ้ว) 0.033 (แผ่น)	0.0365	0.029 - 0.045	-	0.19 + Foil	<0.023	0.017 – 0.045	0.035	-
ค่าการต้านทานความร้อน (Resistivity – R value) (m <sup>2</sup> K/W)	1.392	2.334	1.875	-	0.04 + Foil	-	9.09	0.70 - 0.85	-

### 2.3 กระบวนการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)

การถ่ายเทความร้อนระหว่างวัสดุสามารถเกิดขึ้นได้เมื่ออุณหภูมิของวัตถุทั้งสองแตกต่างกัน สำหรับวัสดุของอาคารที่สัมผัสกับอุณหภูมิอากาศภายนอกและรังสีอาทิตย์นั้น ผิวสัมผัสด้านนอกจะดูดซับความร้อนไว้ทำให้บริเวณดังกล่าวมีอุณหภูมิสูงขึ้นมากกว่าอุณหภูมิพื้นผิวที่อยู่ใกล้เคียงและอุณหภูมิของอากาศภายนอก จึงเป็นผลให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอากาศภายนอกและพื้นผิวสัมผัสของวัสดุอาคารด้านนอก พลังงานความร้อนบางส่วนจึงเกิดการสูญเสียให้แก่อาคารภายนอก โดยเกิดการพา (Convection) และพื้นผิวด้านในข้างด้วยการแผ่รังสีความร้อน (Radiation ) และขณะเดียวกันพลังงานความร้อนบางส่วนจะถ่ายเทให้กับผิวสัมผัสที่อยู่ติดกันที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าโดยการ

นำ (Conductivity) ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทไปในแต่ละทิศทางนั้น ขึ้นอยู่กับความต้านทานความร้อน และมวลของวัสดุ อุณหภูมิอากาศภายนอกและรังสีความร้อน จะส่งผลให้อุณหภูมิด้านนอกวัสดุอาคาร ร้อน และเกิดความไม่คงที่ของการถ่ายเทความร้อนผ่านโครงสร้างจากกระบวนการนี้จึงทำให้เกิดฉนวน ต่างๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับความต้านทานความร้อนและค่าความจุความร้อนของวัสดุอาคารชนิดนั้นๆ กลไกที่ เกิดขึ้นภายในฉนวนมวลสารเกิดขึ้นได้โดยช่องเล็กๆที่อยู่ภายในวัสดุและลักษณะเป็นโพรงอากาศ ที่ทำ หน้าที่ต้านทานการไหล (Flow) ของอากาศหรือก๊าซทำให้มีความร้อนเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่จะสามารถ ถ่ายเทผ่านจากด้านหนึ่งของวัสดุไปยังอีกด้านหนึ่งโดยกระบวนการพาความร้อนได้ เมื่อพิจารณา กระบวนการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นภายในฉนวนที่มีค่าความหนาแน่นของฉนวนกับความร้อนเป็น สัดส่วนกับความพรุน สภาพการต้านทานความร้อนที่เกิดขึ้นจะลดลง เนื่องจากการพาความร้อนโดย อาศัยอากาศภายในฉนวนกับความร้อนนั้นลดลง เพราะการลดขนาดของช่องอากาศระหว่างเส้นใย ทำให้ อากาศภายในฉนวนกับความร้อนหยุดนิ่งไม่เคลื่อนที่จนมีสภาพการเป็นฉนวนกับความร้อนอย่างดี ถึงแม้ว่าภายในเซลล์บางส่วนจะเกิดการแผ่รังสีความร้อนระหว่างเส้นใยแต่ละเส้นภายในฉนวนนั้นก็ตาม เมื่อความหนาแน่นของวัสดุเพิ่มขึ้น การแผ่รังสีตามทิศทางเคลื่อนที่ของความร้อนจะลดลง เนื่องจาก ผลของอุณหภูมิที่มีเส้นใยติดกันมีค่าใกล้เคียงกัน

เมื่อความหนาแน่นของฉนวนกับความร้อนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ การเกิดการแผ่รังสีความร้อนระหว่าง เส้นใยและพื้นผิวสู่พื้นผิวจะลดลงทำให้สภาพการนำความร้อนลดลงด้วย การนำความร้อนที่เพิ่มขึ้นจาก ผลของความหนาแน่นของวัสดุที่เพิ่มขึ้น สภาพการนำความร้อนจะเริ่มเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในการใช้ฉนวนมวลสารนั้นจะมีค่าความหนาแน่นของวัสดุที่ใช้ผลิตฉนวนกับความร้อน แต่ละประเภท ฉนวนกับความร้อนที่ดีควรเป็นฉนวนความร้อนที่มีค่าสภาพการนำความร้อนต่ำ



รูปภาพที่ 2.3 แสดงการไหลของความร้อนผ่านฉนวน

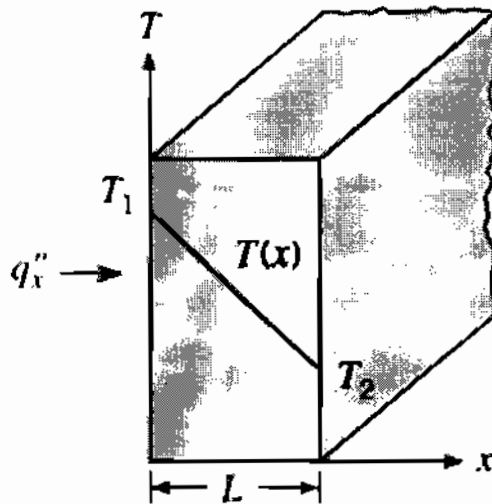
### 2.3.1 การนำความร้อน ( heat conduction)

การนำความร้อนคือ ปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทภายในวัตถุหนึ่ง ๆ หรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกัน โดยมีทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่ตัวกลางไม่มีการเคลื่อนที่

การนำความร้อนเป็นกระบวนการ ที่เกิดขึ้นบนชั้นอะตอมของอนุภาค เป็นหนึ่งในกระบวนการถ่ายเทความร้อน ในโลหะ การนำความร้อนเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ(คล้ายการนำไฟฟ้า)ในของเหลวและของแข็งที่มีสภาพการนำความร้อนต่ำเป็นผลมาจากการสั่นของโมเลกุลข้างเคียง ในก๊าซ การนำความร้อนเกิดขึ้นผ่านการสั่นสะท้อนระหว่างโมเลกุลหรือกล่าวคือการนำความร้อนเป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อนผ่านโดยตรงจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งโดยการสัมผัสกัน เช่น การเอามือไปจับกาน้ำร้อน จะทำให้ความร้อนจากกาน้ำถ่ายเทไปยังมือ จึงทำให้รู้สึกร้อน เป็นต้น วัสดุใดจะนำความร้อนดีหรือไม่ดี ขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k)

### 2.3.2 ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณ

ค่าการนำความร้อน เราวัดความสามารถในการนำความร้อนของสาร ด้วยปริมาณที่เรียกว่า ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) หรือ  $k$  มีหน่วยเป็น  $W/m^{\circ}C$  หรือ  $W/m.K$  สารที่มีความสามารถในการนำความร้อนสูง เช่น โลหะ จะมีค่า  $k$  สูง ส่วนสารที่มีความสามารถในการนำความร้อนสูง เช่น สารพวกอโลหะจะมีค่า  $k$  ต่ำ  $k$  จะมีคุณสมบัติประจำตัวของสารต่างๆโดยการเปรียบเทียบค่า  $k$  ของสารเหล่านั้น สารที่มีค่า  $k$  สูงจะเรียกว่าตัวนำ สารที่มีค่า  $k$  ต่ำจะเรียกว่าฉนวน ที่ทำการเปรียบเทียบการหาค่าของอุณหภูมิได้ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปภาพที่ 2.4 แสดงถึงการถ่ายเทอุณหภูมิจาก ณ เวลาเริ่มต้น ไปยัง ณ เวลาสุดท้าย

หลักการคำนวณเกี่ยวกับการนำความร้อนใช้กฎฟูเรียร์ (Fourier ' s law) คือ

$$k = - \frac{Q_x}{A(\Delta T)} \quad (2.1)$$

โดย	$Q_x$	คือ	อัตราการไหลของความร้อนโดยการนำ	$W/m^3$
	$\Delta T$	คือ	ผลต่างของอุณหภูมิ	$^{\circ}C/m$
	$A$	คือ	พื้นที่ความร้อนไหลผ่าน	$m^2$
	$K$	คือ	ค่าการนำความร้อน	$W/m.^{\circ}C$ หรือ $W/m.K$

### 2.3.3 ความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance, R )

ค่าความต้านทานความร้อนหรือ R Value ของวัสดุแปรผันตามมวลความหนาและค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ สิ่งสำคัญคือค่าความต้านทานความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามมวลความหนาของวัสดุ (แต่ค่าสัมประสิทธิ์ยังคงเดิม) ค่าความต้านทานความร้อนมีหน่วยเป็น  $m^2K/W$ . ค่าความต้านทานความร้อน หรือ ค่า R ของวัสดุก่อสร้างย่อมส่งผลต่อลักษณะของโครงหลังคาและตัวอาคาร อย่างไรก็ตามวัสดุต่างๆเช่น อิฐบล็อก คอนกรีต กระจ่าง ไม้และเหล็ก มักจะไม่ค่อยมีความต้านทานความร้อนมากนัก

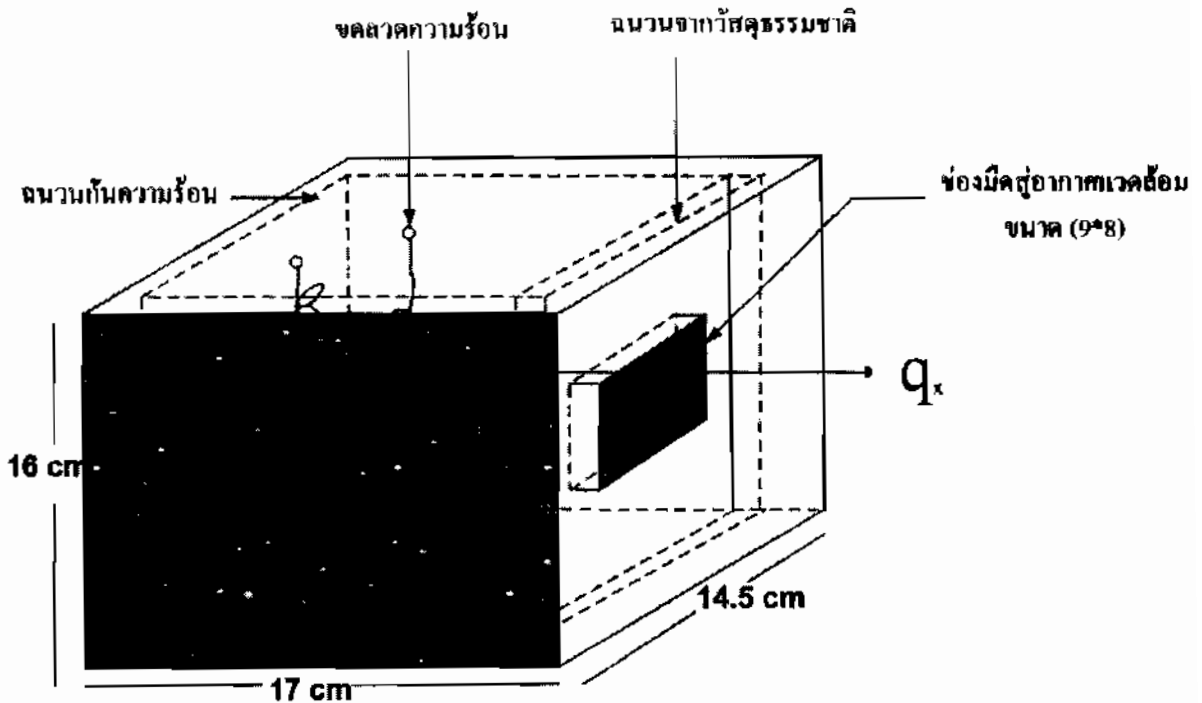
ค่าความต้านทานความร้อน จะบ่งบอกถึงสภาพของการเป็นฉนวนกันความร้อนของวัสดุ หาได้จาก

$$R = \frac{1}{k}$$

โดย ถ้าหากค่า R ของวัสดุสูง แสดงว่าวัสดุนั้นจะเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี

### 2.3.4 สมดุลพลังงานสำหรับการทดสอบค่าการนำความร้อนของวัสดุ

เกิดจากการจ่ายกระแสไฟให้กับขดลวด เมื่อขดลวดได้รับกระแสไฟก็ทำให้ขดลวดเกิดความร้อนขึ้น ความร้อนที่ได้จากขดลวดจะไหลสู่อากาศภายในกล่อง และผนังทั้ง 5 ด้านของกล่อง และจากนั้นจะไหลเข้าไปเก็บสะสมไว้ในแผ่นฉนวน ฉนวนฉนวนจะทำหน้าที่เก็บสะสมความร้อนไว้เมื่อความร้อนที่ถูกเก็บสะสมมากพอเกินกว่าแผ่นจารับไหวจากนั้นความร้อนจะค่อยๆไหลออกสู่อากาศภายนอกกล่องทางช่องมีดสู่อากาศ ดังรูปภาพที่ 2.5



รูปภาพที่ 2.5 แสดงการการถ่ายเทความร้อนออกไปสู่ภาวะต่างๆ

จะได้สมการในการหาดังนี้

$$Q_E = Q_{Air} + Q_{Wall} + Q_{Insl} \quad (2.2)$$

ในการทดสอบความร้อนในกล่องทดสอบเกิดจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ขดลวดความร้อน ปริมาณความร้อนของ  $Q_E$  หาได้จาก

$$Q_E = Pt = Vit$$

เมื่อ	I	คือ	กระแส (A)
	V	คือ	ค่าความต่างศักย์ (V)
	P	คือ	กำลังไฟฟ้า (W)
	t	คือ	เวลาที่ใช้ในการปล่อยกระแสไฟฟ้า (S)

อากาศในกล่องเปลี่ยนไปในทิศทางที่เพิ่มขึ้น โดยความร้อนที่ส่งผ่านไปยังฉนวน หาได้จากสมการที่ 2.2 จะได้ว่า ในการหาค่า  $Q$  แต่ละค่าจะหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Q_{Air} = m_{air}c_{air}\Delta T_{air}$$

เมื่อ	m	คือ	มวลของวัตถุ
	c	คือ	ค่าความจุความร้อนของวัสดุ
	$\Delta T_{air}$	คือ	ผลต่างระหว่างอุณหภูมิ ณ เวลาเริ่มต้น( $T_1$ ) และอุณหภูมิ ณ เวลาสุดท้ายที่พิจารณา ( $T_2$ ) ของอากาศในกล่อง

นอกจากนี้  $Q_E$  ยังส่งผ่านไปยังผนัง ทั้ง 5 ด้าน ของภายในกล่อง ซึ่งความร้อนที่ส่งผ่านไปยังผนัง ( $Q_{wall}$ ) จะหาได้จาก

$$Q_{wall} = m_{wall}c_{wall}\Delta T_{wall}$$

เมื่อ	m	คือ	มวลของวัตถุ
	c	คือ	ค่าความจุความร้อนของวัสดุ
	$\Delta T_{wall}$	คือ	ผลต่างระหว่างอุณหภูมิ ณ เวลาเริ่มต้น( $T_1$ ) และอุณหภูมิ ณ เวลาสุดท้ายที่พิจารณา ( $T_2$ ) ของผนัง

ความร้อนจาก  $Q_E$  ส่วนสุดท้ายจะส่งผ่านไปยังฉนวนที่ทดสอบ ( $Q_{Insl}$ ) แล้วจากนั้นจะไหลผ่านไปสู่อากาศแวดล้อม โดย  $Q_{Insl}$  หาได้จากสมการ

$$Q_{Insl} = Q_E - Q_{air} - Q_{wall}$$

จะได้

$$Q_{insl} = Q_E - Q_{air} - Q_{wall} = \frac{kA\Delta T_{insl}}{L}$$

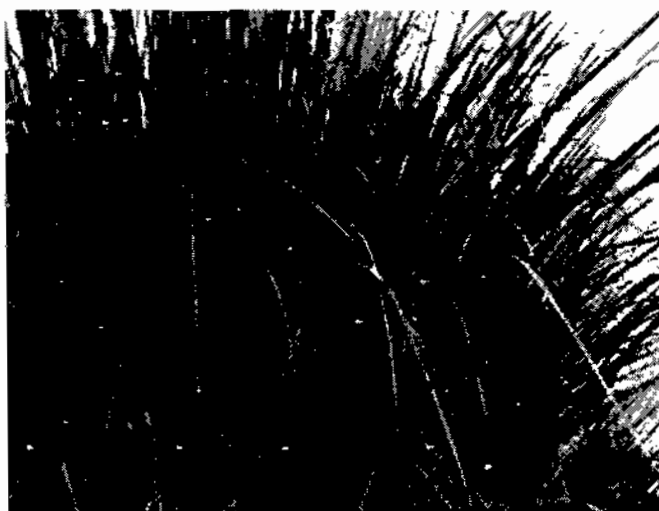
$$k = \frac{Q_{insl}L}{A\Delta T} \quad (2.3)$$

โดย k คือ ค่าการนำความร้อน  
 A คือ พื้นที่ของแผ่นฉนวน  
 $\Delta T_{insl}$  คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิ ณ เวลาเริ่มต้น ( $T_1$ ) และอุณหภูมิ ณ เวลาสุดท้ายที่พิจารณา ( $T_2$ ) ของแผ่นฉนวน  
 L คือ ความหนาของแผ่นฉนวน

จากสมการที่ 2.3 จะนำไปคำนวณหาค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนแต่ละชนิดได้

## 2.4 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้

2.4.1 หญ้าคาหญ้าคา (ชื่อวิทยาศาสตร์: Imperata cylindrica Beauv.) เป็นพืชล้มลุกชนิดหนึ่ง จัดอยู่ในตระกูลหญ้า มีลำต้นสูงประมาณ ๕๐-๑๐๐ เซนติเมตร ลักษณะลำต้นเป็นทรงกลมเรียวยาวขนาดเล็ก ลักษณะใบเป็นขนกระจุก ขอบใบมีลักษณะคมกริบ ออกดอกเป็นช่อก้านยาวสีขาว คล้ายหางกระรอก มีสรรพคุณในการรักษาโรคได้หลายชนิด เช่น โรคไต โรคมะเร็งคอ แก้กัมพิษ ผื่นคัน เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้ประโยชน์จากหญ้าคาในการมุงหลังคา



รูปภาพที่ 2.6 แสดงรูปของหญ้าคา

### ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

มีเหง้าสีขาวแข็งอยู่ใต้ดิน ลำต้นตั้งตรงสูงถึง 15 - 20 เซนติเมตร มีกาบใบโอบหุ้มอยู่และริมกาบใบจะมีขน ตัวใบจะเรียวยาวประมาณ 1 - 2 เมตร กว้างประมาณ 4 - 18 มิลลิเมตร มีขนเป็นกระจุกอยู่



ระหว่างรอยต่อของตัวใบและกาบใบ ดอกมีสีขาวอมเหลือง หรือเป็นสีม่วง เป็นช่อยาวประมาณ 5 เซนติเมตร

#### แหล่งที่พบ

สามารถพบได้ทั้งในพืชไร่ พืชสวนและพื้นที่รกร้าง ว่างเปล่า สามารถขึ้นได้ดีในดินทุกชนิด สามารถทนต่อแสงแดดและความร้อนได้ดี

#### สรรพคุณ

ใช้สำตันสดหรือแห้ง นำมาปรุงเป็นยาแก้โรคไต แก้โรคมะเร็งคอ และแก้ฝี , ดอก ใช้เป็นยาแก้ปัสสาวะแดง แก้ไอ แก้มะเร็งในลำไส้ แก่ริดสีดวงต่าง ๆ , ราก ใช้ปรุงกินเป็นยาแก้ร้อนใน แก้พิษอักเสบในกระเพาะปัสสาวะ แก่น้ำดีข่าน ดาเหลือง และเบื่ออาหาร นอกจากนี้หญาคายังให้แร่ธาตุไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, โพแทสเซียมอย่างมาก , ทำให้ดินร่วนซุย ทำให้ออกซิเจนลงไปในดิน ได้สะดวก ทำให้ไม้แน่น , มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับพืชตระกูลถั่วคือ ถ้าเนาเป็นปุ๋ยแล้ว จะสามารถป้องกันเพลี้ยและแมลงต่างๆได้

#### ลักษณะจำเพาะของหญ้าคา

- 1.ไม่ชอบบริเวณที่น้ำแฉะ
- 2.เจริญเติบโตได้ดีในที่ดอน และทุกฤดูกาล
- 3.ถ้าหากไปเผา-เกี่ยวหรือตัด จะแตกหน่อขึ้นมา จากพื้นดิน อย่างรวดเร็ว

#### ประโยชน์ของหญ้าคา

นอกจากหญ้าคาจะมีประโยชน์ในการทำเป็นยารักษาโรคแล้ว หญ้าคายังเป็นพืชเศรษฐกิจ ที่สร้างรายได้แก่ เกษตรกรไทยอีกด้วย

1.ประโยชน์ในฐานะเป็นพืชสมุนไพร ส่วนของใบ ใช้ปรุงเป็นยาต้มอาบ ผื่นคัน แก้ลมพิษ และแก้ปวดเมื่อยตามร่างกาย ส่วนของดอก ใช้ปรุงเป็นยารับประทานแก้ปวด นำมาตำเป็นยาพอกแผลอักเสบ บวมมีมีหนอง และ อูจจาระเป็นเลือด ราก ใช้ปรุงเป็นยา แก้ร้อนใน แก้ไอกระหายน้ำ เป็นยารับประทานเพื่อห้ามเลือด แก้เลือดกำเดาไหล และแก้พิษอักเสบในกระเพาะอาหาร

2.ประโยชน์ในฐานะเป็นพืชเศรษฐกิจ ใช้ประโยชน์ในการมุงหลังคา กระถ่อม คอกเลี้ยงหมู เล้าไก่ เล้าเป็ด สามารถกันแดดกันฝนได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้หลังคาหญ้าคายังให้ความเย็นได้ดีกว่าการมุงหลังคาจากกระเบื้อง และสังกะสีซึ่งมีราคาแพงกว่าหญ้าคาหลายเท่าตัว และอายุการใช้งานของหลังคาหญ้าคาสามารถใช้ได้นานถึง 3 - 5 ปี ขึ้นอยู่กับความหนาของคาที่ใช้และนอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์ในการจักสานอีกด้วย จึงนับได้ว่าหญ้าคากลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่สร้างรายได้แก่เกษตรกรเป็นอย่างมาก

#### โทษของหญ้าคา

1.หน่อของหญ้าคาแหลมคมมาก ถ้าเดินเข้าไปโดยไม่ระมัดระวัง จะทิ่มแทงฝ่าเท้า ทำให้เกิดความเจ็บปวดได้

2.เนื่องจากหญ้าคาเป็นวัชพืช สามารถขึ้นได้ดีตามพื้นที่รกร้าง ไร่หรือท้องนา ทำให้ชาวไร่ชาวนาส่วนมากไม่ค่อยชอบ

3.เมื่อนำไปมุงหลังคาบ้าน หรือกระถ่อม ไม่ค่อยทนทาน และถ้าดูแลไม่ดี อาจจะทำให้เกิดอัคคีภัยก่อให้เกิดความเสียหาย แก่ทรัพย์สินได้

#### การขยายพันธุ์

เป็นพรรณไม้ที่ขึ้นได้ดีใน ดินทุกชนิด ทนต่อความร้อน และแสงแดดได้ดี ขยายพันธุ์ด้วยการใช้ เหง้า หรือเมล็ด

#### 2.4.2 ผักตบชวา

ผักตบชวา (อังกฤษ: Water Hyacinth) เป็นพืชน้ำล้มลุกอายุหลายฤดู สามารถอยู่ได้ทุกสภาพน้ำ มีถิ่นกำเนิดในแถบลุ่มน้ำอเมซอน ประเทศบราซิล ในทวีปอเมริกาใต้ มีดอก สีม่วงอ่อน คล้ายช่อดอกกล้วยไม้ และแพร่พันธุ์ได้อย่างรวดเร็วจนกลายเป็นวัชพืชที่ร้ายแรงในแหล่งน้ำทั่วไป มีชื่อเรียกในแต่ละท้องถิ่นดังนี้: ผักปอด, สวะ, ผักโรค, ผักตบชวา, ผักยะวา, ผักอีโยก, ผักปอง



รูปภาพที่ 2.7 แสดงรูปของผักตบชวา

#### ประวัติ

ผักตบชวาถูกนำเข้ามาในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2444 ในสมัยรัชกาลที่ 5 โดยนำเข้ามาจาก ประเทศอินโดนีเซียในฐานะเป็นไม้ประดับสวยงาม โดยเจ้านายฝ่ายในที่ตามเสด็จประพาสประเทศ อินโดนีเซีย ได้เห็นพืชชนิดนี้มีดอกสวยงาม จึงนำกลับมาปลูกในประเทศไทย และใส่อ่างดินเลี้ยงไว้หน้า สนามวังสระปทุม จนกระทั่งเกิดน้ำท่วมวังสระปทุมขึ้น ทำให้ผักตบชวาลุดลอยกระจายไปตามแม่น้ำ ลำคลองทั่วไป และแพร่พันธุ์อย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

#### ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ผักตบชวามีลำต้นสั้นแตกใบเป็นกอลอยไปตามน้ำ มีไหล ซึ่งเกิดตามซอกใบแล้วเจริญเป็นต้น อ่อนที่ปลายไหล ถ้าน้ำตื้นก็จะหยั่งรากลงดิน ใบเป็นใบเดี่ยวรูปไข่หรือเกือบกลม ก้านใบกลมอวบน้ำตรง กลางพองออกภายในเป็นช่องอากาศคล้ายฟองน้ำช่วยให้ลอยน้ำได้ ดอกเกิดเป็นช่อที่ปลายยอดมีดอก ย่อย 3-25 ดอก สีม่วงอ่อน มีกลีบดอก 6 กลีบ กลีบบนสุดขนาดใหญ่กว่ากลีบอื่น ๆ และมีจุดเหลืองที่ กลางกลีบ ขยายพันธุ์โดยการแยกต้นอ่อนที่ปลายไหลไปปลูก

#### ประโยชน์

- 1.การบริโภค ดอกอ่อนและก้านใบอ่อนกินเป็นผักลวกจิ้มน้ำพริกหรือทำแกงส้ม
- 2.ใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ เช่นหมู ใช้ทำปุ๋ยหมัก ก้านและใบอ่อนนำมารับประทานได้ เครื่องจักร

สานผักตบชวา

### 3.ด้านสมุนไพร ใช้แก้พิษภายในร่างกาย และขับลม ใช้ทาหรือพอกแก้แผลอักเสบ บทบาทในการกำจัดน้ำเสีย

ผักตบชวาสามารถช่วยในการบำบัดน้ำเสีย โดยการทำหน้าที่กรองน้ำที่ไหลผ่านกอผักตบชวาอย่างช้าๆ ทำให้ของแข็งแขวนลอยต่างๆ ที่ปนอยู่ในน้ำถูกสกัดกั้นกรองออก นอกจากนั้น ระบบรากที่มีจำนวนมากจะช่วยกรองสารอินทรีย์ที่ละเอียด และจุลินทรีย์ที่อาศัยเกาะอยู่ที่ราก จะช่วยดูดสารอินทรีย์ไว้ด้วยอีกทางหนึ่ง รากผักตบชวาจะดูดสารอาหารที่อยู่ในน้ำ ทำให้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียจึงถูกกำจัดไป อย่างไรก็ตามไนโตรเจนในน้ำเสียนั้น ส่วนมากจะอยู่ในรูปสารประกอบทางเคมี เช่น สารอินทรีย์ไนโตรเจนแอมโมเนียไนโตรเจน และไนเตรทไนโตรเจน พบว่า ผักตบชวาสามารถดูดไนโตรเจนได้ทั้ง 3 ชนิด แต่ในปริมาณที่แตกต่างกันคือ ผักตบชวาสามารถดูดอินทรีย์ไนโตรเจนได้สูงกว่าไนโตรเจนในรูปอื่นๆ คือ ประมาณ 95 % ขณะที่ไนเตรทไนโตรเจน และแอมโมเนียไนโตรเจน จะเป็นประมาณ 80 % และ 77 % ตามลำดับ<sup>[6]</sup> สถานที่แรกในประเทศไทยที่ใช้การบำบัดด้วยวิธีนี้คือ "บึงมักกะสัน" ซึ่งเป็นโครงการบึงมักกะสันอันเนื่องมาจากพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว โดยใช้หลักการบำบัดน้ำเสียตามแนวทฤษฎีการพัฒนาโดยการกรองน้ำเสียด้วยผักตบชวา (Filtration)

#### 2.4.3 ไมยราบยักษ์

ชื่อไทย : ไมยราบยักษ์ ไมยราบน้ำ ไมยราบต้น

ชื่อสามัญ : Giant mimosa

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Mimosa pigra* L.

ชื่อวงศ์ : MIMOSACEAE



รูปภาพที่ 2.8 แสดงรูปของไมยราบยักษ์

## ลักษณะทั่วไป

เป็นไม้พุ่ม ลำต้นตั้งตรงสูง 2-4 เมตร มีหนามปกคลุมทั่วต้น เนื้อไม้แข็ง ใบเป็นใบประกอบแบบขนนก ใบย่อยมีขนาดเล็ก มีความรู้สึกไวต่อสิ่งเร้า เมื่อถูกสัมผัสหรือกระทบกระเทือนจะหุบใบ ก้านใบและแกนใบมีหนามแหลม ช่อดอกออกตามซอกใบ 1-3 ช่อ ช่อดอกเป็นกระจุกกลม สีชมพู ผลเป็นฝักแบนยาวมีขนเรียบปกคลุม เกษะเป็นกลุ่มประมาณ 10 ฝัก ฝักแบ่งเป็นปล้อง 10-25 ปล้อง แต่ละปล้องมีเมล็ดแบบสีน้ำตาลรูปไข่ 1 เมล็ด เป็นพืชพิษร้ายแรงในเขตที่ลุ่มและที่ขายน้ำในภาคเหนือ ประวัติความเป็นมา

ไมยราบยักษ์ [*Mimosa pigra* L.] เป็นพืชพิษที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศแถบอเมริกากลางและอเมริกาใต้ สันนิษฐานว่าได้มีการนำเมล็ดเข้ามาจากอินโดนีเซีย โดยผู้นำเกษตรกรชาวโรยาสูบ เมื่อประมาณปี พ.ศ. 2490 เพื่อใช้เป็นพืชปุ๋ยสดในโรยาสูบ ที่อำเภอแม่แตง และอำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ นอกจากนี้ ยังพอมีหลักฐานพอเชื่อได้ว่า การนำเอาไมยราบยักษ์เข้ามาปลูกในประเทศไทย คราวนั้น ยังมุ่งที่จะใช้ไมยราบยักษ์เป็นพืชอาศัยของครั่งแทนต้นจามจุรี (*Samanea saman* Merr.) หรืออาจจะมีความประสงค์ต้องการปลูกไมยราบยักษ์เป็นไม้ยึดฝั่ง ป้องกันการพังทลายของตลิ่ง หรือริมฝายน้ำของกรมชลประทาน

## สรรพคุณของไมยราบ

ไมยราบ ลดน้ำตาลในเลือด

ไมยราบ หรือหญ้าป็นยอด ที่มักมองกันว่าเป็นวัชพืชไร้ค่า แต่รู้ใหม่ว่าเป็นพืชที่มีสรรพคุณแก้ปวดหลังได้ชะงัดนัก ทั้งยังเป็นสมุนไพรที่ทำให้กลุ่มแม่บ้านเกษตรกรป่าโมกพัฒนา จ.อ่างทอง สร้างเนื้อสร้างตัวมาได้จนถึงทุกวันนี้ และเป็นที่ยู่อัจฉริยะอย่างกว้างขวางข้ามไปถึงต่างประเทศ ภายใต้ชื่อผลิตภัณฑ์ ชาสมุนไพรไทยแท้ประกอบด้วยสมุนไพร 5 ชนิดโดยมีไมยราบเป็นองค์ประกอบหลัก

ไมยราบ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Mimosa pudica* L. จัดเป็นพืชวงศ์ (ตระกูล) ถั่ว Fabaceae (Leguminosae)-มีประเภทไม้ล้มลุก มีลักษณะเป็นไม้เลื้อย ทอดไปตามพื้นดิน เถามีหนามแหลมและมีขนสีน้ำตาลคลุมอยู่ทั่ว

ใบ เป็นใบประกอบรูปขนนกสองชั้น มีความไวต่อการสัมผัส ยาว 10-15 ซม. เรียงตัวแบบนิ้วมือ ใบย่อยมี 17-22 คู่ ใบรูปไข่แกมขอบขนาน กว้าง 2.5-3 มม. ยาว 10-14 มม. ผิวใบด้านบนมีสีเขียว ท้องใบมีสีม่วงอ่อน

ดอก ออกเป็นดอกช่อ แบบช่อกระจุกแน่น (head) ออกที่ซอกใบ กลีบดอกสีชมพู ผลเป็นฝักข้อสั้นๆ อยู่รวมกันเป็นข้อผลแก่สีดำ

## ประโยชน์

แม้จะเป็นพืชที่มีการแพร่กระจายพันธุ์อย่างรวดเร็ว และกำจัดค่อนข้างยาก ซึ่งก่อให้เกิดปัญหา แต่ก็ยังมีประโยชน์ทางสมุนไพร สามารถนำทุกส่วนมาหั่นแล้วคั่ว โดยใช้ไฟอ่อนๆ จนมีกลิ่นหอม แล้วนำไปชงน้ำดื่มแทนชา ช่วยลดคอเลสเตอรอลและน้ำตาลในเลือดได้

## 2.4.4 แกลบ

แกลบข้าว (อังกฤษ: Rice Husk) คือผลผลิตที่ได้จากการสีข้าว เป็นเปลือกของข้าวสาร เป็นส่วนที่เหลือใช้จากการผลิตข้าวสาร เมล็ดมีลักษณะเป็นรูปทรงรี เมื่อยาวสีเหลืองอมน้ำตาล หรือเหลืองนวลแล้วแต่ภูมิประเทศที่มีการปลูกข้าว ปัจจุบันประเทศมีการส่งออกแกลบข้าวรายใหญ่ของโลก

นอกจากการนำแกลบข้าวไปใช้เป็นเชื้อเพลิงต่างๆแล้ว ยังสามารถนำไปผสมกับวัสดุอื่นๆทำเป็นวัสดุก่อสร้างแล้ว แกลบข้าวยังถูกนำไปผลิตเป็นขี้เถ้าแกลบ (Rice Husk Ash) เพื่อนำขี้เถ้าแกลบไปใช้ประโยชน์อีกมาก ซึ่งส่วนประกอบหลักของขี้เถ้าแกลบ คือ ซิลิกา ( $\text{SiO}_2$ ) สามารถนำไปทำให้บริสุทธิ์ด้วยกระบวนการทางเคมี และการเผาที่อุณหภูมิสูง ซิลิกาในขี้เถ้าแกลบมีทั้งที่เป็น ซิลิกาผลึก (Crystalline Silica) ซิลิกาผลึกสามารถแบ่งย่อยเป็นหลายชนิดตามความแตกต่างของรูปร่าง ลักษณะผลึกและความหนาแน่นของซิลิกา รูปร่างของผลึกมีหลายแบบ เช่น สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม หกเหลี่ยม สี่เหลี่ยมลูกบาศก์และเส้นยาว และซิลิกาอสัณฐาน (Amorphous Silica) ซึ่งเป็นซิลิกาที่มีรูปร่างไม่เป็นผลึก (Non-crystalline Silica)



รูปภาพที่ 2.9 แสดงรูปของแกลบ

#### ประโยชน์ของแกลบ

- **ด้านการเกษตร**
  - ใช้ผสมเพื่อปรับสภาพดิน
  - ใช้ทำปุ๋ยหมัก
  - ใช้กันความชื้นในคอกสัตว์
  - ใช้เป็นส่วนผสมการผลิตซีเมนต์
- **ด้านการก่อสร้าง**
  - เป็นส่วนผสมในการทำอิฐ
  - เมื่อเผาเป็นถ่านแล้วเพิ่มสารเคมีบางประเภทใช้เป็นวัสดุถมในงานถนน

- ด้านพลังงานและอุตสาหกรรม
  - ใช้เป็นเชื้อเพลิง
  - เผาเป็นถ่านขาว จะมีคุณสมบัติเป็นค่า ใช้เป็นส่วนผสมของสบู่ ยาสระผม และน้ำยาล้างจาน เป็นต้น
  - ใช้ทำแท่งถ่านอัดซีเมนต์เพื่อเป็นเชื้อเพลิง
  - ใช้ดูดซับก๊าซจากกระบวนการผลิตทางด้านอุตสาหกรรม

ตารางที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและสมบัติแบบแยกธาตุของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

แสดงชื่อของวัสดุที่ใช้	C (%)
ผักตบชวา (Water hyacinth)	47.78
ไมยราบยักษ์ (Giant mimosa)	46.10
หญ้าคา (Imperata cylindrica Beauv)	40.5
แกลบ (Rice Husk)	35.9

จากตารางที่ 2.2 ค่าของคาร์บอน (C) เป็นธาตุที่มีค่าการนำความร้อนสูง พืชที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนสูง จะส่งผลให้ค่าการนำความร้อน (k) สูงและค่าความต้านทานความร้อน (R) ต่ำ

## บทที่ 3

### วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงวัสดุ อุปกรณ์ และกระบวนการเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทำฉนวน พร้อมทั้งอธิบายวิธีการทำและกรขึ้นรูปของฉนวนกันความร้อนจากวัสดุธรรมชาติและวิธีการวัดค่าของอุณหภูมิของแผ่นฉนวน

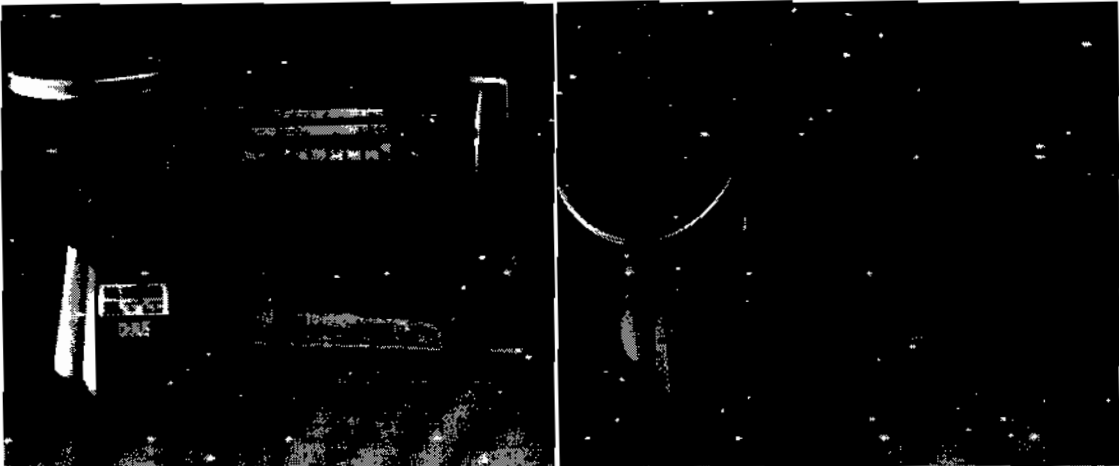
#### 3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. ไมยราบยักษ์
2. หญ้าคา
3. ผักตบชวา
4. แกลบ
5. กาว

#### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

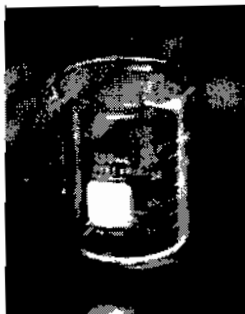
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองที่เกี่ยวข้องเนื่องกับการประยุกต์ใช้วัสดุธรรมชาติเพื่อเป็นฉนวนกันความร้อนสำหรับอาคาร ประกอบไปด้วย

1. ตาชั่ง



รูปภาพที่ 3.1 รูปตาชั่งใช้ชั่งหาปริมาณของวัสดุและกาวในการผสม

## 2. บีกเกอร์



รูปภาพที่ 3.2 รูปบีกเกอร์ที่ใช้หาปริมาณของวัสดุที่ใช้ในการทำฉนวน ขนาด 500 ml

## 3. ภาชนะผสมวัสดุ

## 4. เครื่องบดที่



รูปภาพที่ 3.3 รูปเครื่องบดใช้บดไมยราบยักษ์ ผักตบชวา และ หย้าคา



## 5. เครื่องอัดชิ้นงาน



รูปภาพที่ 3.4 เครื่องอัดชิ้นงานใช้... มีขนาด 13×13×9 cm

### 3.3. กระบวนการเตรียมชิ้นวัสดุที่ใช้ทดลอง

กระบวนการทดลองนี้จะถูกควบคุมด้วยสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างกาวและวัสดุธรรมชาติที่ใช้ในการทดสอบหาค่าการนำความร้อนของวัสดุทางธรรมชาติโดยอัตราส่วนที่ใช้ น้ำหนัก 1:1 และศึกษาถึงกระบวนการทำให้แผ่นคงรูปของแผ่นฉนวนกันความร้อนโดยการใช้เครื่องอัดขึ้นรูป (compression molding)

#### 3.3.1 ขั้นตอนและวิธีการขึ้นรูปของฉนวน

ขั้นตอนที่ 1 นำวัสดุที่จะใช้ในการทำฉนวนที่ตากแดดจนแห้งแล้วมาบดในเครื่องบด

ขั้นตอนที่ 2 เมื่อได้วัสดุที่บดแล้ว ก็นำไปชั่งเพื่อให้ได้ปริมาณที่ต้องการและเตรียมกาวเพื่อนำมาผสมกับวัสดุที่บดแล้วที่เลือกใช้ เช่น ไมยราบยักษ์ ผักตบชวา หญ้าคาและแกลบ

ขั้นตอนที่ 3 เมื่อได้ปริมาตรกาวและวัสดุที่จะใช้แล้วก็นำไปขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัด ให้ได้ขนาดตามที่ต้องการที่มีขนาด ความกว้าง ความยาว ความหนา เท่ากับ 13 × 13 × 2 cm

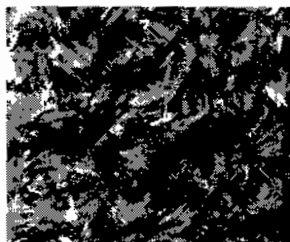
ขั้นตอนที่ 4 เมื่ออัดแผ่นฉนวนได้ขนาดของแผ่นฉนวนตามที่ต้องการแล้วก็ทิ้งไว้ประมาณ 10-20 นาทีเพื่อให้แผ่นอยู่ตัว และนำแผ่นออกจากเครื่องอัด

ขั้นตอนที่ 5 เมื่ออัดแผ่นได้ตามที่ต้องการแล้วก็นำไปตากแดด เพื่อไล่ความชื้นออก ทิ้งไว้ประมาณ 7 วัน

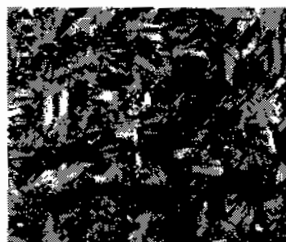
ขั้นตอนที่ 6 นำแผ่นฉนวนที่ได้จากการขึ้นรูปแล้วมาทดสอบหาค่าการนำความร้อน

### 3.3.2 รูปของแผนฉนวนที่ได้จากการขึ้นรูปแล้ว

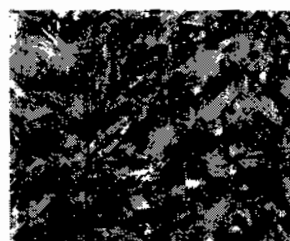
แกลบ



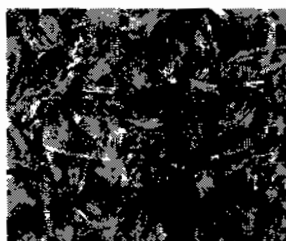
แกลบ 100 ; 100 g



แกลบ 150 : 150 g



แกลบ 200 : 200 g



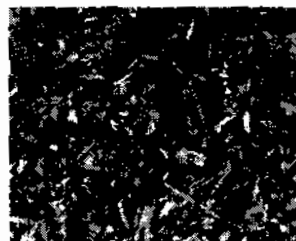
แกลบ 250 : 250 g

รูปภาพที่ 3.5 แสดงรูปฉนวนแกลบของมวลแต่ละกรัม

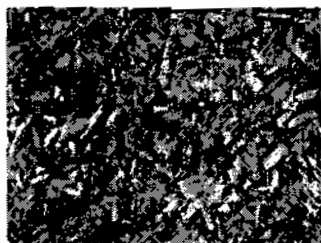
ไมยราบ



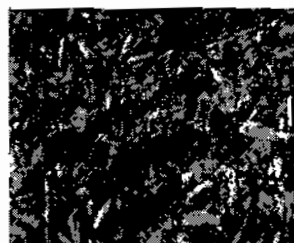
ไมยราบ 100 :100 g



ไมยราบ 150 :150 g



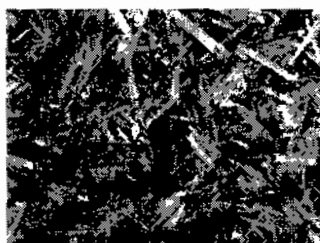
ไมยราบ 200 : 200 g



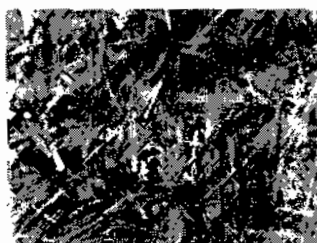
ไมยราบ 250 : 250 g

รูปภาพที่ 3.6 แสดงรูปฉนวนไมยราบของมวลแต่ละกรัม

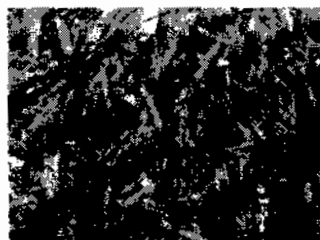
หญ้าคา



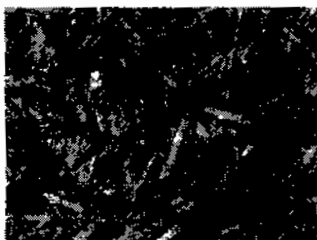
หญ้าคา 100 : 100 g



หญ้าคา 150 : 150 g



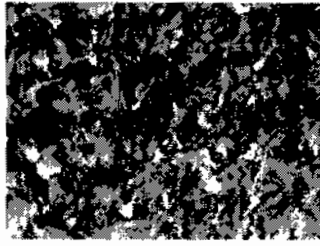
หญ้าคา 200 : 200 g



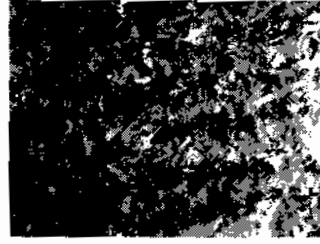
หญ้าคา 250 : 250 g

รูปภาพที่ 3.7 แสดงรูปฉนวนหญ้าคาของมวลแต่ละกรัม

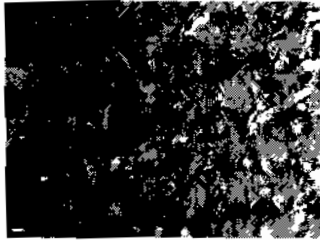
## ผักตบชวา



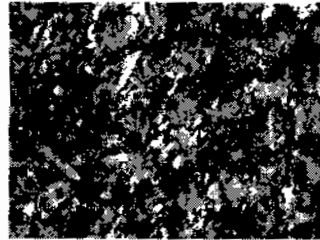
ผักตบชวา 100 : 100 g



ผักตบชวา 150 : 150 g



ผักตบชวา 200 : 200 g



ผักตบชวา 250 : 250 g

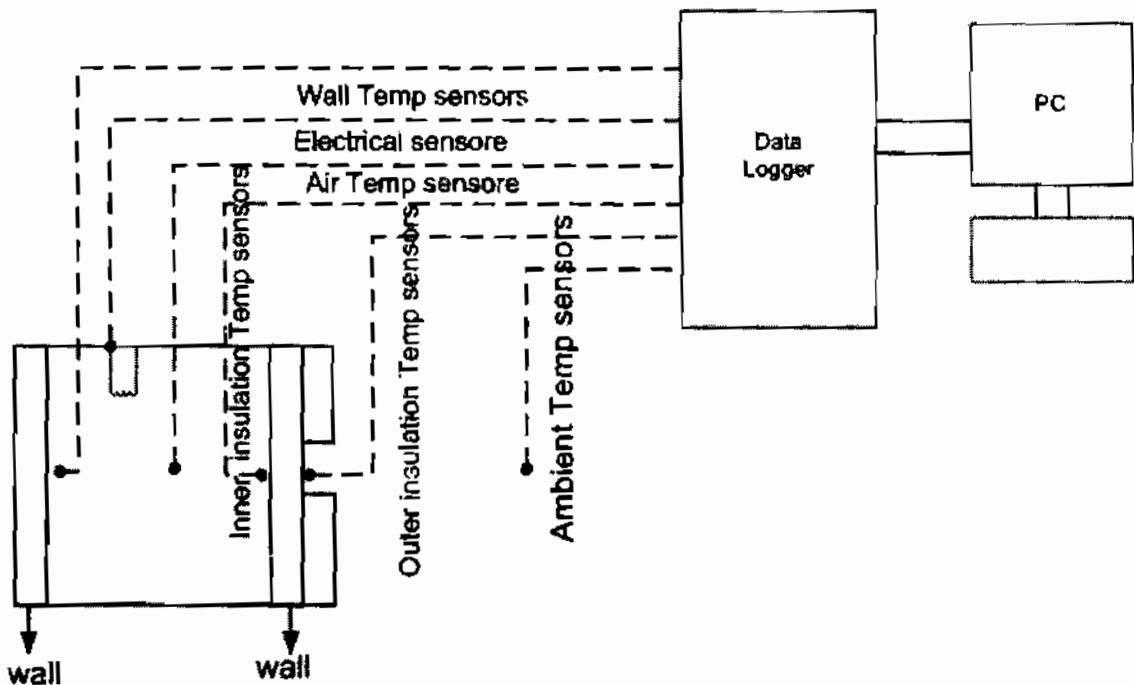
รูปภาพที่ 3.8 แสดงรูปฉนวนผักตบชวาของมวลแต่ละกรัม

จากรูปที่แสดงให้เห็น จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มวัสดุเข้าไปอัดให้มีขนาด กว้าง × ยาว × สูง เท่ากับ  $13 \times 13 \times 2$  cm จะมีค่าของความหนาแน่นจะไม่เท่ากันแต่อัตราส่วนที่ใช้ผสม 1:1 เท่ากันทุกแผ่น ดังนั้นแรงที่อัดแผ่นแต่ละแผ่นจะไม่เท่ากันและขนาดของช่องว่างในตัวแผ่นฉนวนจะแตกต่างกัน เนื่องจากแรงอัดที่ใช้ในการอัดฉนวนมีผลต่อช่องว่างภายในตัวแผ่น

### 3.4 การทดสอบค่าการนำความร้อน

การทดสอบค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) ของแผ่นฉนวน ปกติความร้อนจะไหลผ่านวัสดุจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปหาที่มีอุณหภูมิต่ำ การถ่ายเทความร้อนในของแข็งจะเกิดขึ้นโดยกลไกที่เรียกว่า การนำความร้อน (Conduction) วัสดุแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการนำความร้อนได้แตกต่างกัน คุณสมบัติที่เป็นตัววัดความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุ คือ Thermal Conductivity (k) ค่า k นี้ กำหนดไว้จากกฎการนำความร้อนของ Fourier ซึ่งกล่าวไว้ว่า อัตราการส่งผ่านพลังงานความร้อนผ่านตัวกลาง (วัสดุ ซึ่งมักจะหมายถึงกรณีที่เป็นของแข็ง) จะแปรผันตรงกับค่าความชันของอุณหภูมิ (Thermal Gradient = อัตราผลต่างของอุณหภูมิต่อระยะทางหนึ่งหน่วย) ในทิศทางของการส่งผ่านพลังงานนั้น และแปรผันตรงกับพื้นที่หน้าตัดที่พลังงานความร้อนนั้นไหลผ่านด้วย ค่าคงที่ของการแปรผันนี้คือค่า k นั้นเองค่า k จะเปลี่ยนไปตามชนิดของวัสดุและอุณหภูมิ วัสดุที่มี

การนำความร้อนที่ดี ( $k$  สูง) จะสามารถลดความแตกต่างของอุณหภูมิภายในตัวมันเองได้เร็วกว่าวัสดุที่มีความสามารถในการนำความร้อนต่ำ ในวัสดุโลหะค่า  $k$  จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนวัสดุอื่นค่า  $k$  จะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การเลือกใช้วัสดุเราจะต้องคำนึงถึงการใช้งาน ถ้าต้องใช้ในระบบระบายความร้อนของเครื่องจักร เราจะเลือกคูที่มีการนำความร้อนที่ดี ( $k$  สูง) ส่วนกรณีที่ใช้ฉนวนความร้อน เพื่อจะเก็บรักษาอุณหภูมิ เราจะเลือกใช้วัสดุที่มีค่า  $k$  ต่ำ ซึ่งได้แก่ พวกที่มีเนื้อเป็นรูพรุน เพราะอากาศเป็นตัวนำความร้อนที่เลว (พวกเซรามิกมักจะมีคุณสมบัติอย่างนี้) การส่งผ่านความร้อนของวัสดุอาจจะได้ด้วยวิธีการแผ่รังสี (Radiation) ความสามารถของวัสดุที่จะแผ่ความร้อนนี้เราเรียกว่า Emissivity ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะผิวของวัสดุและอุณหภูมิ ค่า Emissivity จะเท่ากับปริมาณความร้อนที่วัสดุจะแผ่รังสีออกมาได้ต่อปริมาณความร้อนที่ Ideal Black Body จะแผ่รังสีออกมาได้ที่อุณหภูมินั้น ๆ Ideal Black Body คือ วัสดุที่จะดูดซึมความร้อนที่มากระทบไว้ได้ทั้งหมด โดยไม่มีการสะท้อน หรือส่งผ่านออกไป

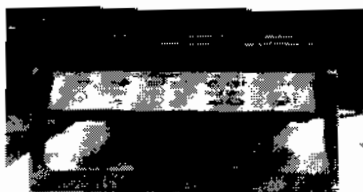


รูปภาพที่ 3.9 แสดงการวัดค่าของวัดอุณหภูมิในแต่ละจุด

จากรูปภาพที่ 3.5 แสดงภาพของการวัด โดยจะใช้ Variable Voltage Transformer ในการจ่ายความร้อนให้กับขดลวดที่อยู่ภายในกล่อง และต่อสายเทอร์โมคอปเปิลโดยวัดอุณหภูมิภายในกล่อง อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิแผ่นฉนวนด้านในกล่อง 3 จุด และอุณหภูมิแผ่นฉนวนด้านนอก 3 จุด อุณหภูมิของผนัง 2 จุด จากนั้นต่อเข้ากับเครื่อง Data Logger จากนั้นก็ทำการเก็บค่าอุณหภูมิทุกๆ 1 นาที

### 3.4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าการนำความร้อน

#### 1. Data Logger



รูปภาพที่ 3.10 เครื่อง Data Logger ใช้ในการวัด

#### 2. มัลติมิเตอร์



รูปภาพที่ 3.11 มัลติมิเตอร์ใช้ในการควบคุมการจ่ายกระแสไฟให้กับขดลวดไฟฟ้า

#### 3. Variable Voltage Transformer



รูปภาพที่ 3.12 เครื่อง Variable Voltage Transformer ใช้ในการจ่ายกระแสไฟให้กับขดลวดไฟฟ้า

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

ในเนื้อหาบทนี้เป็นการศึกษาผลการทดลองของแผ่นฉนวน เช่นการความหนาแน่นของแผ่นฉนวน ค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวน กราฟแสดงค่าของอุณหภูมิของแผ่นฉนวน และกราฟแสดงค่า Q ของแผ่นฉนวน ในกรณีศึกษานี้จะให้ค่ามวลของฉนวนจาก 100, 150, 200, 250 g ตามลำดับ

#### 4.1 ค่าความหนาแน่นของแผ่นฉนวน

##### 4.1.1 ตารางของมวลของฉนวนแต่ละชนิด

มวลของวัสดุ / ภาวะขณะขึ้นรูป (g)	มวลแกลบ ขณะทดสอบ (g)	มวลไมยราบ ขณะทดสอบ (g)	มวลหญ้าคา ขณะทดสอบ (g)	มวลผักตบชวา ขณะทดสอบ (g)
100 g	56	56	59	53
150 g	79	83	94	77
200 g	120	116	123	100
250 g	134	135	160	117

##### ตารางที่ 4.1.1 แสดงค่าของมวลของแผ่นฉนวนแต่ละชนิด

จากตารางที่ 4.1.1 แสดงค่ามวลของแผ่นฉนวนแต่ละชนิดที่ใช้ในการทดสอบทั้งก่อนนำไปตากแห้ง และหลังตากแห้งแล้วก่อนนำไปทดสอบ โดยมวลก่อนนำไปตากแห้งจะมีค่า 100, 150, 200, 250 g ตามลำดับ และก่อนนำไปทดสอบจะมีค่าลดลงจากเดิมตามที่แสดงในตาราง

#### 4.1.2 ตารางค่าความหนาแน่นของแผ่นฉนวนแต่ละชนิด

##### ตารางที่ 4.1.2.1 แสดงค่าความหนาแน่นของแกลบ

มวลของวัสดุ (g)	ความหนาแน่น ( $\text{kg/m}^3$ )
56	174.55
79	278.10
120	363.90
134	473.37

จากตารางที่ 4.1.2.1 แสดงค่าความหนาแน่นของแกลบ จะเห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นของแกลบจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อค่ามวลเพิ่มขึ้น ค่ามวลที่นำมาหาค่าความหนาแน่นคือค่ามวลขณะทดสอบที่วัดค่าได้จากตารางที่ 4.1.1

ตารางที่ 4.1.2.2 แสดงค่าความหนาแน่นของไมยราบ

มวลของวัสดุ (g)	ความหนาแน่น (kg/ m <sup>3</sup> )
56	165.68
83	233.72
116	355.02
135	408.28

จากตารางที่ 4.1.2.2 แสดงค่าความหนาแน่นของไมยราบ จะเห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นของไมยราบจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อค่ามวลเพิ่มขึ้น ค่ามวลที่นำมาหาค่าความหนาแน่นคือค่ามวลขณะทดสอบที่วัดค่าได้จากตารางที่ 4.1.1

ตารางที่ 4.1.2.3 แสดงค่าความหนาแน่นของหญ้าคา

มวลของวัสดุ (g)	ความหนาแน่น (kg/ m <sup>3</sup> )
59	165.68
94	245.56
123	343.19
160	399.40

จากตารางที่ 4.1.2.3 แสดงค่าความหนาแน่นของหญ้าคา จะเห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นของหญ้าคาจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อค่ามวลเพิ่มขึ้น ค่ามวลที่นำมาหาค่าความหนาแน่นคือค่ามวลขณะทดสอบที่วัดค่าได้จากตารางที่ 4.1.1

ตารางที่ 4.1.2.4 แสดงค่าความหนาแน่นของผักตบชวา

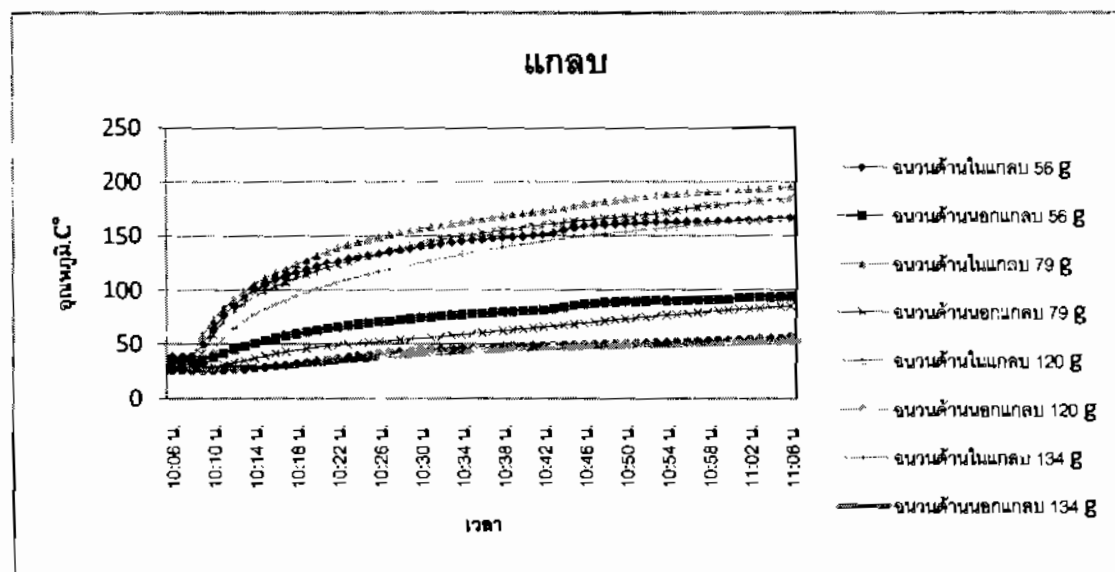
มวลของวัสดุ (g)	ความหนาแน่น (kg/ m <sup>3</sup> )
53	156.80
77	227.81
100	295.8
117	346.15



จากตารางที่ 4.1.2.4 แสดงค่าความหนาแน่นของผักตบชวา จะเห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นของผักตบชวาจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อค่ามวลเพิ่มขึ้น ค่ามวลที่นำมาหาค่าความหนาแน่นคือค่ามวลขณะทดสอบที่วัดค่าได้จากตารางที่ 4.1.1

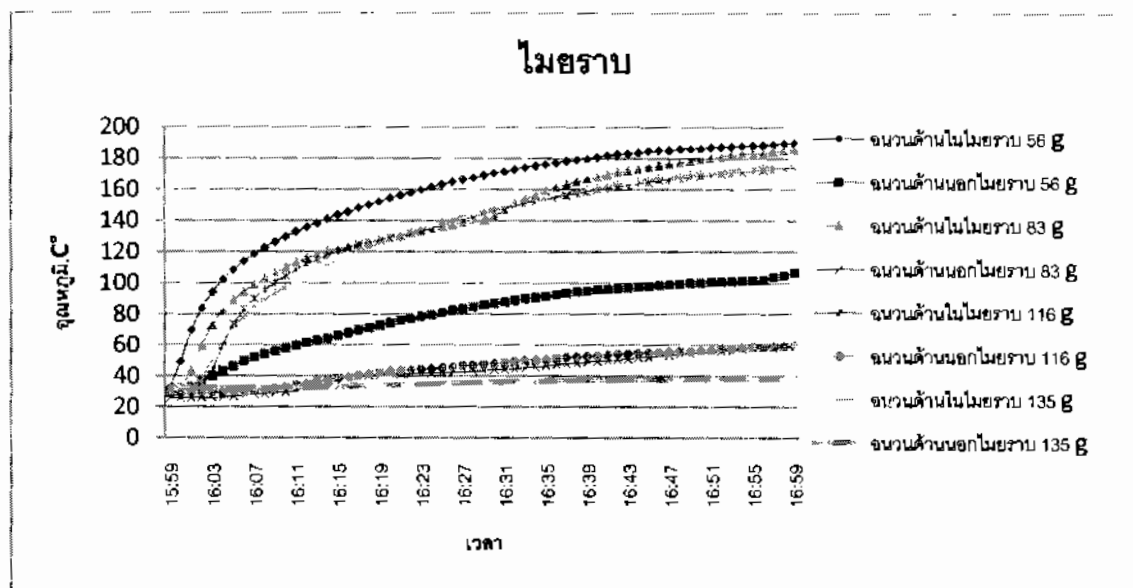
## 4.2 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิของฉนวน

จากวัสดุเหลือใช้ทางธรรมชาติ โดยใช้วัสดุทั้งหมด 4 ชนิด คือ 1) แกลบ 2) ไมยราบ 3) หญ้าคา และ 4) ผักตบชวา ทำการทดลองโดยการห่ออัตราส่วนระหว่างกาวกับวัสดุที่ใช้ คือ ส่วนผสมในอัตราส่วน 1:1 และนำแผ่นฉนวนที่ได้มีทดลองหาค่าการนำความร้อน จากการวัดอุณหภูมิของแผ่นฉนวนแต่ละชนิด โดยผลการทดลองจะสรุปได้ดังกราฟและแผนภูมิแห่งต่อไปนี้



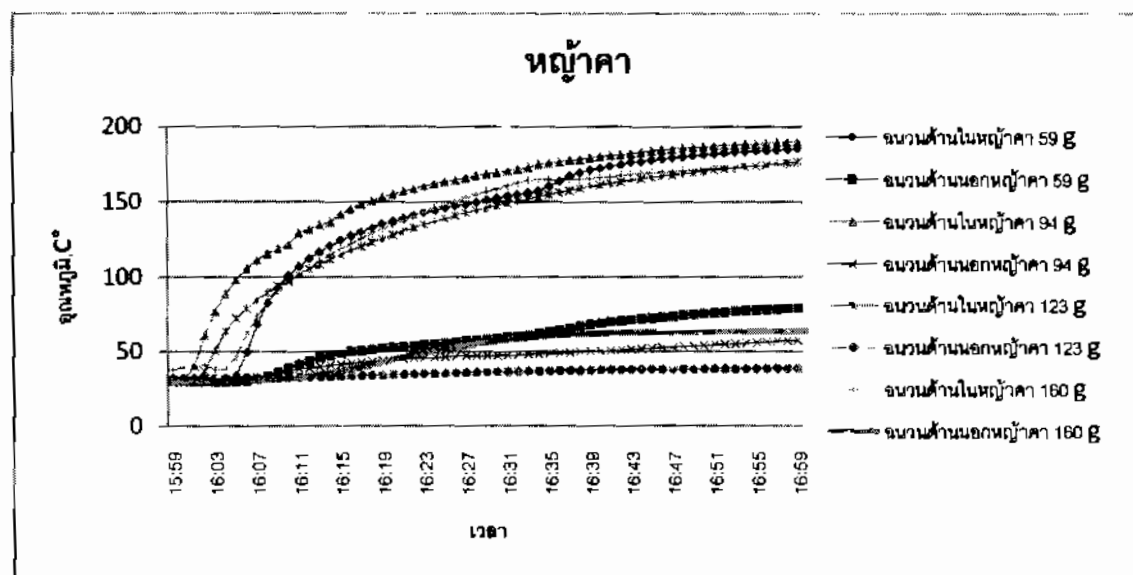
รูปภาพที่ 4.2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิด้านในและด้านนอกของฉนวนแกลบ

จากรูปภาพที่ 4.2.1 แสดงค่าอุณหภูมิด้านนอกและด้านในของฉนวนแกลบที่มีมวลแห้งต่างๆกัน จะเห็นได้ว่าค่าของอุณหภูมิของแผ่นฉนวนด้านในจะมีค่าสูงกว่าแผ่นฉนวนด้านนอก เนื่องจากแผ่นฉนวนด้านในได้รับความร้อนที่ได้จากขดลวดโดยตรง แต่ด้านนอกนั้นจะได้รับการไหลของความร้อนจากด้านใน แต่ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของฉนวนแกลบด้านในและด้านนอก



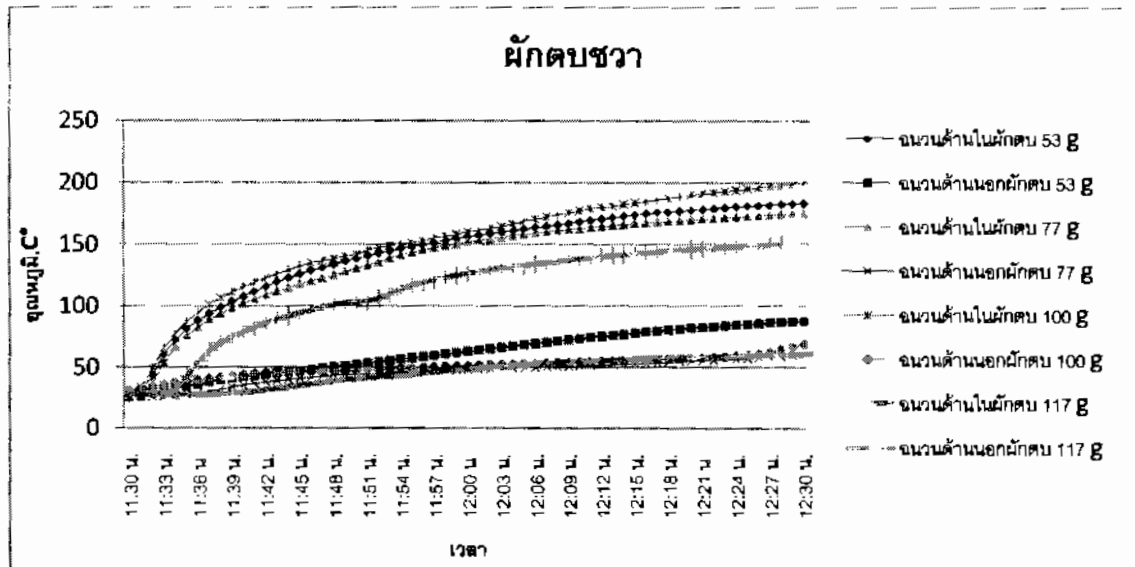
รูปภาพที่ 4.2.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิด้านในและด้านนอกของฉนวนไมยราบ

จากรูปภาพที่ 4.2.2 แสดงค่าอุณหภูมิด้านนอกและด้านในของฉนวนไมยราบที่มีมวลแห้งต่าง ๆ กัน จะเห็นได้ว่าค่าของอุณหภูมิของแผ่นฉนวนด้านในจะมีค่าสูงกว่าแผ่นฉนวนด้านนอก เนื่องจากแผ่นฉนวนด้านในได้รับความร้อนที่ได้จากขดลวดโดยตรง แต่ด้านนอกนั้นจะได้รับความร้อนจากการไหลของความร้อนจากด้านใน แต่ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของฉนวนกลับด้านในและด้านนอก



รูปภาพที่ 4.2.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิด้านในและด้านนอกของฉนวนหญ้าคา

จากรูปภาพที่ 4.2.3 แสดงค่าอุณหภูมิด้านนอกและด้านในของฉนวนหุ้มภาชนะที่มีมวลแห้งต่างกัน จะเห็นได้ว่าค่าของอุณหภูมิของแผ่นฉนวนด้านในจะมีค่าสูงกว่าแผ่นฉนวนด้านนอก เนื่องจากแผ่นฉนวนด้านในได้รับความร้อนที่ได้จากขดลวดโดยตรง แต่ด้านนอกนั้นจะได้รับการไหลของความร้อนจากด้านใน แต่ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของฉนวนกลับด้านในและด้านนอก



รูปภาพที่ 4.2.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิด้านในและด้านนอกของฉนวนผักตบชวา

จากรูปภาพที่ 4.2.4 แสดงค่าอุณหภูมิด้านนอกและด้านในของฉนวนผักตบชวาที่มีมวลแห้งต่างกัน จะเห็นได้ว่าค่าของอุณหภูมิของแผ่นฉนวนด้านในจะมีค่าสูงกว่าแผ่นฉนวนด้านนอก เนื่องจากแผ่นฉนวนด้านในได้รับความร้อนที่ได้จากขดลวดโดยตรง แต่ด้านนอกนั้นจะได้รับการไหลของความร้อนจากด้านใน แต่ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของฉนวนกลับด้านในและด้านนอก

#### 4.2.1 ตารางวิเคราะห์ dT ของฉนวนจากวัสดุธรรมชาติแต่ละชนิด

ตารางที่ 4.2.1.1 แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยด้านในและด้านนอกของฉนวนหุ้มภาชนะ

มวล kg	Ts,in	Ts,out	dT
59	183.78	77.47	106.30
94	188.59	56.00	132.59
123	174.00	38.32	135.68
160	173.91	63.32	110.59

ตารางที่ 4.2.1.2 แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยด้านในและด้านนอกของฉนวนกลบ

มวล kg	Ts,in	Ts,out	dT
56	163.56	91.54	72.02
79	190.29	79.47	110.81
120	176.67	53.03	123.64
134	160.23	50.25	109.98
97.25	162.69	68.57	104.12

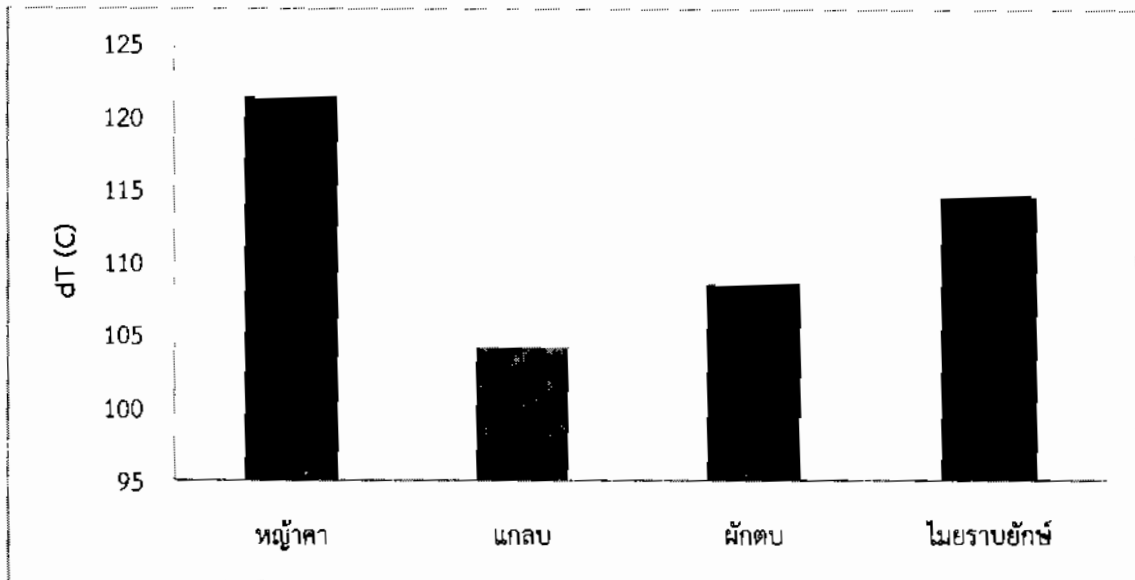
ตารางที่ 4.2.1.3 แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยด้านในและด้านนอกของฉนวนฝักตบ

มวล kg	Ts,in	Ts,out	dT
55	180.40	84.27	96.13
77	172.34	56.91	115.43
100	194.14	60.50	133.64
117	148.01	59.26	88.75
89.72	173.79	65.26	108.53

ตารางที่ 4.2.1.4 แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยด้านในและด้านนอกฉนวนไมยราบยักษ์

มวล kg	Ts,in	Ts,out	dT
56	187.72	101.76	85.96
83	181.56	56.72	124.85
116	170.72	57.79	112.94
135	172.54	38.24	134.30
116.13	175.63	52.65	114.51

### กราฟวิเคราะห์ dT ของฉนวนจากวัสดุธรรมชาติแต่ละชนิด

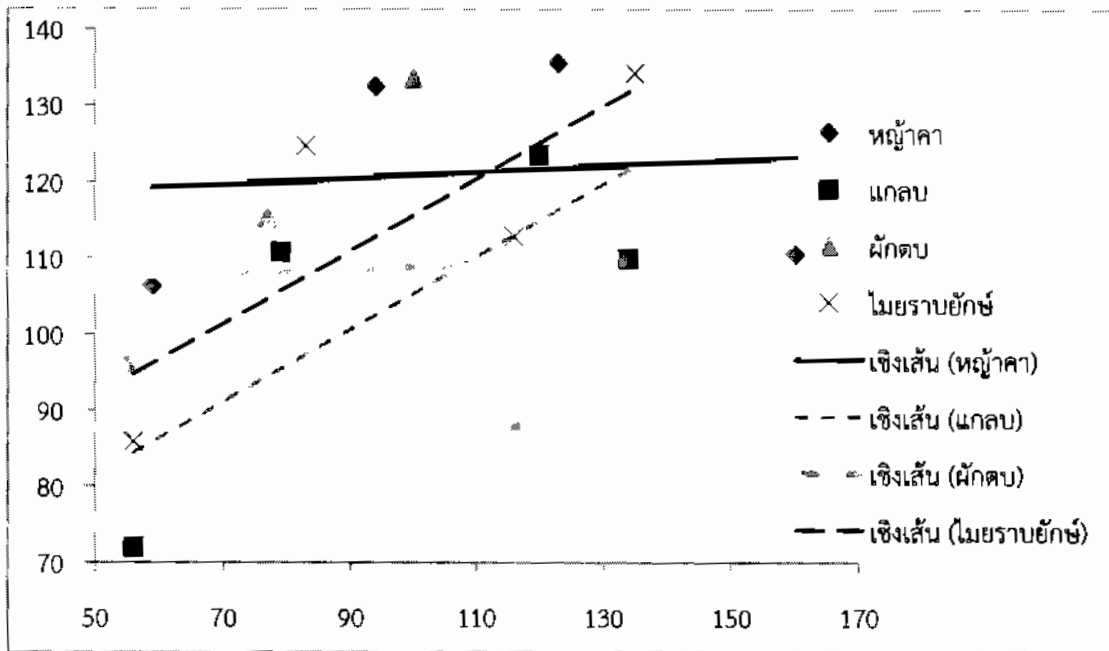


#### รูปที่ 4.2.5 ผลต่างอุณหภูมิภายในและภายนอกเฉลี่ยของวัสดุฉนวนธรรมชาติแต่ละชนิด

จากรูปที่ 4.2.5 และข้อมูลในตารางข้างต้น พืชที่มีค่า dT สูงที่สุดคือหน้้าค้้า และต่ำที่สุดคือแกลลบ ล้้ามร้ดร้ยงล้้าด้บว้สค้ที่มีค้้า dT จ้กม้กไปน้อยด้ด้งน้ี

หน้้าค้้า → ไมยร้บย้ก้ช้ → ผ้กค้บชว้ → แกลลบ

จากรูปที่ 4.2.5 ผลต่างอุณหภูมิภายในและภายนอกเฉลี่ยของวัสดุฉนวนธรรมชาติแต่ละชนิด เมื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างมวลและ dT ถ้าพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างมวล (m) และผลต่างของอุณหภูมิมีว้ด้ันน้และด้ันน้อก (dT) ของฉนวนธรรมชาติแต่ละชนิดด้งรูปที่ 4.2.6 พบว้แกลลบและไมยร้บย้ก้ช้แปรผ้นด้ร้ก้บการเปล้ยนเปล้งของมวล ส่วนหน้้าค้้าและผ้กค้บชว้ ค้้า dT มีแนวโน้้มค้งที่ มีการเปล้ยนเปล้งน้ท้ค้ท้างที่เพิ่มข้ันตามมวลที่เพิ่มข้ันน้อยม้ก ข้อมูลจ้ากรูปแสดงให้เห้้นว้ การล้ือกใช้ว้สค้ฉนวนจ้กไมยร้บย้ก้ช้หรือแกลลบ ค้ว้รล้ือกที่ค้้าค้ว้หนาแน่นสูงๆ ม้ใช้จ้งจ้ทำให้ dT ระหว้างด้ันน้และด้ันน้อกต้่างก้ันม้ก (เป็นฉนวนท้ดี) ส่วนการล้ือกว้สค้ฉนวนจ้กหน้้าค้้าหรือผ้กค้บนั้น ไม่จ้้าเป็นด้้องใช้ค้ว้หนาแน่นสูงม้กก็ด้ เนื่องจากไม่ด้้ทำให้ค้ว้เป็นฉนวนต้่างก้ันอย้างมีน้ยล้้าค้ญด้้อย้างด้ ะแสดงให้เห้้นน้รูปที่ 4.2.6



รูปที่ 4.2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างมวล (แกน X) และผลต่างของอุณหภูมิผิวด้านในและด้านนอกของฉนวนจากวัสดุธรรมชาติแต่ละชนิด

#### 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับค่าการนำความร้อนของวัสดุฉนวนที่ทำการทดสอบ

เมื่อ  $q_{flow}$ ,  $A$  และ  $L$  คงที่ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า  $k$  ของกล้วยและไม้ยราбыักษ์ เป็นไปในลักษณะเดียวกันคือ มีค่าแปรผันตรงกับมวลหรือความหนาแน่น ส่วนค่า  $k$  ของกล้วยาคาและ ฝักคอบนั้นมีการเปลี่ยนแปลงตามความหนาแน่นน้อยมาก ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับ  $dT$  นั้นเอง จากสมการ  $k = \frac{q_{flow}L}{A\Delta T}$  และกราฟในรูปที่ 4.2.6 สามารถนำมาวิเคราะห์ค่า  $k$  ที่ความหนาแน่นต่างๆ กันของวัสดุฉนวนแต่ละชนิดได้ดังนี้

#### 4.3.1 ตารางค่าการนำความร้อนของฉนวน

ตารางที่ 4.3.1.1 แสดงค่าการนำความร้อนของแกลบ

ความหนาแน่น ( $\text{kg/m}^3$ )	ค่าการนำความร้อน ( $\text{W/m. K}$ )
174.55	0.0846
278.10	0.0550
363.90	0.0493
473.37	0.0554

จากตารางที่ 4.3.1.1 แสดงค่าการนำความร้อนของแกลบ จะเห็นได้ว่าค่าการนำความร้อนของแกลบ จะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นที่นำมาหาค่านั้นได้จากมวลของแผ่นฉนวนแต่ละแผ่นคือค่ามวลขณะทดสอบที่วัดค่าได้จากตารางที่ 4.1.1

ตารางที่ 4.3.1.2 แสดงค่าการนำความร้อนของไมยราบ

ความหนาแน่น ( $\text{kg/m}^3$ )	ค่าการนำความร้อน ( $\text{W/m. K}$ )
165.68	0.0709
233.72	0.0488
355.02	0.0540
408.28	0.0454

จากตารางที่ 4.3.1.2 แสดงค่าการนำความร้อนของไมยราบ จะเห็นได้ว่าค่าการนำความร้อนของไมยราบจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นที่นำมาหาค่านั้นได้จากมวลของแผ่นฉนวนแต่ละแผ่นคือค่ามวลขณะทดสอบที่วัดค่าได้จากตารางที่ 4.1.1

ตารางที่ 4.3.1.3 แสดงค่าการนำความร้อนของหญ้าคา

ความหนาแน่น ( $\text{kg/m}^3$ )	ค่าการนำความร้อน ( $\text{W/m. K}$ )
165.68	0.0573
245.56	0.0460
343.19	0.0449
399.40	0.0551

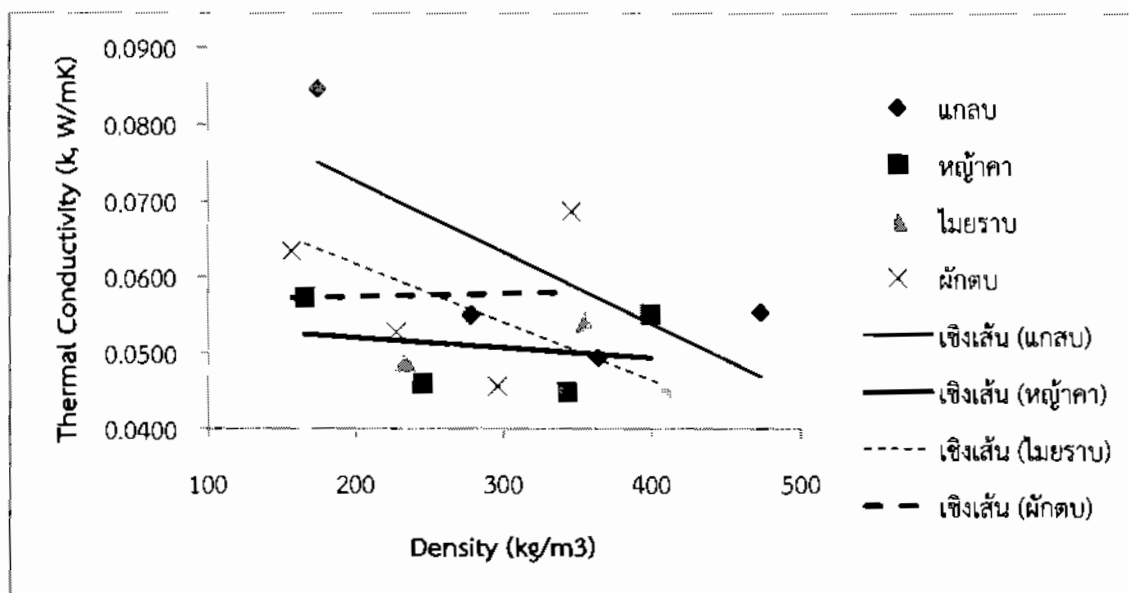
จากตารางที่ 4.3.1.3 แสดงค่าการนำความร้อนของหญ้าคา จะเห็นได้ว่าการนำความร้อนของหญ้าคาจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นที่นำมาหาค่านั้นได้จากมวลของแผ่นฉนวนแต่ละแผ่นคือค่ามวลขณะทดสอบที่วัดค่าได้จากตารางที่ 4.1.1

ตารางที่ 4.3.1.4 แสดงค่าการนำความร้อนของผักตบชวา

ความหนาแน่น ( $\text{kg/m}^3$ )	ค่าการนำความร้อน ( $\text{W/m. K}$ )
156.80	0.0634
227.81	0.0528
295.8	0.0456
346.15	0.0687

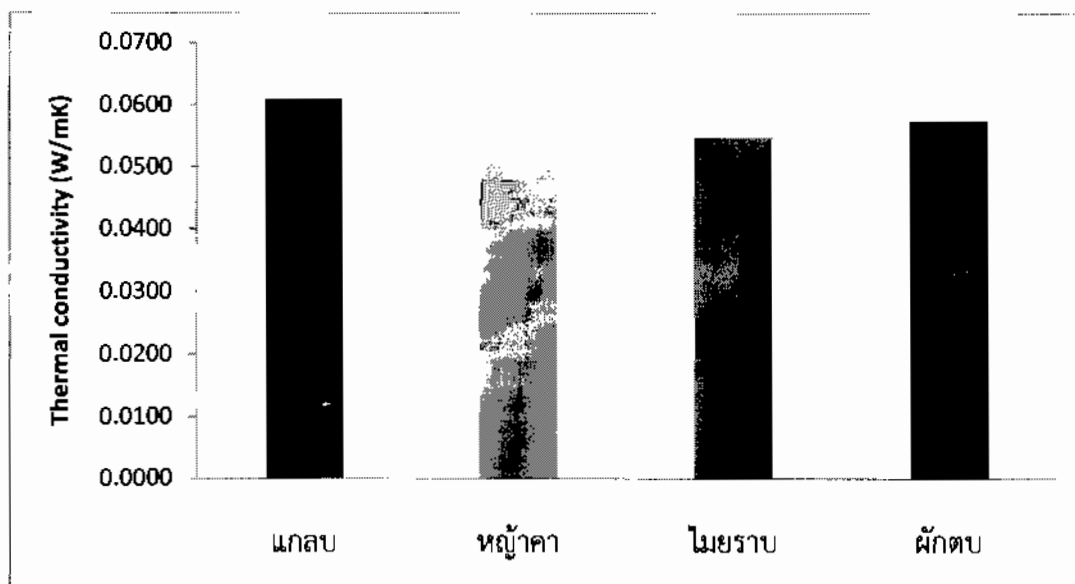
จากตารางที่ 4.3.1.4 แสดงค่าการนำความร้อนของผักตบชวา จะเห็นได้ว่าการนำความร้อนของผักตบชวาจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นที่นำมาหาค่านั้นได้จากมวลของแผ่นฉนวนแต่ละแผ่นคือค่ามวลขณะทดสอบที่วัดค่าได้จากตารางที่ 4.1.1





รูปภาพที่ 4.3.1 แสดงค่าการนำความร้อนของฉนวนแต่ละชนิด

จากกราฟรูปภาพที่ 4.3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำความร้อนของฉนวนแต่ละชนิด และค่าความหนาแน่นของแผ่นฉนวน จะเห็นได้ว่าเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้นค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนจะลดต่ำลงตามลำดับ และจะค่อยๆเพิ่มขึ้นในเวลาต่อมา เนื่องจากความร้อนที่เข้าไปในแผ่นฉนวนจะเกิดการถ่ายเท โดยอาศัยทั้งหลักของการพาความร้อน การแผ่รังสีความร้อนและการนำความร้อน ที่ความหนาแน่นต่ำ วัสดุฉนวนที่ทดสอบมีช่องว่างภายในสูง ทำให้การถ่ายเทความร้อนโดยการพา และการแผ่รังสีความร้อนเกิดขึ้นได้มากกว่าการนำความร้อน อย่างไรก็ตามหากพิจารณาว่าผลต่างอุณหภูมิระหว่างฉนวนสองด้านเกิดเนื่องจากการนำความร้อนเท่านั้น ก็จะทำให้การประเมินค่าการนำความร้อนของวัสดุมีค่าสูงกว่าความเป็นจริงในช่วงความหนาแน่นต่ำ (ดังแสดงในรูปที่ 4.3.1) เมื่อความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น เนื้อวัสดุอยู่ชิดกันมากขึ้นผลของการถ่ายเทความร้อนโดยการนำจะโดดเด่นมากกว่าการพา และการแผ่รังสีความร้อน ทำให้ค่าการนำความร้อน (k) มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อความหนาแน่นของวัสดุฉนวนเพิ่มมากขึ้นนั่นเอง เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่น และประสิทธิภาพของการนำความร้อนของแผ่นฉนวนแต่ละชนิดในรูปที่ 4.3.1 สามารถสังเกตได้ว่าแกลบจะมีค่าการนำความร้อนสูงที่สุด รองลงไปได้แก่ ผักตบขาว ไมยราบยักษ์ และหญ้าคา ตามลำดับ



รูปภาพที่ 4.3.2 แสดงค่าเฉลี่ยของค่าการนำความร้อนของแผ่นวัสดุฉนวนธรรมชาติแต่ละชนิด

จากรูปที่ รูปภาพที่ 4.3.2 แสดงค่าเฉลี่ยของค่าการนำความร้อนของวัสดุฉนวนแต่ละชนิดที่ค่าความหนาแน่นต่างๆ กัน จากรูปจะเห็นได้ว่าฉนวนหญ้าคาจะมีค่าการนำที่ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับฉนวนไมยราบ แกลบ และผักตบชวา โดยจะสรุปได้ว่าฉนวนที่มีค่าการนำความร้อนต่ำจะมีความเป็นฉนวนสูงกว่าฉนวนที่มีค่าการนำความร้อนสูง

#### 4.4 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุฉนวน

##### 4.4.1 ตารางค่าความต้านทานความร้อนของฉนวน

ตารางที่ 4.4.1.1 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของแกลบ

ความหนาแน่น ( $\text{kg/m}^3$ )	ค่าการนำความร้อน ( $\text{m.K/W}$ )
174.55	11.816
278.10	18.181
363.90	20.265
473.37	18.035

ตารางที่ 4.3.1.2 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของไมยราบ

ความหนาแน่น ( $\text{kg/m}^3$ )	ค่าความต้านทานความร้อน ( $\text{m.K/W}$ )
165.68	14.120
233.72	20.482
355.02	18.528
408.28	22.027

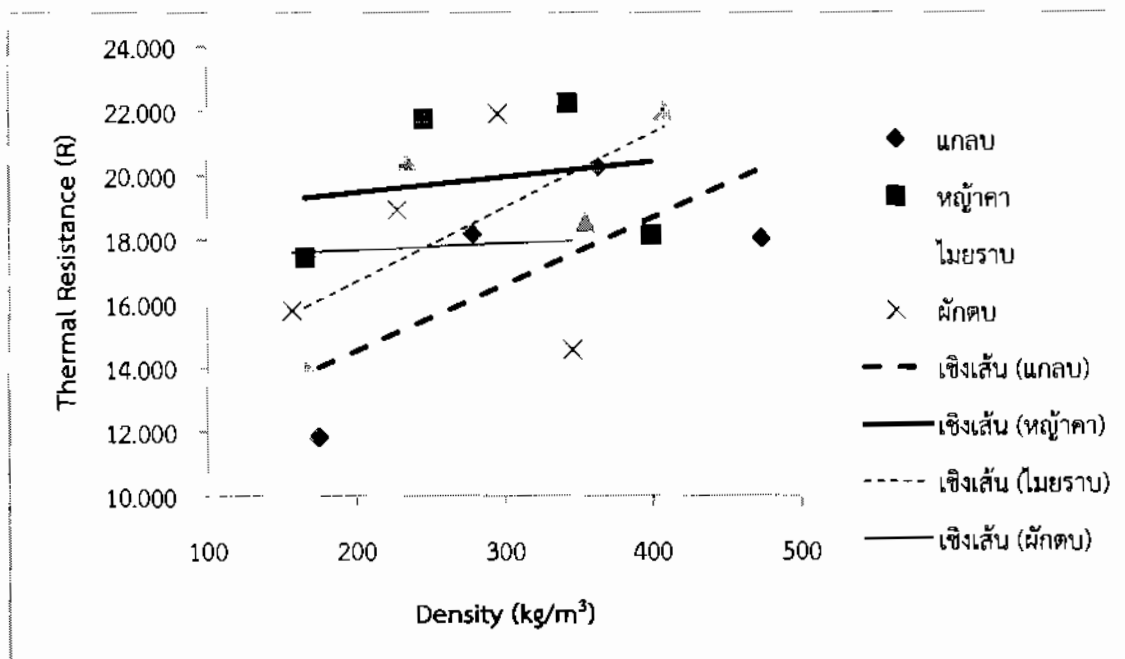
ตารางที่ 4.3.1.3 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของหญ้าคา

ความหนาแน่น ( $\text{kg/m}^3$ )	ค่าความต้านทานความร้อน ( $\text{m.K/W}$ )
165.68	17.441
245.56	21.754
343.19	22.258
399.40	18.144

ตารางที่ 4.4.1.4 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของผักตบชวา

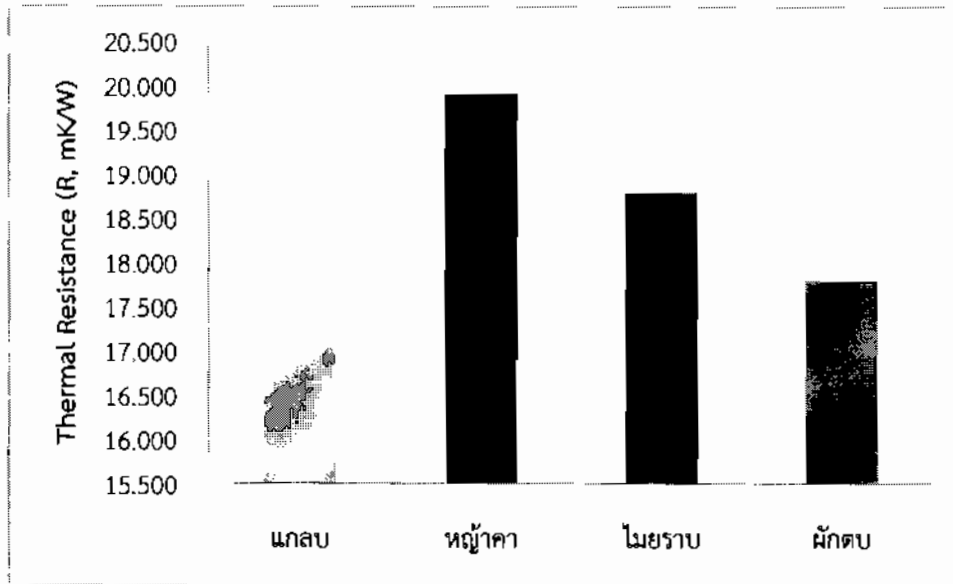
ความหนาแน่น ( $\text{kg/m}^3$ )	ค่าความต้านทานความร้อน ( $\text{m. K/W}$ )
156.80	15.773
227.81	18.938
295.8	21.924
346.15	14.559

ตารางที่ 4.4.1.1 – 4.4.1.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับค่าความต้านทานการนำความร้อนของวัสดุฉนวนที่ทำการศึกษาทดสอบข้อมูลจากตารางสามารถนำเสนอให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ในรูปแบบกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 4.4.1



รูปภาพที่ 4.4.1 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวน (R)

รูปภาพที่ 4.4.1 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวน หรือ R Value จากรูปแสดงให้เห็นว่า ค่าความต้านทานความร้อนของ หญ้าคาและผักตบขามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความหนาแน่นของวัสดุฉนวนน้อยมาก เนื่องจากลักษณะของเส้นใยในวัสดุทำให้ความร้อนไหลผ่านได้ยากนั่นเอง ส่วน แกลบและไมยราบยักษ์นั้นมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานความร้อน ในทิศทางที่เพิ่มขึ้นตามความหนาแน่นอย่างชัดเจน เนื่องจากลักษณะของวัสดุที่เป็นท่อน เมื่ออัดกันแน่นขึ้นจึงทำให้ช่องว่างอากาศในฉนวนลดน้อยลง อิทธิพลของการถ่ายเทความร้อนโดยการพาจึงลดลง ส่งผลให้ค่าผลต่างอุณหภูมิภายในและภายนอกเพิ่มสูงขึ้น (ดังแสดงในรูปที่ 4.2.6) เมื่อนำมาประเมินหาค่าการถ่ายเทความร้อน จึงพบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มสูงขึ้นนั่นเอง จากรูปที่ 4.4.1 แสดงให้เห็นวัสดุฉนวนที่ทำจากหญ้าคา มีค่าความต้านทานความร้อนสูงสุด รองลงมาได้แก่ ไมยราบยักษ์ ผักตบขวา และแกลบ ตามลำดับ (ดังแสดงในรูปที่ 4.4.2)



รูปภาพที่ 4.4.2 แสดงค่าความต้านทานความร้อนเฉลี่ยของแผ่นวัสดุฉนวนธรรมชาติแต่ละชนิด

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาได้ทำการทดสอบหาค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนแต่ละชนิดเพื่อให้ได้ค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนออกมา และเพื่อให้ทราบว่าค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนแต่ละชนิด เพื่อที่จะได้นำมาเปรียบเทียบว่าค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนชนิดไหนมีค่าการนำความร้อนได้ดีที่สุด สามารถนำมาสรุปได้ดังนี้

1. อุณหภูมิแต่ละจุดที่ใช้วัดมีผลต่อการหาค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวน เพราะในการคำนวณเราใช้ค่าของอุณหภูมิเปรียบเทียบกันระหว่างอุณหภูมิ
2. การอัดของแผ่นฉนวนมีผลต่อค่าความหนาแน่น ยิ่งอัดแผ่นฉนวนแน่นมากเท่าไรค่าความหนาแน่นก็จะเพิ่มขึ้น เพราะแรงอัดก็มีผลต่อค่าความหนาแน่นของแผ่นฉนวน
3. ค่าของความหนาแน่นของแผ่นฉนวนแต่ละชนิดมีผลต่อค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนแต่ละชนิด
4. วัสดุที่มีค่าความต้านทานความร้อนได้ดีที่สุด คือ ฐู่้าคาคา ไมยราบ ผักตบชวา แกลบ และ วัสดุที่มีค่าความต้านทานทางความร้อนต่ำที่สุด คือ ฐู่้าคาคามีค่าการนำความร้อนคือ  $0.0508 \text{ W/m. K}$  ไมยราบมีค่าการนำความร้อนคือ  $0.0548 \text{ W/m. K}$  ผักตบชวามีค่าการนำความร้อนคือ  $0.0576 \text{ W/m. K}$  และต่ำที่สุดคือแกลบซึ่งมีค่าการนำความร้อนคือ  $0.0611 \text{ W/m. K}$
5. ค่าของการนำความร้อนของแผ่นฉนวนมีผลต่อการความต้านทานทางความร้อนของแผ่นฉนวน แผ่นฉนวนที่มีค่าความต้านทานความร้อนสูงจะมีความเป็นฉนวนดีที่สุดและฉนวนที่มีค่าความต้านทานความร้อนสูงที่สุดคือฐู่้าคาคามีค่าความต้านทานความร้อน เท่ากับ  $19.899 \text{ m.K/W}$  ไมยราบคามีค่าความต้านทานความร้อน เท่ากับ  $18.785 \text{ m.K/W}$  ผักตบชวาคามีค่าความต้านทานความร้อน เท่ากับ  $17.799 \text{ m.K/W}$  และต่ำที่สุดคือแกลบซึ่งมีค่าความต้านทานความร้อน เท่ากับ  $17.074 \text{ m.K/W}$

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดลองโดยใช้กล่องไม่เป็นแบบจำลองให้เหมือนห้อง โดยใช้สายเทอร์โมคอปเปิ้ลในการวัดอุณหภูมิของแต่ละจุด ทำให้ความร้อนไหลผ่านออกทางช่องเล็กๆของกล่องได้
2. การใช้กาวประสานสำหรับงานวิจัยนี้ไม่สามารถระบุส่วนผสมทางเคมีได้ เนื่องจากเหตุผลทางการค้าของผู้ผลิต ซึ่งส่วนผสมของกาวจะเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อสมบัติของฉนวน ส่งผลต่อความสามารถในการยึดเกาะของกาวไม่สม่ำเสมอ
3. กรณีที่ศึกษายังมีปัญหาเกี่ยวกับค่าของความร้อนที่ไหลออกสู่อากาศภายนอกกล่องที่ไม่สามารถวัดค่าได้อยู่

## บรรณานุกรม



### บรรณานุกรม

1. ธนัญชัย ปคุณวรกิจ. ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. โครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต ลกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2549
2. กิตติศักดิ์ บัวศรี. การผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากฟางข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2544.
3. วรธรรม อุ่นจิตติชัย. (ตุลาคม 2548). นักวิชาการป่าไม้ ระดับ 8 หัวหน้ากลุ่มงานพัฒนาอุตสาหกรรมไม้และป้องกันรักษาเนื้อไม้ สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้. สัมภาษณ์
4. จักรกริณ พิสูตรเสียง ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนใยพารา หลักรัฐสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง.การถ่ายเทความร้อน.กรุงเทพฯ ;สำนักพิมพ์ท้อปม,2557.
6. สุนันท์ ศรีณนิตย์.การถ่ายเทความร้อน.พิมพ์ครั้งที่3,กรุงเทพฯ : งานเอกสารและการพิมพ์ สจธ., 2530.
7. <http://th.wikipedia.org>
8. Heat Transfer J.P Holman 1992
9. <http://www.thaiedresearch.org>

## ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
ตารางข้อมูลและค่าการนำความร้อนของวัสดุ

ตาราง ก.1: แสดงคุณสมบัติของค่าการนำความร้อนของวัสดุ

Thermal Conductivity - $k$ - $W/(m \cdot K)$			
Material/Substance	Temperature - $^{\circ}C$		
	25	125	225
Acetone	0.16		
Acetylene (gas)	0.2		
Acrylic	0.018		
Air, atmosphere (gas)	0.024		
Alcohol	0.17		
Aluminum	250	255	250
Aluminum Oxide	30		
Ammonia (gas)	0.022		
Asbestos,	18.5		
Argon (gas)	0.016		
Asbestos-cement board	0.744		
Asbestos-cement sheets	0.166		
Antimony Asbestos-cement loosely packed	2.07		
Asbestos mill board	0.15		
Asphalt	0.14		
Balsa wood	0.75		
Bitumen	0.048		
Bitumen	0.17		
Benzene	0.16		
Beryllium	218		
Bitumen	0.17		
Blast furnace gas (gas)	0.02		
Brass	109		
Breeze block	0.10 - 0.20		
Brick dense	1.31		
Brickwork, common	0.6 - 1.0		
Brickwork, dense	1.6		
Cadmium	92		

ตาราง ก. 2 : แสดงค่าการไหลของกระแสไฟฟ้ามายังแกลบ 100 กรัม

เวลา	จำนวน ด้านใน	ก่องด้านใน	จำนวนค่า ด้านหน้า	จำนวนค่า ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวลู้อ้อม
16:04 น.	39.03	38.62	37.40	39.66	35.61	28.66
16:05 น.	38.55	38.86	37.58	38.98	35.19	28.84
16:06 น.	39.29	50.97	41.58	40.25	34.63	28.73
16:07 น.	49.65	88.53	65.70	56.52	35.50	28.36
16:08 น.	64.17	108.44	89.65	76.46	38.07	29.12
16:09 น.	76.06	123.30	106.11	91.61	41.42	30.52
16:10 น.	86.48	133.08	116.24	102.42	44.86	28.77
16:11 น.	94.41	139.88	122.89	110.09	47.96	29.03
16:12 น.	100.59	146.31	128.12	115.73	50.75	29.30
16:13 น.	105.40	152.45	132.44	120.60	53.26	29.18
16:14 น.	109.77	156.75	136.30	124.92	55.58	29.58
16:15 น.	113.70	161.47	140.44	129.47	57.69	29.60
16:16 น.	116.62	165.15	144.03	133.43	59.54	29.05
16:17 น.	118.94	169.05	146.91	136.60	61.40	29.52
16:18 น.	122.06	172.40	149.42	139.63	62.90	29.63
16:19 น.	124.56	175.64	151.64	142.08	64.54	28.79
16:20 น.	126.63	177.76	153.56	144.36	65.84	29.13
16:21 น.	128.51	179.38	155.29	146.48	67.16	29.05
16:22 น.	130.25	181.80	156.82	148.22	68.53	29.62
16:23 น.	131.89	183.12	158.38	150.17	69.66	29.31
16:24 น.	133.48	185.42	159.92	151.93	70.47	29.72
16:25 น.	135.07	186.83	161.30	153.50	71.43	29.20
16:26 น.	136.62	187.76	162.52	154.85	72.61	29.99
16:27 น.	138.26	189.96	164.21	156.50	73.50	29.52

เวลา	จำนวน ด้านใน	กล่องด้านใน	จำนวนค่า ด้านหน้า	จำนวนค่า ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวกซ์อม
16:28 น.	139.80	192.36	165.70	158.03	74.57	29.65
16:29 น.	141.19	193.26	167.03	159.51	75.28	29.08
16:30 น.	142.52	194.71	168.16	160.60	76.21	29.43
16:31 น.	143.74	196.54	169.24	161.77	76.72	29.49
16:32 น.	144.96	196.74	170.16	162.84	77.32	28.91
16:33 น.	145.94	197.35	170.98	163.80	78.21	29.37
16:34 น.	146.86	197.01	171.39	164.59	78.63	29.97
16:35 น.	147.39	196.88	171.59	165.31	79.37	29.25
16:36 น.	148.00	197.03	172.22	166.10	79.96	29.90
16:37 น.	148.66	199.23	173.18	166.89	80.31	29.05
16:38 น.	149.59	200.07	174.12	167.69	80.73	29.84
16:39 น.	150.37	201.00	174.94	168.66	81.27	28.90
16:40 น.	150.97	201.64	175.60	169.42	81.78	29.19
16:41 น.	152.94	201.91	176.62	171.06	82.50	29.84
16:42 น.	155.45	204.41	176.81	172.64	84.23	27.88
16:43 น.	157.55	205.31	177.10	173.64	85.77	28.41
16:44 น.	158.67	202.91	178.30	174.50	86.94	28.99
16:45 น.	159.50	202.58	178.77	174.83	87.76	29.10
16:46 น.	160.16	202.45	179.17	175.20	88.42	29.22
16:47 น.	160.75	203.38	179.60	175.69	88.95	29.70
16:48 น.	161.19	203.91	179.96	175.94	89.37	28.73
16:49 น.	161.61	204.34	180.29	176.31	89.46	29.01
16:50 น.	162.04	204.01	180.59	176.57	89.87	29.26
16:51 น.	162.34	204.56	180.79	176.84	90.35	29.32
16:52 น.	162.55	204.73	181.03	177.10	90.41	28.58

เวลา	จำนวน ด้านใน	กล่องด้านใน	จำนวนค่า ด้านหน้า	จำนวนค่า ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวกซ์อม
16:53 น.	162.62	204.53	181.25	177.32	90.63	28.84
16:54 น.	162.88	205.24	181.47	177.66	90.86	28.74
16:55 น.	163.16	205.51	181.73	177.92	91.14	29.05
16:56 น.	163.45	205.97	182.01	178.24	91.21	29.24
16:57 น.	163.70	205.98	182.28	178.44	91.32	29.30
16:58 น.	163.95	206.33	182.52	178.80	91.53	28.87
16:59 น.	164.16	206.15	182.52	179.53	92.66	28.74
17:00 น.	164.67	207.13	183.14	180.12	93.05	29.08
17:01 น.	165.02	205.11	183.41	180.49	93.35	29.18
17:02 น.	165.33	206.59	183.44	180.57	93.39	29.79
17:03 น.	165.60	205.52	183.77	180.97	93.72	28.42
17:04 น.	166.23	205.72	183.98	182.03	93.89	28.64

ตาราง ก. 3 : แสดงค่าการไหลของกระแสไฟฟ้ามายังแกลบ 150 กรัม

เวลา	จำนวน ด้านใน	กล่องด้าน ใน	จำนวนค่า ด้านหน้า	จำนวนค่า ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวลู้อ้อม
17:37 น.	29.50	31.30	31.68	31.88	28.00	28.54
17:38 น.	29.53	31.38	31.52	31.77	28.05	28.86
17:39 น.	39.02	68.03	40.08	36.57	28.18	29.07
17:40 น.	58.43	103.90	57.51	48.66	28.61	28.95
17:41 น.	72.49	122.89	70.86	59.03	29.53	29.22
17:42 น.	83.10	135.86	82.31	68.35	31.03	28.89
17:43 น.	92.22	143.91	90.06	75.37	32.93	28.86
17:44 น.	99.59	152.47	96.17	80.85	35.05	29.05
17:45 น.	105.98	156.69	101.44	85.97	37.24	28.86
17:46 น.	111.56	161.70	106.02	90.57	39.36	28.56
17:47 น.	115.53	165.47	109.89	94.66	41.34	28.65
17:48 น.	119.91	168.27	113.49	98.40	43.13	29.06
17:49 น.	123.91	171.15	116.96	101.85	44.55	28.89
17:50 น.	127.54	174.08	119.96	105.12	45.87	29.45
17:51 น.	131.63	178.09	123.41	108.33	47.04	29.65
17:52 น.	135.64	181.02	126.86	111.74	47.99	29.17
17:53 น.	138.69	183.77	129.79	114.80	48.91	29.09
17:54 น.	141.60	185.96	132.37	117.46	49.78	29.13
17:55 น.	144.12	187.82	134.45	119.94	50.57	29.66
17:56 น.	146.52	190.27	136.29	122.02	51.43	28.91
17:57 น.	148.88	192.05	138.18	124.01	52.22	29.79
17:58 น.	151.13	193.73	140.01	125.93	53.03	29.18
17:59 น.	153.20	195.15	141.72	127.73	53.82	29.79
18:00 น.	155.03	196.48	143.34	129.52	54.61	29.37



เวลา	จำนวน ด้านใน	ก่องด้าน ใน	จำนวนค่า ด้านหน้า	จำนวนค่า ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวก้ออม
18:01 น.	156.69	197.22	145.07	131.44	55.37	29.25
18:02 น.	158.38	196.86	146.97	133.62	56.14	29.54
18:03 น.	159.94	197.74	148.39	135.34	56.95	29.43
18:04 น.	161.42	199.02	149.68	136.81	57.88	29.75
18:05 น.	162.83	200.07	151.01	138.22	58.72	29.51
18:06 น.	164.12	200.90	152.11	139.54	59.55	29.22
18:07 น.	165.41	201.60	153.22	140.73	60.36	29.65
18:08 น.	166.71	202.92	154.38	142.00	61.28	29.62
18:09 น.	168.08	203.84	155.44	143.06	62.12	30.08
18:10 น.	169.39	204.80	156.46	144.17	63.07	29.59
18:11 น.	170.69	206.07	157.51	145.22	63.95	29.07
18:12 น.	171.88	207.05	158.47	146.30	64.80	29.12
18:13 น.	172.83	208.02	159.22	147.12	65.67	29.55
18:14 น.	174.09	209.65	160.21	148.00	66.55	29.55
18:15 น.	175.68	211.05	161.45	149.14	67.47	29.31
18:16 น.	177.41	212.70	162.83	150.43	68.35	29.05
18:17 น.	178.96	214.06	164.04	151.63	69.28	29.45
18:18 น.	180.41	215.32	165.19	152.77	70.24	29.82
18:19 น.	181.79	216.53	166.25	153.88	71.13	29.41
18:20 น.	183.09	217.76	167.25	154.92	72.11	29.81
18:21 น.	184.11	218.43	168.02	155.77	73.05	29.68
18:22 น.	185.17	219.46	168.89	156.68	73.96	29.43
18:23 น.	186.24	220.22	169.75	157.57	74.83	29.54
18:24 น.	187.24	220.95	170.48	158.30	75.84	29.44
18:25 น.	188.06	221.34	171.13	159.03	76.61	29.22

เวลา	จำนวน ด้านใน	กล้องด้าน ใน	จำนวนค่า ด้านหน้า	จำนวนค่า ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวกซ์อม
18:26 น.	188.79	221.57	171.70	159.72	77.40	29.69
18:27 น.	189.42	221.53	172.20	160.29	78.25	29.81
18:28 น.	189.81	222.11	172.52	160.71	79.02	29.88
18:29 น.	190.42	222.44	173.02	161.24	79.76	29.70
18:30 น.	191.03	223.05	173.54	161.82	80.59	29.92
18:31 น.	191.74	223.56	174.13	162.39	81.25	30.24
18:32 น.	192.43	224.04	174.68	162.93	81.99	30.61
18:33 น.	193.03	224.47	175.22	163.42	82.51	30.26
18:34 น.	193.53	224.85	175.69	163.94	83.11	30.20
18:35 น.	194.06	225.25	176.23	164.44	83.70	30.48
18:36 น.	194.58	225.83	176.69	164.93	84.29	29.80
18:37 น.	195.25	226.60	177.29	165.47	84.93	29.89

ตาราง ก. 4 : แสดงค่าการไหลของกระแสไฟฟ้ามายังแกลบ 200 กรัม

เวลา	จำนวน ด้านใน	ด้านใน กล่อง	จำนวนค่า ด้านหน้า	จำนวนค่า ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวลู้ออม
10:06 น.	25.73	26.43	26.08	26.72	25.84	25.02
10:07 น.	25.72	26.37	26.17	26.68	25.86	25.22
10:08 น.	26.68	30.77	28.52	27.48	25.85	25.07
10:09 น.	40.95	58.69	51.99	40.78	25.90	25.01
10:10 น.	58.45	83.19	77.36	58.13	25.96	25.01
10:11 น.	71.90	102.19	93.62	70.32	26.12	25.00
10:12 น.	81.30	114.36	103.18	78.75	26.42	25.06
10:13 น.	88.43	123.29	109.61	85.25	26.91	25.13
10:14 น.	94.23	130.70	114.44	90.50	27.61	25.10
10:15 น.	99.17	135.05	118.45	95.09	28.44	25.19
10:16 น.	103.51	139.25	122.02	99.17	29.44	25.04
10:17 น.	107.54	142.74	125.41	102.71	30.55	25.20
10:18 น.	111.26	145.70	128.44	106.02	31.73	25.11
10:19 น.	114.59	148.69	131.07	109.03	32.96	25.18
10:20 น.	117.72	150.88	133.30	111.79	34.28	25.26
10:21 น.	120.75	153.39	135.67	114.34	35.54	25.22
10:22 น.	123.48	155.19	137.80	117.02	36.76	25.22
10:23 น.	126.36	157.67	140.23	119.18	37.87	25.38
10:24 น.	128.94	159.88	142.23	121.41	39.03	25.23
10:25 น.	131.42	161.48	144.24	123.47	40.08	25.36
10:26 น.	133.78	163.19	146.16	125.49	41.04	25.44
10:27 น.	136.21	164.25	148.21	127.68	41.92	25.54
10:28 น.	138.38	165.62	150.20	130.09	42.70	25.55
10:29 น.	140.50	167.18	152.08	132.16	43.43	25.51

เวลา	จำนวน ด้านใน	กล่องด้าน ใน	จำนวนค่า ด้านหน้า	จำนวนค่า ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวกซ์อม
10:30 น.	142.49	168.47	153.80	133.94	44.07	25.69
10:31 น.	144.32	169.80	155.56	135.70	44.69	25.64
10:32 น.	146.41	170.58	156.57	137.04	45.18	25.65
10:33 น.	148.16	171.86	157.77	138.34	45.71	25.78
10:34 น.	149.79	172.95	158.89	139.61	46.20	25.78
10:35 น.	151.30	174.00	159.98	140.84	46.61	25.88
10:36 น.	152.68	174.85	161.04	141.94	46.93	25.61
10:37 น.	153.98	175.84	162.03	143.01	47.22	25.86
10:38 น.	155.24	176.81	162.96	144.00	47.58	25.84
10:39 น.	156.45	177.70	163.92	144.97	47.90	25.91
10:40 น.	157.74	178.64	164.97	145.94	48.18	25.96
10:41 น.	158.98	179.60	165.88	146.89	48.46	26.01
10:42 น.	160.17	180.62	166.74	147.78	48.65	25.93
10:43 น.	161.24	181.37	167.55	148.59	48.89	26.07
10:44 น.	162.28	182.33	168.30	149.39	49.13	26.35
10:45 น.	163.29	183.10	169.07	150.13	49.37	26.40
10:46 น.	164.25	183.83	169.78	150.84	49.51	26.48
10:47 น.	165.02	184.41	170.24	151.41	49.74	26.43
10:48 น.	165.84	185.08	170.82	151.97	50.01	26.47
10:49 น.	166.74	185.82	171.44	152.54	50.25	26.50
10:50 น.	167.58	186.47	172.07	153.16	50.44	26.65
10:51 น.	168.42	187.15	172.69	153.73	50.67	26.62
10:52 น.	169.15	187.69	173.19	154.29	50.86	26.66
10:53 น.	169.84	189.91	173.41	154.70	51.43	26.83
10:54 น.	171.77	191.80	175.45	156.52	51.59	26.85

เวลา	จำนวน ด้านใน	กล่องด้าน ใน	จำนวนตำ ด้านหน้า	จำนวนตำ ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวกซ้อน
10:55 น.	173.59	191.85	178.08	158.36	51.92	26.84
10:56 น.	175.07	193.01	179.53	159.53	52.23	26.46
10:57 น.	176.22	193.54	180.67	160.55	52.49	26.85
10:58 น.	177.44	194.62	181.56	161.46	52.83	26.87
10:59 น.	178.58	195.17	182.55	162.32	53.20	26.99
11:00 น.	179.49	195.68	183.49	163.34	53.65	27.22
11:01 น.	180.50	196.41	184.10	163.99	54.03	27.20
11:02 น.	181.34	197.06	184.96	164.82	54.41	27.14
11:03 น.	182.27	197.72	185.68	165.56	54.76	27.14
11:04 น.	183.14	198.33	186.28	166.18	55.14	27.20
11:05 น.	183.89	198.84	186.74	166.66	55.56	27.00
11:06 น.	185.07	200.37	186.43	166.34	56.29	27.29

ตาราง ก. 5 : แสดงค่าการไหลของกระแสไฟฟ้ามายังแกลบ 250 กรัม

เวลา	จำนวน ด้านใน	ด้านใน กล่อง	จำนวนค่า ด้านหน้า	จำนวนค่า ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวกต์ต่อม
13:16 น.	27.81	28.41	28.70	29.01	27.57	30.46
13:17 น.	27.84	28.38	28.67	28.97	27.57	30.13
13:18 น.	27.80	28.36	28.68	28.93	27.56	28.03
13:19 น.	31.59	44.36	35.57	35.35	27.57	29.27
13:20 น.	43.60	69.98	54.25	52.56	27.63	27.70
13:21 น.	55.39	90.19	69.60	66.80	27.71	27.86
13:22 น.	64.67	104.44	79.93	76.76	27.83	27.54
13:23 น.	72.04	115.74	87.33	84.22	28.05	29.20
13:24 น.	77.98	123.91	93.11	90.32	28.42	29.56
13:25 น.	82.83	129.48	97.83	95.24	28.86	29.24
13:26 น.	86.96	134.08	101.75	99.33	29.44	29.54
13:27 น.	90.82	138.21	105.27	102.96	30.09	30.76
13:28 น.	94.49	142.15	108.58	106.43	30.85	27.59
13:29 น.	97.85	145.08	111.67	109.60	31.63	30.58
13:30 น.	101.10	148.07	114.53	112.57	32.46	27.77
13:31 น.	104.26	150.56	117.31	115.47	33.39	29.22
13:32 น.	107.09	153.11	119.85	118.14	34.25	27.48
13:33 น.	109.79	155.36	122.29	120.64	35.14	28.40
13:34 น.	112.45	157.65	124.64	123.04	36.06	27.66
13:35 น.	114.85	159.70	126.73	125.20	36.88	28.72
13:36 น.	117.20	161.30	128.89	127.43	37.72	30.15
13:37 น.	119.34	163.25	130.85	129.45	38.46	28.77
13:38 น.	121.41	165.00	132.84	131.44	39.30	28.28
13:39 น.	123.30	166.42	134.47	133.26	40.02	28.83

เวลา	จำนวน ด้านใน	ด้านใน กล่อง	จำนวนค่า ด้านหน้า	จำนวนค่า ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวกล้อม
13:40 น.	125.34	167.64	136.22	135.02	40.73	29.19
13:41 น.	127.37	168.26	137.94	136.72	41.41	27.66
13:42 น.	129.25	168.93	139.49	138.28	41.99	30.35
13:43 น.	131.08	169.88	141.03	139.90	42.52	30.18
13:44 น.	132.95	171.01	142.48	141.38	43.08	29.81
13:45 น.	134.62	172.08	143.84	142.76	43.59	28.62
13:46 น.	136.26	172.87	145.05	144.05	44.04	29.13
13:47 น.	137.88	173.81	146.26	145.28	44.50	28.04
13:48 น.	139.38	174.80	147.44	146.52	44.89	28.03
13:49 น.	140.85	175.54	148.57	147.65	45.27	29.43
13:50 น.	142.19	176.48	149.57	148.70	45.59	30.04
13:51 น.	143.60	177.34	150.63	149.72	45.94	28.92
13:52 น.	144.92	177.71	151.65	150.75	46.31	28.73
13:53 น.	146.16	178.53	152.53	151.71	46.62	29.87
13:54 น.	147.38	179.16	153.43	152.63	46.93	30.57
13:55 น.	148.57	179.96	154.33	153.51	47.19	29.08
13:56 น.	149.68	180.52	155.19	154.44	47.42	28.39
13:57 น.	150.78	181.09	155.98	155.24	47.67	28.17
13:58 น.	151.83	181.71	156.74	156.00	47.89	30.10
13:59 น.	152.89	182.25	157.48	156.72	48.10	29.41
14:00 น.	153.83	182.77	158.12	157.40	48.41	29.27
14:01 น.	154.75	183.31	158.80	158.09	48.68	30.38
14:02 น.	155.67	183.71	159.46	158.76	48.86	27.84
14:03 น.	156.56	183.57	160.06	159.43	49.05	28.44
14:04 น.	157.47	183.74	160.75	160.13	49.36	29.00

เวลา	ณวน ด้านใน	ด้านใน กล่อง	ณวนค่า ด้านหน้า	ณวนค่า ด้านหลัง	ณวน ด้านนอก	แวกด้อม
14:05 น.	158.30	184.09	161.29	160.71	49.58	29.10
14:06 น.	159.11	184.75	161.88	161.28	49.71	30.19
14:07 น.	159.91	185.30	162.35	161.76	49.99	29.56
14:08 น.	160.53	185.79	162.78	162.19	50.24	29.82
14:09 น.	161.17	186.22	163.11	162.58	50.49	28.21
14:10 น.	161.84	186.56	163.55	163.02	50.64	28.78
14:11 น.	162.48	187.10	163.95	163.43	50.91	30.85
14:12 น.	163.17	187.69	164.43	163.84	51.17	29.71
14:13 น.	163.80	188.11	164.82	164.21	51.40	28.84
14:14 น.	164.45	188.59	165.14	164.59	51.68	28.62
14:15 น.	165.09	188.96	165.62	165.00	51.89	30.35
14:16 น.	165.73	189.83	165.86	165.27	52.19	29.56



ตาราง ก. 6 : แสดงค่าการไหลของกระแสไฟฟ้ามายังไมยราบ 100 กรัม

เวลา	ฉนวน ด้านใน	ด้านใน กล่อง	ฉนวนค่า ด้านหน้า	ฉนวนค่า ด้านหลัง	ฉนวน ด้านนอก	แวลต์ลอม
16:19 น.	32.78	39.35	32.33	32.04	29.17	26.64
16:20 น.	49.51	83.88	33.16	47.58	29.87	26.64
16:21 น.	69.63	115.80	35.09	68.42	32.68	26.59
16:22 น.	84.16	133.60	39.68	85.00	36.30	26.67
16:23 น.	94.35	144.66	42.37	96.73	40.13	26.83
16:24 น.	102.21	151.73	48.36	105.08	43.44	26.61
16:25 น.	108.51	156.83	55.75	110.27	46.15	26.97
16:26 น.	113.92	161.47	68.06	115.49	49.79	27.12
16:27 น.	118.54	165.55	93.23	119.19	52.20	27.69
16:28 น.	122.73	169.52	109.57	122.85	54.15	28.04
16:29 น.	126.49	172.38	119.85	126.15	56.07	28.16
16:30 น.	129.88	175.28	126.92	128.98	58.10	28.04
16:31 น.	132.96	177.83	132.64	131.57	59.71	28.58
16:32 น.	135.78	180.18	137.24	133.93	61.39	29.66
16:33 น.	138.52	182.56	141.14	136.15	62.83	29.53
16:34 น.	141.17	184.68	144.37	138.36	64.22	29.08
16:35 น.	143.72	186.30	147.86	140.33	65.99	29.72
16:36 น.	145.72	188.50	150.51	141.26	67.68	29.14
16:37 น.	148.27	190.75	153.48	143.99	69.46	30.18
16:38 น.	150.43	192.55	156.66	146.12	71.04	30.26
16:39 น.	152.37	194.13	159.26	147.95	72.68	30.79
16:40 น.	154.38	195.78	162.21	149.63	74.33	30.70
16:41 น.	156.36	197.41	163.86	151.33	76.02	30.14
16:42 น.	158.20	199.03	165.56	152.90	77.36	30.53

เวลา	จำนวน ด้านใน	กล่องด้าน ใน	จำนวนค่า ด้านหน้า	จำนวนค่า ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวกซ์อม
16:43 น.	160.01	200.44	167.00	154.36	78.36	30.12
16:44 น.	161.72	201.89	168.71	155.77	79.37	30.57
16:45 น.	163.28	202.94	169.84	157.12	80.89	30.10
16:46 น.	164.84	204.38	170.93	158.29	82.60	30.40
16:47 น.	166.39	205.69	171.45	159.45	83.62	30.40
16:48 น.	167.79	206.79	172.90	160.65	84.79	30.21
16:49 น.	169.20	208.16	174.52	161.75	86.01	30.39
16:50 น.	170.47	209.23	175.58	162.77	86.94	30.54
16:51 น.	171.78	210.38	176.78	163.81	87.99	30.31
16:52 น.	173.07	211.40	177.86	164.87	89.03	30.24
16:53 น.	174.22	212.28	178.80	165.82	90.06	33.33
16:54 น.	175.32	213.13	179.96	166.73	90.76	30.38
16:55 น.	176.36	214.04	181.84	167.55	91.53	30.05
16:56 น.	177.34	214.75	183.71	168.34	92.67	30.18
16:57 น.	178.19	215.48	185.67	169.05	93.54	30.39
16:58 น.	179.08	216.33	187.02	169.77	94.56	30.22
16:59 น.	179.98	217.08	188.47	170.52	95.00	30.01
17:00 น.	180.89	217.84	189.52	171.27	95.69	30.77
17:01 น.	181.80	218.66	190.41	172.06	96.28	30.87
17:02 น.	182.53	219.34	191.23	172.72	96.70	30.50
17:03 น.	183.27	219.97	191.97	173.42	97.01	30.29
17:04 น.	183.90	220.39	192.78	173.99	97.62	30.99
17:05 น.	184.49	220.90	193.59	174.52	98.11	30.23
17:06 น.	184.93	221.33	194.19	175.00	98.57	30.52
17:07 น.	185.50	221.79	194.86	175.56	99.04	30.42

เวลา	จำนวน ด้านใน	กล่องด้าน ใน	จำนวนดำ ด้านหน้า	จำนวนดำ ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวกซ์อ้อม
17:08 น.	186.03	222.21	195.37	176.08	99.36	30.53
17:09 น.	186.41	222.57	195.99	176.50	100.07	30.87
17:10 น.	186.64	222.76	196.39	176.83	100.34	30.06
17:11 น.	187.00	223.16	196.91	177.06	100.72	30.86
17:12 น.	187.38	223.43	197.26	177.36	101.01	30.12
17:13 น.	187.63	223.64	197.73	177.66	101.16	30.75
17:14 น.	187.97	223.96	198.14	178.02	101.57	30.78
17:15 น.	188.24	224.07	198.57	178.36	101.70	30.51
17:16 น.	188.58	224.71	198.99	178.13	102.19	30.74
17:17 น.	189.23	225.11	199.40	179.04	103.86	30.08
17:18 น.	189.69	225.93	199.70	179.49	104.86	30.52
17:19 น.	190.05	226.50	200.06	179.64	106.94	30.18

ตาราง ก. 7 : แสดงค่าการไหลของกระแสไฟฟ้ามายังโมยราบ 150 กรัม

เวลา	ฉนวน ด้านใน	ด้านใน กล่อง	ฉนวนดำ ด้านหน้า	ฉนวนดำ ด้านหลัง	ฉนวน ด้านนอก	แวลต์ล่อม
18:25 น.	30.83	31.19	28.89	30.06	25.76	23.63
18:26 น.	31.23	35.90	29.35	30.50	25.82	23.75
18:27 น.	43.61	71.75	41.89	40.10	25.87	23.64
18:28 น.	59.80	98.54	58.85	54.37	25.96	23.62
18:29 น.	72.90	119.21	71.65	64.82	26.06	23.58
18:30 น.	82.17	129.28	79.87	72.42	26.39	23.66
18:31 น.	88.95	136.35	85.55	78.32	26.86	23.74
18:32 น.	94.45	141.38	90.14	83.29	27.57	23.91
18:33 น.	99.01	146.17	94.04	87.46	28.24	23.76
18:34 น.	103.02	149.93	97.57	91.15	28.70	23.73
18:35 น.	106.69	153.42	100.79	94.49	29.27	23.74
18:36 น.	110.08	156.67	103.78	97.52	29.76	23.75
18:37 น.	113.12	159.33	106.50	100.26	30.37	23.80
18:38 น.	116.03	160.86	108.99	102.86	34.42	23.87
18:39 น.	118.56	164.09	111.27	105.07	36.74	23.84
18:40 น.	120.67	165.38	113.12	107.06	37.80	23.83
18:41 น.	121.76	165.88	114.19	108.33	38.57	23.93
18:42 น.	123.08	167.07	115.51	109.63	39.24	23.84
18:43 น.	124.55	168.09	116.90	110.98	39.81	23.90
18:44 น.	126.13	169.80	118.36	112.43	40.27	23.79
18:45 น.	127.78	171.24	119.86	113.92	40.55	23.82
18:46 น.	129.33	172.83	121.25	115.36	41.47	23.84
18:47 น.	130.87	174.17	122.58	116.75	41.24	23.87

เวลา	จำนวน ด้านใน	กล่องด้าน ใน	จำนวนค่า ด้านหน้า	จำนวนค่า ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวกล้อม
18:48 น.	132.35	175.30	123.85	118.08	41.52	23.86
18:49 น.	133.74	176.59	125.06	119.34	41.74	23.90
18:50 น.	135.07	177.78	126.23	120.56	41.97	23.86
18:51 น.	136.30	178.86	127.31	121.67	42.32	23.91
18:52 น.	137.37	179.63	128.22	122.71	42.49	23.88
18:53 น.	138.49	180.32	129.12	123.72	42.84	23.90
18:54 น.	139.59	181.20	130.02	124.74	43.35	23.90
18:55 น.	140.60	182.00	130.87	125.67	43.60	23.96
18:56 น.	142.86	185.41	132.80	127.25	44.08	23.99
18:57 น.	147.26	191.05	136.65	130.39	44.36	23.01
18:58 น.	151.25	194.21	139.99	133.46	44.77	23.96
18:59 น.	154.33	197.93	142.56	135.78	45.36	23.96
19:00 น.	156.89	200.07	144.60	137.76	45.72	23.92
19:01 น.	159.25	201.31	146.56	139.63	46.68	23.97
19:02 น.	161.45	202.90	148.23	141.30	47.40	23.97
19:03 น.	163.37	203.96	149.70	142.79	47.97	24.00
19:04 น.	165.22	205.35	151.16	144.26	48.41	24.01
19:05 น.	166.81	206.38	152.38	145.55	49.06	24.03
19:06 น.	168.29	207.54	153.57	146.74	49.65	24.02
19:07 น.	169.77	208.48	154.72	147.95	50.18	24.03
19:08 น.	171.03	209.21	155.67	149.02	50.39	24.00
19:09 น.	172.24	210.20	156.65	149.99	51.08	24.12
19:10 น.	173.39	211.21	157.59	151.00	52.10	24.04
19:11 น.	174.53	212.08	158.56	151.91	52.14	23.99

เวลา	จำนวน ด้านใน	กล่องด้าน ใน	จำนวนดำ ด้านหน้า	จำนวนดำ ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวกซ์อม
19:12 น.	175.54	212.85	159.35	152.81	52.82	24.05
19:13 น.	176.45	213.45	160.07	153.62	53.50	24.09
19:14 น.	177.36	214.19	160.80	154.41	54.14	24.18
19:15 น.	178.28	214.82	161.51	155.21	54.76	24.13
19:16 น.	179.25	215.69	162.36	156.07	55.24	24.06
19:17 น.	180.25	216.17	163.19	156.98	55.53	24.18
19:18 น.	181.17	217.23	163.93	157.78	56.24	24.22
19:19 น.	182.07	217.93	164.66	158.56	56.58	24.23
19:20 น.	182.83	218.40	165.24	159.21	57.43	24.27
19:21 น.	183.46	218.81	165.73	159.80	58.49	24.31
19:22 น.	183.57	217.78	166.05	160.68	58.49	24.19
19:23 น.	184.47	219.30	166.42	161.44	58.55	24.24
19:24 น.	185.15	220.16	166.75	161.92	58.96	24.22
19:25 น.	186.02	220.93	167.38	162.55	59.43	24.18

ตาราง ก. 8 : แสดงค่าการไหลของกระแสไฟฟ้ามายังไมยราบ 200 กรัม

เวลา	จำนวน ด้านใน	ด้านใน กล่อง	จำนวนค่า ด้านหน้า	จำนวนค่า ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวลลุ่ม
14:00	32.48	34.79	32.14	32.20	28.48	27.63
14:01	33.47	35.34	33.80	34.80	28.81	27.57
14:02	33.91	35.98	34.48	34.50	28.84	27.20
14:03	35.08	36.34	34.64	36.27	29.19	27.42
14:04	43.23	57.65	52.45	42.40	29.24	27.47
14:05	59.81	83.59	76.41	56.24	29.30	27.08
14:06	73.57	101.66	94.00	67.84	29.45	27.68
14:07	83.04	112.69	105.28	76.57	29.97	27.79
14:08	90.08	120.58	112.53	83.41	30.56	27.89
14:09	95.57	126.37	117.61	88.84	31.23	27.91
14:10	100.41	131.40	121.72	93.50	31.93	27.13
14:11	104.56	135.52	125.28	97.47	32.66	27.64
14:12	108.40	139.05	127.56	101.06	34.06	27.05
14:13	111.92	142.26	129.44	104.28	35.21	27.54
14:14	115.03	144.47	130.85	107.10	36.29	27.41
14:15	117.91	146.35	133.05	109.73	37.07	27.64
14:16	120.70	148.16	136.19	112.21	38.17	27.12
14:17	122.62	150.87	138.23	114.57	39.23	27.16
14:18	124.79	152.53	139.25	116.79	40.23	27.49
14:19	126.37	154.55	140.86	118.35	41.15	27.11
14:20	127.13	156.85	141.94	119.99	42.17	27.87
14:21	128.92	158.58	142.94	121.54	43.11	27.99
14:22	129.67	159.93	143.67	122.82	43.55	27.21
14:23	131.66	160.39	142.24	124.27	43.87	27.27

เวลา	ฉนวน ด้านใน	กล่องด้าน ใน	ฉนวนด้าน หน้า	ฉนวนด้าน หลัง	ฉนวน ด้านนอก	แวกัด้อม
14:24	132.65	162.25	144.79	126.16	44.44	27.54
14:25	135.08	165.66	146.72	128.02	44.97	27.55
14:26	137.10	168.33	148.77	129.30	45.53	27.86
14:27	139.08	170.61	150.55	131.25	46.07	27.70
14:28	140.80	172.60	152.04	132.02	46.66	27.36
14:29	142.71	174.40	153.43	133.66	47.19	27.96
14:30	144.57	176.20	154.76	134.26	47.81	27.96
14:31	146.30	177.87	156.00	134.76	48.39	28.39
14:32	147.92	179.39	157.03	136.13	48.90	28.32
14:33	149.49	180.86	158.12	137.51	49.28	28.49
14:34	151.06	182.30	159.23	138.86	49.98	28.14
14:35	152.53	183.70	160.15	140.17	50.50	28.75
14:36	153.92	184.91	161.04	141.37	50.96	28.10
14:37	155.14	186.07	161.72	142.47	51.40	28.63
14:38	156.37	187.13	162.48	143.58	51.90	28.96
14:39	157.61	188.23	163.26	144.67	52.42	28.04
14:40	158.81	189.32	163.97	145.71	52.86	28.73
14:41	159.92	190.28	164.61	146.69	52.99	28.32
14:42	160.97	191.28	165.26	147.65	53.52	28.42
14:43	162.04	192.30	165.93	148.62	54.01	28.88
14:44	163.07	193.28	166.56	149.56	54.37	28.97
14:45	163.96	194.07	167.10	150.42	54.85	28.66
14:46	164.79	194.92	167.16	151.29	55.08	28.94
14:47	165.94	196.43	167.41	152.12	55.35	28.89
14:48	166.69	197.49	168.08	153.01	55.80	28.54



เวลา	ทวน ด้านใน	กล่องด้าน ใน	ทวนด้าน หน้า	ทวนด้าน หลัง	ทวน ด้านนอก	แวก้ออม
14:49	167.41	197.94	168.87	153.93	56.15	28.86
14:50	168.13	198.52	169.41	154.73	56.38	28.90
14:51	168.77	199.12	169.83	155.46	56.69	28.31
14:52	169.55	199.77	170.28	156.20	56.90	28.15
14:53	170.29	200.43	170.65	156.87	57.31	28.08
14:54	170.92	200.92	170.90	157.43	57.85	28.19
14:55	171.41	201.30	171.13	157.96	58.26	28.49
14:56	172.06	201.93	171.53	158.60	58.63	28.16
14:57	172.75	202.57	171.90	159.23	58.75	28.68
14:58	173.33	203.00	172.16	159.74	59.26	28.49
14:59	173.79	203.35	172.34	160.19	59.42	28.58
15:00	174.30	203.81	172.60	160.70	59.83	28.44

ตาราง ก. 9 : แสดงค่าการไหลของกระแสไฟฟ้ามายังโมยราบ 250 กรัม

เวลา	จนวน ด้านใน	ด้านใน กล่อง	ด้านหน้า จนวนค่า	ด้านหลัง จนวนค่า	จนวน ด้านนอก	แวลล้อยม
15:59	30.31	32.70	35.10	35.23	32.09	28.53
16:00	30.38	32.72	34.84	34.97	32.07	29.08
16:01	30.46	32.76	34.71	34.85	32.07	27.25
16:02	37.08	55.46	45.77	45.93	32.06	26.85
16:03	50.91	81.86	66.46	64.91	32.07	27.15
16:04	63.57	101.74	82.30	78.99	32.14	27.04
16:05	72.38	113.76	92.31	88.14	32.21	26.66
16:06	78.49	121.65	99.07	94.63	32.17	26.87
16:07	84.62	125.47	104.37	99.92	32.23	26.72
16:08	89.48	129.75	108.66	104.58	32.28	26.57
16:09	93.74	134.43	112.35	108.58	32.38	26.64
16:10	97.13	139.32	115.72	111.87	32.50	26.61
16:11	101.68	142.89	118.85	115.10	32.63	26.61
16:12	105.13	146.19	121.69	118.07	32.78	26.62
16:13	108.31	149.18	124.44	120.93	32.98	26.63
16:14	111.77	151.79	127.00	123.57	33.19	26.68
16:15	114.74	153.66	129.22	125.90	33.36	26.63
16:16	117.94	156.42	131.41	128.17	33.56	26.61
16:17	120.41	158.98	133.48	130.35	33.74	26.48
16:18	123.02	161.57	135.60	132.54	33.96	26.58
16:19	125.42	163.96	137.58	134.56	34.18	26.65
16:20	128.16	166.26	139.49	136.49	34.34	26.54
16:21	130.37	168.35	141.25	138.32	34.56	26.63
16:22	132.79	170.63	143.09	140.20	34.79	26.67

เวลา	จำนวน ด้านใน	กล้องด้าน ใน	จำนวนค่า ด้านหน้า	จำนวนค่า ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวคัอม
16:23	134.87	172.59	144.74	141.90	34.99	26.69
16:24	136.83	174.39	146.26	143.44	35.15	26.94
16:25	138.85	176.14	147.73	144.94	35.33	26.85
16:26	140.87	177.84	149.12	146.33	35.49	26.79
16:27	142.66	179.42	150.45	147.75	35.65	26.81
16:28	144.36	181.01	151.70	149.02	35.90	26.88
16:29	145.99	182.37	152.90	150.27	36.07	26.83
16:30	147.62	183.93	154.10	151.48	36.27	26.79
16:31	149.17	185.26	155.29	152.68	36.40	26.92
16:32	150.69	186.52	156.32	153.80	36.59	26.86
16:33	152.05	187.78	157.38	154.82	36.78	26.87
16:34	153.39	189.00	158.36	155.79	36.87	26.81
16:35	154.82	190.09	159.26	156.74	36.99	26.83
16:36	156.16	191.13	160.16	157.67	37.14	26.92
16:37	157.51	192.29	161.09	158.55	37.24	26.88
16:38	158.86	193.35	162.02	159.50	37.31	26.89
16:39	160.09	194.33	162.83	160.36	37.47	26.85
16:40	161.21	195.32	163.67	161.17	37.56	26.88
16:41	162.32	196.25	164.43	161.98	37.63	26.85
16:42	163.47	197.19	165.26	162.76	37.75	26.93
16:43	164.55	198.12	166.00	163.55	37.80	26.89
16:44	165.55	199.05	166.71	164.32	37.85	27.00
16:45	166.42	199.57	167.24	164.83	37.90	27.05
16:46	167.24	200.31	167.82	165.43	37.93	26.98
16:47	168.03	200.90	168.39	166.00	37.96	27.44

เวลา	จำนวน ด้านใน	กล่องด้าน ใน	จำนวนค่า ด้านหน้า	จำนวนค่า ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวก้ออม
16:48	168.85	201.68	168.93	166.61	38.08	27.09
16:49	169.67	202.31	169.53	167.16	38.09	27.02
16:50	170.44	202.92	170.08	167.76	38.12	27.06
16:51	171.28	203.56	170.61	168.32	38.25	26.76
16:52	172.06	204.21	171.15	168.87	38.24	26.85
16:53	172.80	204.78	171.62	169.39	38.20	26.86
16:54	173.31	205.04	171.82	169.60	38.32	26.83
16:55	173.92	205.53	172.22	169.98	38.33	26.82
16:56	174.53	206.12	172.65	170.41	38.30	26.83
16:57	175.32	206.93	173.29	171.06	38.37	26.87
16:58	176.09	207.53	173.84	171.64	38.42	26.80
16:59	176.72	208.23	174.37	172.13	38.47	26.85

ตาราง ก. 10 : แสดงค่าการไหลของกระแสไฟฟ้ามายังหม้อคั่ว 100 กรัม

เวลา	ฉนวน ด้านใน	ด้านใน กล่อง	ฉนวนคั่ว ด้านหน้า	ฉนวนคั่ว ด้านหลัง	ฉนวน ด้านนอก	แวลลุ่ม
15:29 น.	32.03	32.73	32.33	32.23	30.10	25.78
15:30 น.	31.80	32.55	32.16	31.93	30.04	25.75
15:31 น.	31.72	32.23	32.09	31.77	29.93	25.78
15:32 น.	31.45	32.00	31.68	31.55	29.83	25.81
15:33 น.	31.29	31.76	31.37	31.44	29.70	25.79
15:34 น.	31.07	31.54	31.36	31.07	29.67	25.98
15:35 น.	34.03	46.23	40.75	34.85	29.68	25.80
15:36 น.	49.52	77.20	68.06	51.30	30.15	25.87
15:37 น.	68.19	108.59	93.23	68.43	31.45	25.91
15:38 น.	82.50	129.17	109.57	81.48	33.49	25.96
15:39 น.	92.91	141.39	119.85	91.16	35.99	25.84
15:40 น.	100.74	149.85	126.92	98.55	38.68	25.98
15:41 น.	107.09	156.15	132.64	104.52	41.34	25.88
15:42 น.	112.28	160.94	137.24	109.51	43.66	25.98
15:43 น.	116.70	165.32	141.14	113.77	45.68	25.98
15:44 น.	120.62	169.26	144.37	117.71	47.33	25.92
15:45 น.	124.11	172.44	147.86	121.19	48.74	25.99
15:46 น.	127.34	175.40	150.51	124.55	50.01	25.97
15:47 น.	129.87	177.89	153.48	127.65	50.51	26.03
15:48 น.	132.80	180.73	156.66	130.96	51.41	26.16
15:49 น.	135.22	184.06	159.26	133.89	52.16	26.12
15:50 น.	136.82	187.58	162.21	136.84	52.57	26.01
15:51 น.	138.80	188.42	163.86	139.18	53.11	26.16
15:52 น.	140.86	189.73	165.56	141.41	53.69	26.15

เวลา	จำนวน ด้านใน	กล่องด้าน ใน	จำนวนค่า ด้านหน้า	จำนวนค่า ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวกซ์
15:53 น.	142.82	191.04	167.00	143.54	54.25	26.25
15:54 น.	144.39	192.24	168.71	145.38	54.93	26.26
15:55 น.	145.94	193.53	169.84	147.24	55.45	26.64
15:56 น.	147.31	194.30	170.93	148.71	56.15	26.32
15:57 น.	148.12	194.29	171.45	149.62	56.83	26.38
15:58 น.	149.47	195.49	172.90	151.10	57.44	26.45
15:59 น.	151.14	197.04	174.52	152.88	58.00	26.76
16:00 น.	152.49	198.17	175.58	154.37	58.68	26.61
16:01 น.	153.76	199.07	176.78	155.70	59.38	26.58
16:02 น.	154.85	199.92	177.86	156.90	59.96	26.27
16:03 น.	155.96	200.69	178.80	158.08	60.63	26.67
16:04 น.	157.39	202.56	179.96	159.41	61.90	26.35
16:05 น.	160.17	205.17	181.84	161.12	63.03	26.21
16:06 น.	163.65	208.55	183.71	162.84	64.29	26.28
16:07 น.	167.11	208.94	185.67	164.54	65.29	26.28
16:08 น.	169.49	209.19	187.02	166.08	66.78	26.50
16:09 น.	171.20	209.76	188.47	167.47	67.79	26.96
16:10 น.	172.52	210.65	189.52	168.75	68.76	27.02
16:11 น.	173.80	211.45	190.41	169.92	69.75	27.79
16:12 น.	174.88	212.11	191.23	170.87	70.52	27.03
16:13 น.	175.93	212.84	191.97	171.87	71.13	27.10
16:14 น.	176.90	213.51	192.78	172.82	71.78	27.05
16:15 น.	177.76	214.30	193.59	173.73	72.29	27.87
16:16 น.	178.53	214.86	194.19	174.55	72.84	27.38
16:17 น.	179.37	215.49	194.86	175.36	73.45	27.29

เวลา	จำนวน ด้านใน	กล่องด้าน ใน	จำนวนค่า ด้านหน้า	จำนวนค่า ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวกส์อม
16:18 น.	179.99	215.92	195.37	176.03	74.13	27.11
16:19 น.	180.76	216.42	195.99	176.68	74.74	27.05
16:20 น.	181.30	216.66	196.39	177.26	75.13	27.32
16:21 น.	181.99	217.23	196.91	177.91	75.61	27.19
16:22 น.	182.43	217.51	197.26	178.38	76.30	27.11
16:23 น.	182.93	217.92	197.73	178.92	76.88	27.03
16:24 น.	183.35	218.41	198.14	179.46	77.31	27.73
16:25 น.	183.84	218.74	198.57	179.96	77.66	27.42
16:26 น.	184.28	219.04	198.99	180.39	77.91	27.98
16:27 น.	184.70	219.38	199.40	180.90	78.25	27.40
16:28 น.	185.05	219.62	199.70	181.26	78.52	27.17
16:29 น.	185.43	219.99	200.06	181.71	78.83	27.36

ตาราง ก. 11 : แสดงค่าการไหลของกระแสไฟฟ้ามายังหตุ้ราคา 150 กรัม

เวลา	ฉนวน ด้านใน	ด้านใน กล่อง	ฉนวนต่ำ ด้านหน้า	ฉนวนต่ำ ด้านหลัง	ฉนวน ด้านนอก	แวลลุ่ม
17:28 น.	30.11	31.53	31.64	31.63	28.81	26.95
17:29 น.	30.21	31.72	31.74	31.54	28.85	26.03
17:30 น.	40.74	63.31	40.88	38.87	28.85	26.79
17:31 น.	60.96	102.92	61.62	54.47	28.95	26.93
17:32 น.	77.09	125.13	77.42	67.47	29.22	26.23
17:33 น.	88.55	133.67	88.72	77.04	29.64	26.64
17:34 น.	97.82	147.66	97.16	85.53	30.34	26.19
17:35 น.	105.66	154.90	103.41	92.47	31.25	26.90
17:36 น.	111.27	157.50	113.05	97.73	32.54	26.73
17:37 น.	115.48	160.48	117.44	102.80	33.79	26.26
17:38 น.	118.68	163.81	119.12	107.07	35.71	26.13
17:39 น.	121.56	164.78	121.76	110.84	37.06	26.19
17:40 น.	129.12	166.93	123.46	114.57	38.29	26.04
17:41 น.	131.68	169.74	127.20	115.31	38.93	26.67
17:42 น.	134.64	170.73	129.63	117.47	39.91	26.99
17:43 น.	136.46	172.29	130.04	119.32	40.81	26.23
17:44 น.	141.71	181.00	133.23	124.90	41.35	26.53
17:45 น.	145.20	184.67	137.50	129.39	42.18	26.51
17:46 น.	148.26	187.83	140.51	132.82	42.90	26.14
17:47 น.	150.85	189.78	143.03	135.73	43.38	26.47
17:48 น.	152.92	190.95	145.03	138.11	44.08	26.39
17:49 น.	154.81	192.96	146.80	140.25	44.55	26.07
17:50 น.	156.73	193.90	148.52	142.25	45.08	27.33
17:51 น.	158.63	196.08	150.26	144.29	45.42	27.72



เวลา	จำนวน ด้านใน	กล้องด้าน ใน	จำนวนค่า ด้านหน้า	จำนวนค่า ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวกด้อม
17:52 น.	160.45	197.02	151.98	146.22	45.67	27.68
17:53 น.	162.05	198.56	153.39	148.02	45.95	27.82
17:54 น.	163.32	199.75	154.55	149.50	46.44	27.69
17:55 น.	164.51	200.27	155.60	150.85	46.83	27.23
17:56 น.	165.75	200.80	156.73	152.18	46.93	27.04
17:57 น.	167.22	202.02	157.99	153.65	46.98	27.54
17:58 น.	168.50	203.00	159.15	154.94	47.10	27.62
17:59 น.	169.47	203.69	159.97	155.99	47.28	27.70
18:00 น.	170.40	204.30	160.82	156.97	47.45	27.39
18:01 น.	171.30	205.25	161.63	157.93	47.66	27.05
18:02 น.	172.77	206.87	162.87	159.33	48.03	27.66
18:03 น.	174.77	208.28	164.74	161.07	48.35	27.75
18:04 น.	175.86	208.94	165.70	162.18	48.58	27.43
18:05 น.	176.77	210.11	166.47	163.13	48.86	27.91
18:06 น.	177.57	209.84	167.18	163.92	49.11	27.67
18:07 น.	178.28	211.06	167.82	164.71	49.67	27.62
18:08 น.	179.01	210.86	168.44	165.44	49.97	27.66
18:09 น.	180.03	212.00	169.33	166.31	50.18	27.87
18:10 น.	180.87	212.59	170.07	167.11	50.66	27.93
18:11 น.	181.50	212.43	170.60	167.77	50.89	27.79
18:12 น.	182.09	213.03	171.12	168.35	51.26	27.59
18:13 น.	182.82	214.00	171.79	169.05	51.78	27.06
18:14 น.	183.72	214.78	172.56	169.85	52.20	27.43
18:15 น.	184.45	215.12	173.26	170.52	52.75	27.51
18:16 น.	185.15	215.31	173.83	171.19	53.02	27.86

เวลา	จำนวน ด้านใน	กล้องด้าน ใน	จำนวนค่า ด้านหน้า	จำนวนค่า ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	หาคัดล้อม
18:17 น.	185.67	215.78	174.29	171.71	53.43	27.91
18:18 น.	186.10	215.85	174.66	172.13	53.67	27.72
18:19 น.	186.57	216.19	175.01	172.55	53.85	27.67
18:20 น.	187.08	216.17	175.50	172.99	54.51	27.65
18:21 น.	187.51	216.38	175.85	173.40	55.00	27.70
18:22 น.	187.92	216.30	176.21	173.71	55.19	27.41
18:23 น.	188.22	216.93	176.42	174.05	55.52	27.92
18:24 น.	188.48	216.97	176.71	174.29	56.11	27.84
18:25 น.	188.91	216.65	177.07	174.67	56.44	27.13
18:26 น.	189.36	217.58	177.44	175.06	56.81	27.48
18:27 น.	189.76	217.01	177.74	175.37	57.12	27.54
18:28 น.	190.05	216.87	177.99	175.71	57.27	27.81

ตาราง ก. 12 : แสดงค่าการไหลของกระแสไฟฟ้ามายังหม้อคั่ว 200 กรัม

เวลา	ฉนวน ด้านใน	ด้านใน กล่อง	ด้านหน้า ฉนวนดำ	ด้านหลัง ฉนวนดำ	ฉนวน ด้านนอก	แวลลุ่ม
15:59	30.31	32.70	35.10	35.23	32.09	28.53
16:00	30.38	32.72	34.84	34.97	32.07	29.08
16:01	30.46	32.76	34.71	34.85	32.07	27.25
16:02	37.08	55.46	45.77	45.93	32.06	26.85
16:03	50.91	81.86	66.46	64.91	32.07	27.15
16:04	63.57	101.74	82.30	78.99	32.14	27.04
16:05	72.38	113.76	92.31	88.14	32.21	26.66
16:06	78.49	121.65	99.07	94.63	32.17	26.87
16:07	84.62	125.47	104.37	99.92	32.23	26.72
16:08	89.48	129.75	108.66	104.58	32.28	26.57
16:09	93.74	134.43	112.35	108.58	32.38	26.64
16:10	97.13	139.32	115.72	111.87	32.50	26.61
16:11	101.68	142.89	118.85	115.10	32.63	26.61
16:12	105.13	146.19	121.69	118.07	32.78	26.62
16:13	108.31	149.18	124.44	120.93	32.98	26.63
16:14	111.77	151.79	127.00	123.57	33.19	26.68
16:15	114.74	153.66	129.22	125.90	33.36	26.63
16:16	117.94	156.42	131.41	128.17	33.56	26.61
16:17	120.41	158.98	133.48	130.35	33.74	26.48
16:18	123.02	161.57	135.60	132.54	33.96	26.58
16:19	125.42	163.96	137.58	134.56	34.18	26.65
16:20	128.16	166.26	139.49	136.49	34.34	26.54
16:21	130.37	168.35	141.25	138.32	34.56	26.63
16:22	132.79	170.63	143.09	140.20	34.79	26.67

เวลา	จำนวน ด้านใน	กล้องด้าน ใน	จำนวนค่า ด้านหน้า	จำนวนค่า ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวกซ์อม
16:23	134.87	172.59	144.74	141.90	34.99	26.69
16:24	136.83	174.39	146.26	143.44	35.15	26.94
16:25	138.85	176.14	147.73	144.94	35.33	26.85
16:26	140.87	177.84	149.12	146.33	35.49	26.79
16:27	142.66	179.42	150.45	147.75	35.65	26.81
16:28	144.36	181.01	151.70	149.02	35.90	26.88
16:29	145.99	182.37	152.90	150.27	36.07	26.83
16:30	147.62	183.93	154.10	151.48	36.27	26.79
16:31	149.17	185.26	155.29	152.68	36.40	26.92
16:32	150.69	186.52	156.32	153.80	36.59	26.86
16:33	152.05	187.78	157.38	154.82	36.78	26.87
16:34	153.39	189.00	158.36	155.79	36.87	26.81
16:35	154.82	190.09	159.26	156.74	36.99	26.83
16:36	156.16	191.13	160.16	157.67	37.14	26.92
16:37	157.51	192.29	161.09	158.55	37.24	26.88
16:38	158.86	193.35	162.02	159.50	37.31	26.89
16:39	160.09	194.33	162.83	160.36	37.47	26.85
16:40	161.21	195.32	163.67	161.17	37.56	26.88
16:41	162.32	196.25	164.43	161.98	37.63	26.85
16:42	163.47	197.19	165.26	162.76	37.75	26.93
16:43	164.55	198.12	166.00	163.55	37.80	26.89
16:44	165.55	199.05	166.71	164.32	37.85	27.00
16:45	166.42	199.57	167.24	164.83	37.90	27.05
16:46	167.24	200.31	167.82	165.43	37.93	26.98
16:47	168.03	200.90	168.39	166.00	37.96	27.44

เวลา	จำนวน ด้านใน	กึ่งด้าน ใน	จำนวนค่า ด้านหน้า	จำนวนค่า ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวกค์อ้อม
16:48	168.85	201.68	168.93	166.61	38.08	27.09
16:49	169.67	202.31	169.53	167.16	38.09	27.02
16:50	170.44	202.92	170.08	167.76	38.12	27.06
16:51	171.28	203.56	170.61	168.32	38.25	26.76
16:52	172.06	204.21	171.15	168.87	38.24	26.85
16:53	172.80	204.78	171.62	169.39	38.20	26.86
16:54	173.31	205.04	171.82	169.60	38.32	26.83
16:55	173.92	205.53	172.22	169.98	38.33	26.82
16:56	174.53	206.12	172.65	170.41	38.30	26.83
16:57	175.32	206.93	173.29	171.06	38.37	26.87
16:58	176.09	207.53	173.84	171.64	38.42	26.80
16:59	176.72	208.23	174.37	172.13	38.47	26.85

ตาราง ก. 13 : แสดงค่าการไหลของกระแสไฟฟ้ามายังหม้อคั่ว 250 กรัม

เวลา	ฉนวน ด้านใน	ด้านใน กล่อง	ด้านหน้า ฉนวนค่า	ด้านหลัง ฉนวนค่า	ฉนวน ด้านนอก	แวดล้อม
18:29	37.81	49.67	54.03	53.32	29.38	29.38
18:30	39.35	50.19	54.11	53.43	29.45	29.45
18:31	40.21	50.27	53.53	53.00	29.53	29.53
18:32	40.91	49.66	52.53	52.31	29.64	29.64
18:33	38.21	43.39	42.36	49.52	29.75	29.75
18:34	37.95	44.07	46.37	48.03	29.85	29.85
18:35	46.91	87.40	85.71	59.18	30.05	30.05
18:36	61.56	113.75	106.16	75.73	30.18	30.18
18:37	73.49	129.67	127.16	87.63	30.36	30.36
18:38	82.63	141.01	137.02	96.23	30.66	30.66
18:39	90.02	148.73	142.51	102.10	31.10	31.10
18:40	96.21	154.09	145.78	107.41	31.71	31.71
18:41	101.51	158.26	149.08	111.46	32.47	32.47
18:42	106.14	162.01	151.40	114.86	33.40	33.40
18:43	110.45	165.25	154.15	118.19	34.53	34.53
18:44	114.56	168.71	157.70	121.41	35.77	35.77
18:45	118.56	171.65	161.15	124.66	37.19	37.19
18:46	122.26	174.32	164.37	127.61	38.63	38.63
18:47	125.65	176.64	167.17	130.52	40.15	40.15
18:48	128.96	179.11	169.88	133.25	41.71	41.71
18:49	132.07	181.15	172.28	135.53	43.31	43.31
18:50	134.94	183.09	174.44	137.63	44.85	44.85
18:51	137.79	184.95	176.80	139.79	46.34	46.34
18:52	140.51	186.67	178.90	141.77	47.85	47.85

เวลา	จำนวน ด้านใน	กล่องด้าน ใน	จำนวนค่า ด้านหน้า	จำนวนค่า ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวกด้อม
18:53	143.14	188.26	180.92	143.67	49.26	49.26
18:54	145.65	189.76	182.58	145.44	50.63	50.63
18:55	148.07	191.05	184.33	147.15	51.96	51.96
18:56	150.36	192.44	186.09	148.87	53.13	53.13
18:57	152.57	193.81	187.86	150.47	54.25	54.25
18:58	154.71	195.15	189.57	152.07	55.31	55.31
18:59	156.76	196.40	190.95	153.61	56.23	56.23
19:00	158.75	197.65	192.04	155.02	57.09	57.09
19:01	160.60	198.73	193.15	156.35	57.88	57.88
19:02	162.39	199.62	194.30	157.66	58.60	58.60
19:03	164.09	200.71	195.60	158.90	59.26	59.26
19:04	165.29	200.40	191.21	158.76	60.00	60.00
19:05	164.85	197.42	188.46	157.86	60.56	60.56
19:06	164.64	196.18	187.52	157.40	61.03	61.03
19:07	164.77	195.63	187.34	157.33	61.38	61.38
19:08	165.09	195.61	187.52	157.46	61.71	61.71
19:09	165.62	195.71	188.06	157.88	61.92	61.92
19:10	166.25	196.04	188.61	158.22	62.16	62.16
19:11	166.91	196.37	189.22	158.57	62.31	62.31
19:12	167.57	196.78	189.78	158.98	62.45	62.45
19:13	168.31	197.24	190.47	159.40	62.59	62.59
19:14	169.01	197.65	191.05	159.87	62.71	62.71
19:15	169.46	197.50	190.97	160.20	62.78	62.78
19:16	169.82	197.42	191.06	160.27	62.81	62.81
19:17	170.22	197.47	191.27	160.44	62.90	62.90

เวลา	จำนวน ด้านใน	กล่องด้าน ใน	จำนวนค่า ด้านหน้า	จำนวนค่า ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวกซ์อ้อม
19:18	170.62	197.47	191.43	160.64	62.94	62.94
19:19	171.06	197.66	191.80	160.86	62.94	62.94
19:20	171.57	197.99	192.34	161.19	63.01	63.01
19:21	172.10	198.38	192.88	161.51	63.06	63.06
19:22	172.63	198.66	193.29	161.95	63.11	63.11
19:23	173.18	198.89	193.71	162.24	63.21	63.21
19:24	173.62	199.12	194.03	162.48	63.27	63.27
19:25	174.07	199.30	194.45	162.75	63.31	63.31
19:26	174.51	199.47	194.69	163.01	63.37	63.37
19:27	174.64	199.26	194.69	163.58	63.44	63.44
19:28	174.88	200.13	194.85	164.05	63.53	63.53
19:29	175.55	201.18	195.27	164.10	63.57	63.57



ตาราง ก. 14 : แสดงค่าการไหลของกระแสไฟฟ้ามายังผักตบชวา 100 กรัม

เวลา	ฉนวน ด้านใน	ด้านใน กล่อง	ฉนวนดำ ด้านหน้า	ฉนวนดำ ด้านหลัง	ฉนวน ด้านนอก	แวลลุ่ม
16:48	29.63	29.98	29.98	30.10	28.70	27.70
16:49	30.39	36.06	30.07	30.03	28.64	27.68
16:50	43.47	68.77	37.24	34.16	29.10	28.04
16:51	60.12	98.25	49.35	42.16	30.45	28.13
16:52	72.34	117.12	59.72	49.24	32.30	28.10
16:53	81.28	129.05	67.68	55.09	34.38	27.76
16:54	88.10	136.77	73.86	60.01	36.30	27.87
16:55	93.69	143.19	78.79	64.24	38.06	28.11
16:56	99.02	148.47	82.99	68.10	39.72	28.07
16:57	103.64	152.61	86.71	71.55	41.22	28.26
16:58	107.71	156.00	89.97	74.70	42.33	26.55
16:59	111.66	159.99	93.10	77.72	43.36	27.04
17:00	115.89	164.28	96.45	80.84	44.49	26.89
17:01	119.57	167.53	99.47	83.69	45.38	26.42
17:02	122.88	170.09	102.21	86.36	46.16	25.61
17:03	125.77	172.24	104.59	88.81	46.97	26.68
17:04	128.62	174.61	106.84	91.10	47.91	27.44
17:05	131.30	176.77	108.89	93.21	49.16	27.69
17:06	133.89	178.75	110.86	95.33	50.24	27.76
17:07	136.38	180.83	112.82	97.36	51.31	27.93
17:08	138.66	182.64	114.63	99.26	52.29	27.20
17:09	140.85	184.39	116.33	101.10	53.36	27.97
17:10	143.00	186.00	117.97	102.91	54.54	28.10
17:11	144.90	187.37	119.47	104.58	55.56	27.60

เวลา	จำนวน ด้านใน	ก่อดังด้าน ใน	จำนวนค่า ด้านหน้า	จำนวนค่า ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวกด้อม
17:12	146.59	188.66	120.85	106.12	56.61	27.91
17:13	148.32	189.97	122.20	107.66	57.69	28.55
17:14	149.93	191.23	123.45	109.05	58.73	28.03
17:15	151.42	192.36	124.63	110.42	59.66	28.30
17:16	153.18	193.73	125.93	111.79	60.83	28.84
17:17	154.72	194.92	127.10	113.16	61.81	27.92
17:18	156.06	195.89	128.22	114.41	62.87	28.54
17:19	157.51	197.00	129.30	115.69	63.93	28.54
17:20	158.60	198.11	130.30	116.83	65.01	28.41
17:21	159.83	199.02	131.23	117.97	66.15	28.96
17:22	161.31	199.96	132.21	119.13	67.11	29.09
17:23	162.45	200.85	133.04	120.18	68.29	29.17
17:24	163.58	201.92	133.94	121.21	69.37	29.15
17:25	164.81	202.81	134.82	122.22	70.30	29.64
17:26	166.09	203.99	135.71	123.28	71.38	29.49
17:27	167.35	205.19	136.64	124.30	72.37	30.00
17:28	168.53	206.45	137.47	125.24	73.35	29.49
17:29	169.72	207.73	138.30	126.18	74.25	29.23
17:30	170.77	209.13	139.02	127.03	75.13	29.63
17:31	171.88	210.66	139.78	127.92	76.00	29.98
17:32	172.92	212.36	140.56	128.82	76.97	29.74
17:33	173.89	213.63	141.30	129.67	77.89	29.98
17:34	174.86	214.81	142.05	130.51	78.80	29.98
17:35	175.67	215.69	142.67	131.30	79.56	29.80
17:36	176.43	216.54	143.30	131.99	80.36	30.62

เวลา	จำนวน ด้านใน	กล่องด้าน ใน	จำนวนค่า ด้านหน้า	จำนวนค่า ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวกซ์อม
17:37	177.16	217.18	143.85	132.68	81.05	30.18
17:38	177.93	217.82	144.43	133.40	81.86	29.45
17:39	178.70	218.46	145.05	134.13	82.50	29.27
17:40	179.38	218.98	145.61	134.76	83.19	30.47
17:41	180.13	219.51	146.18	135.47	83.79	30.47
17:42	180.75	219.93	146.71	136.06	84.48	29.41
17:43	181.27	220.17	147.19	136.71	85.00	29.98
17:44	181.78	220.43	147.66	137.28	85.51	29.99
17:45	182.19	220.65	148.05	137.79	86.19	29.96
17:46	182.76	221.02	148.49	138.35	86.71	30.23
17:47	183.18	221.20	148.90	138.87	87.21	30.23
17:48	183.55	221.33	149.28	139.39	87.63	29.98

ตาราง ก. 15 : แสดงค่าการไหลของกระแสไฟฟ้ามายังฝักคอบชา 150 กรัม

เวลา	ฉนวน ด้านใน	ด้านใน กล่อง	ฉนวนดำ ด้านหน้า	ฉนวนดำ ด้านหลัง	ฉนวน ด้านนอก	แอมป์
11:30 น.	25.67	25.63	25.87	25.79	25.42	25.10
11:31 น.	25.94	25.66	26.36	25.81	25.92	25.28
11:32 น.	37.11	31.28	36.10	30.06	25.94	25.41
11:33 น.	53.45	39.92	35.94	39.29	26.23	25.28
11:34 น.	66.39	48.12	45.66	47.87	26.86	25.28
11:35 น.	75.62	55.76	64.53	54.72	27.91	25.46
11:36 น.	83.02	62.29	74.57	60.30	29.22	25.83
11:37 น.	88.85	67.55	81.15	64.75	30.80	25.68
11:38 น.	93.86	71.85	83.62	68.45	32.27	25.86
11:39 น.	98.29	75.56	86.45	71.76	33.84	26.10
11:40 น.	102.19	78.69	93.28	74.73	35.34	26.25
11:41 น.	105.70	81.77	95.26	77.52	36.66	26.31
11:42 น.	109.00	84.87	101.47	80.07	38.01	26.50
11:43 น.	112.11	87.68	107.66	82.56	39.10	26.70
11:44 น.	115.00	90.10	108.60	84.92	40.08	26.68
11:45 น.	117.60	94.23	110.13	87.11	41.04	26.85
11:46 น.	120.13	95.50	111.85	89.20	41.78	27.04
11:47 น.	122.45	99.48	113.43	91.13	42.58	27.15
11:48 น.	125.10	104.92	115.04	93.07	43.38	26.22
11:49 น.	127.92	107.09	116.57	94.95	44.12	26.68
11:50 น.	130.64	143.67	118.08	97.04	44.56	26.93
11:51 น.	133.18	148.21	119.03	99.05	44.78	27.32
11:52 น.	135.44	150.36	120.20	100.93	45.40	26.91
11:53 น.	138.82	152.17	121.28	102.16	45.79	26.80

เวลา	ฉนวน ด้านใน	กล่องด้าน ใน	ฉนวนด้าน หน้า	ฉนวนด้าน หลัง	ฉนวน ด้านนอก	แวกด้อม
11:54 น.	141.54	153.74	122.28	103.53	45.99	27.51
11:55 น.	143.75	155.11	123.23	105.03	46.16	27.07
11:56 น.	145.64	156.38	126.05	106.54	46.35	27.32
11:57 น.	147.39	157.91	129.23	107.95	46.62	27.16
11:58 น.	148.95	159.10	132.17	109.32	47.12	26.99
11:59 น.	150.44	160.26	134.74	110.55	47.52	27.40
12:00 น.	151.97	161.38	137.50	111.84	47.67	27.34
12:01 น.	153.25	162.42	140.15	113.04	48.13	27.06
12:02 น.	154.61	163.49	142.46	114.17	48.44	27.15
12:03 น.	155.78	164.68	144.54	115.21	48.85	27.47
12:04 น.	156.97	165.57	146.26	116.24	49.18	27.33
12:05 น.	158.18	166.79	148.05	117.29	49.65	27.33
12:06 น.	159.26	167.78	149.41	118.25	49.85	27.23
12:07 น.	160.28	168.86	150.87	119.15	50.19	27.65
12:08 น.	161.31	169.57	153.38	120.08	50.18	27.88
12:09 น.	162.19	170.49	155.23	120.97	50.57	28.13
12:10 น.	162.96	171.57	157.01	121.76	50.95	28.17
12:11 น.	163.74	172.36	158.94	122.50	51.42	28.29
12:12 น.	164.57	173.16	160.99	123.24	51.99	28.58
12:13 น.	165.46	173.96	162.65	124.06	52.40	28.22
12:14 น.	166.18	174.73	164.05	124.81	52.67	28.25
12:15 น.	166.89	175.32	165.26	125.50	53.08	28.44
12:16 น.	167.57	176.01	166.24	126.19	53.44	27.96
12:17 น.	168.27	176.69	167.17	126.89	53.72	28.92
12:18 น.	168.84	177.30	168.34	127.52	54.19	27.96

เวลา	จำนวน ด้านใน	กล่องด้าน ใน	จำนวนค่า ด้านหน้า	จำนวนค่า ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวลู้ออม
12:19 น.	169.39	177.89	169.16	128.12	54.82	28.79
12:20 น.	170.11	178.48	169.96	128.74	55.10	28.35
12:21 น.	170.71	179.15	170.73	129.30	55.41	28.12
12:22 น.	171.22	179.83	171.42	129.86	55.79	28.43
12:23 น.	171.82	180.35	172.21	130.37	56.35	28.67
12:24 น.	172.36	180.99	173.03	130.91	56.60	28.91
12:25 น.	172.94	181.65	173.60	131.44	57.00	28.49
12:26 น.	173.44	182.07	174.48	131.94	58.13	28.73
12:27 น.	174.11	182.61	175.17	132.48	58.03	28.68
12:28 น.	174.77	183.04	175.72	132.96	58.58	29.59
12:29 น.	175.18	183.43	176.03	133.42	59.65	28.40
12:30 น.	175.57	184.08	176.59	133.85	60.24	29.77

ตาราง ก. 16 : แสดงค่าการไหลของกระแสไฟฟ้ามายังผักตบชวา 200 กรัม

เวลา	ฉนวน ด้านใน	ด้านใน กล่อง	ฉนวนดำ ด้านหน้า	ฉนวนดำ ด้านหลัง	ฉนวน ด้านนอก	แวลลุ่ม
16:20 น.	30.96	32.37	30.58	29.21	30.91	26.13
16:21 น.	33.86	49.50	31.89	30.35	32.28	26.19
16:22 น.	49.46	88.93	46.30	39.91	33.96	26.13
16:23 น.	65.63	114.07	61.06	49.90	35.45	26.14
16:24 น.	77.77	129.67	71.29	57.37	36.90	26.19
16:25 น.	87.15	139.92	79.14	63.33	38.25	26.23
16:26 น.	94.86	147.69	84.89	68.26	39.55	26.32
16:27 น.	101.26	153.91	89.49	72.32	40.80	26.41
16:28 น.	106.73	158.66	93.40	75.88	41.92	26.47
16:29 น.	111.41	162.56	96.80	79.04	42.91	26.60
16:30 น.	115.65	165.94	99.87	81.90	43.86	26.57
16:31 น.	119.48	169.30	102.76	84.59	44.73	26.82
16:32 น.	122.99	172.07	105.40	87.04	45.44	27.01
16:33 น.	126.15	174.72	107.77	89.33	45.95	27.05
16:34 น.	129.32	177.44	110.00	91.51	46.24	26.96
16:35 น.	132.35	179.86	112.17	93.66	46.30	27.10
16:36 น.	135.07	182.02	114.12	95.65	46.27	27.31
16:37 น.	137.11	184.39	116.09	97.69	46.41	27.24
16:38 น.	138.61	186.63	119.34	97.73	46.67	27.23
16:39 น.	140.66	189.37	121.63	99.36	47.08	27.31
16:40 น.	142.26	191.87	123.62	101.65	47.52	27.17
16:41 น.	145.54	194.07	125.33	101.88	48.00	27.85
16:42 น.	147.59	195.95	126.92	103.59	48.44	27.18
16:43 น.	149.21	197.63	128.35	105.39	48.73	27.91

เวลา	จำนวน ด้านใน	ก้องด้าน ใน	จำนวนค่า ด้านหน้า	จำนวนค่า ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวก้อม
16:44 น.	150.97	199.12	129.62	107.27	48.87	28.36
16:45 น.	151.57	200.35	130.72	108.93	49.23	28.51
16:46 น.	153.41	201.60	131.64	110.55	49.63	28.50
16:47 น.	155.19	202.85	132.48	112.04	50.07	28.54
16:48 น.	156.96	204.16	133.17	113.58	50.42	28.34
16:49 น.	158.28	205.46	133.84	115.05	50.78	28.74
16:50 น.	160.12	206.60	134.73	116.40	51.14	28.77
16:51 น.	161.84	207.71	135.76	117.91	51.47	27.65
16:52 น.	163.39	208.72	136.81	119.43	51.71	28.48
16:53 น.	164.76	209.66	137.85	120.67	52.01	28.30
16:54 น.	166.72	210.53	138.80	121.87	52.34	27.49
16:55 น.	168.77	211.36	139.63	123.10	52.61	29.14
16:56 น.	170.74	212.21	140.43	124.24	52.92	28.08
16:57 น.	172.59	213.02	141.25	125.50	53.21	28.78
16:58 น.	174.38	213.67	142.10	126.72	53.47	28.72
16:59 น.	176.02	214.36	142.92	127.83	53.79	29.36
17:00 น.	177.59	215.20	143.73	128.88	54.09	28.80
17:01 น.	179.05	215.98	144.58	129.90	54.39	28.92
17:02 น.	180.41	216.62	145.46	130.92	54.68	29.15
17:03 น.	181.21	217.36	146.19	131.92	55.01	29.09
17:04 น.	182.72	218.08	147.65	132.90	55.25	29.16
17:05 น.	184.03	218.89	148.47	133.86	55.55	28.88
17:06 น.	185.28	219.58	149.31	134.73	55.86	29.83
17:07 น.	186.51	220.28	150.14	135.60	56.23	28.70
17:08 น.	187.77	220.98	150.98	136.43	56.57	29.64



เวลา	จำนวน ด้านใน	ก่องด้าน ใน	จำนวนคำ ด้านหน้า	จำนวนคำ ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวกล้อม
17:09 น.	189.00	221.70	151.75	137.34	56.86	28.70
17:10 น.	190.11	222.34	152.52	138.17	57.19	29.85
17:11 น.	191.35	222.78	153.22	139.03	57.59	29.57
17:12 น.	192.08	223.35	153.88	139.82	58.00	28.77
17:13 น.	193.19	223.93	154.56	140.61	58.39	28.89
17:14 น.	194.32	224.50	155.26	141.33	59.15	29.25
17:15 น.	195.32	225.17	155.99	142.07	60.19	29.31
17:16 น.	196.30	225.69	156.64	142.78	60.69	29.99
17:17 น.	197.23	226.19	157.26	143.50	62.40	29.59
17:18 น.	198.13	226.72	157.89	144.25	64.27	30.40
17:19 น.	199.07	227.39	158.66	144.97	66.61	28.90
17:20 น.	199.96	227.89	159.24	145.63	68.59	28.96

ตาราง ก. 17 : แสดงค่าการไหลของกระแสไฟฟ้ามายังผักตบชวา 250 กรัม

เวลา	ฉนวน ด้านใน	ด้านใน กล่อง	ฉนวนดำ ด้านหน้า	ฉนวนดำ ด้านหลัง	ฉนวน ด้านนอก	แนวคิด
15:54 น.	28.48	31.12	32.94	32.74	27.24	28.37
15:55 น.	28.67	31.82	32.83	32.75	27.23	27.69
15:56 น.	28.93	31.93	32.66	32.74	27.22	27.70
15:57 น.	29.20	32.23	32.54	32.68	27.15	28.11
15:58 น.	31.13	42.13	34.98	34.58	27.22	28.43
15:59 น.	42.90	67.55	49.86	48.52	27.33	28.78
16:00 น.	54.83	85.08	65.23	64.61	27.46	28.91
16:01 น.	63.54	96.93	76.61	77.40	27.71	29.05
16:02 น.	69.82	104.92	84.31	86.89	28.13	29.12
16:03 น.	74.79	110.38	90.23	94.11	28.78	29.01
16:04 น.	79.09	114.61	94.89	99.39	29.66	28.72
16:05 น.	82.68	118.12	98.66	103.41	30.66	29.19
16:06 น.	86.03	121.83	101.90	106.97	31.81	29.26
16:07 น.	88.98	124.50	104.87	110.05	33.01	28.78
16:08 น.	91.64	126.58	107.46	112.78	34.17	29.26
16:09 น.	94.23	129.28	109.92	115.30	35.34	29.51
16:10 น.	96.59	130.07	112.46	118.58	36.52	29.14
16:11 น.	98.75	132.59	114.67	120.47	37.60	29.02
16:12 น.	100.88	134.25	116.56	123.22	38.69	28.94
16:13 น.	102.86	135.05	118.21	125.17	39.70	29.33
16:14 น.	103.05	137.54	119.86	126.58	40.55	28.69
16:15 น.	103.78	139.87	119.95	127.39	41.52	29.33
16:16 น.	105.82	141.00	120.22	128.49	42.26	27.63
16:17 น.	109.22	143.33	121.49	129.77	42.47	28.85

เวลา	จำนวน ด้านใน	ก่องด้าน ใน	จำนวนค่า ด้านหน้า	จำนวนค่า ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวกซ์อม
16:18 น.	113.50	146.42	125.26	131.26	43.14	28.67
16:19 น.	116.53	144.86	127.71	134.35	44.18	28.93
16:20 น.	119.03	144.06	129.74	136.77	45.18	29.30
16:21 น.	121.23	145.52	131.52	138.62	46.13	29.63
16:22 น.	123.18	147.06	133.05	140.32	47.05	28.96
16:23 น.	124.89	148.47	134.46	141.78	47.92	29.60
16:24 น.	126.55	149.40	135.72	143.09	48.70	28.77
16:25 น.	128.07	151.02	136.91	144.38	49.49	28.99
16:26 น.	129.53	151.74	137.97	145.46	50.24	29.32
16:27 น.	131.02	153.66	139.14	146.63	51.00	30.15
16:28 น.	132.18	154.67	139.81	147.48	51.61	29.15
16:29 น.	133.17	155.67	140.48	148.18	52.27	28.95
16:30 น.	134.18	156.84	141.18	148.91	52.76	29.48
16:31 น.	135.25	156.21	141.85	149.59	53.37	29.30
16:32 น.	136.22	157.60	142.61	150.40	53.87	29.10
16:33 น.	137.25	158.51	143.44	151.24	54.39	29.05
16:34 น.	138.29	159.66	144.23	151.99	54.87	29.02
16:35 น.	139.23	160.49	144.95	152.88	55.35	29.42
16:36 น.	140.13	161.09	145.60	153.49	55.75	29.28
16:37 น.	140.98	161.58	146.12	154.03	56.09	29.83
16:38 น.	141.77	161.52	146.65	154.50	56.45	29.72
16:39 น.	142.50	162.44	147.17	155.11	56.74	29.36
16:40 น.	143.29	162.03	147.62	155.52	57.06	29.70
16:41 น.	143.94	163.46	148.19	155.99	57.47	29.24
16:42 น.	144.63	164.09	148.66	156.39	57.78	30.01

เวลา	จำนวน ด้านใน	ก้องด้าน ใน	จำนวนค่า ด้านหน้า	จำนวนค่า ด้านหลัง	จำนวน ด้านนอก	แวกค์อม
16:43 น.	145.34	164.22	149.13	156.93	58.07	29.05
16:44 น.	145.94	165.05	149.54	157.34	58.33	30.22
16:45 น.	146.53	165.63	149.95	157.64	58.54	29.30
16:46 น.	147.09	165.77	150.28	157.98	58.85	29.45
16:47 น.	147.65	166.17	150.63	158.32	59.05	30.46
16:48 น.	148.12	166.31	150.94	158.70	59.31	29.68
16:49 น.	148.61	166.30	151.25	158.94	59.52	29.13
16:50 น.	149.10	167.27	151.64	159.33	59.76	30.35
16:51 น.	149.55	167.31	151.91	159.51	59.99	29.37
16:52 น.	150.04	167.39	152.24	159.91	60.25	29.49
16:53 น.	150.58	167.16	152.57	160.32	60.44	28.97
16:54 น.	150.93	167.90	152.89	160.56	60.49	29.44

**ภาคผนวก ข**  
**วิธีการคำนวณ**

1. จากการคำนวณหาค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวน

โดยจากสมการที่ 2.1

$$k = -\frac{Q_x}{A(\Delta T)}$$

สมมูลพลังงานสำหรับการทดสอบค่า การนำความร้อนของวัสดุ

จากสมการที่ 2.2

$$Q_E = Q_{Air} + Q_{Wall} + Q_{Insl}$$

ความร้อนจาก  $Q_E$  ส่วนสุดท้ายจะส่งผ่านไปยังฉนวนที่ทดสอบ ( $Q_{Insl}$ ) แล้วจากนั้นจะไหลผ่านไปสู่อากาศแวดล้อม โดย  $Q_{Insl}$  หาได้จากสมการที่ 2.3

$$Q_{Insl} = Q_E - Q_{Air} - Q_{Wall} = \frac{kA\Delta T_{Insl}}{L}$$

หาค่า  $Q_E$  ได้จาก

$$Q_E = VIt$$

กำหนดให้  $V = 30 \text{ v}$

$$I = 1.9 \text{ A}$$

$$t = 60 \text{ s}$$

หา  $Q_{Air}$  จาก

$$Q_{Air} = m_{Air}c_{Air}\Delta T_{Air}$$

หา  $m_{Air}$  จาก  $\rho = \frac{m}{V}$  จะได้  $m = \rho V$

โดยกำหนดให้  $m = 14.5 \times 12 \times 16 \text{ cm}$

$$C = 1 \text{ kJ/kg}$$

$\Delta T =$  ผลต่างของอุณหภูมิภายในกล่อง

หา  $Q_{wall}$  ได้จาก

$$Q_{wall} = m_{wall}c_{wall}\Delta T_{wall}$$

กำหนดให้  $m = 9 \times 8$

$C =$  ค่าคงที่ของแผ่นฉนวนดำ มีค่าเท่ากับ  $1.88$  (kJ/kgK)

$\Delta T =$  ผลต่างของอุณหภูมิของผนัง

หา  $Q_{insl}$  ได้จาก

$$Q_{insl} = Q_E - Q_{air} - Q_{wall}$$

จากสมการที่ 2.3 หา  $k$  ได้จาก

$$k = \frac{Q_{insl}L}{A\Delta T}$$

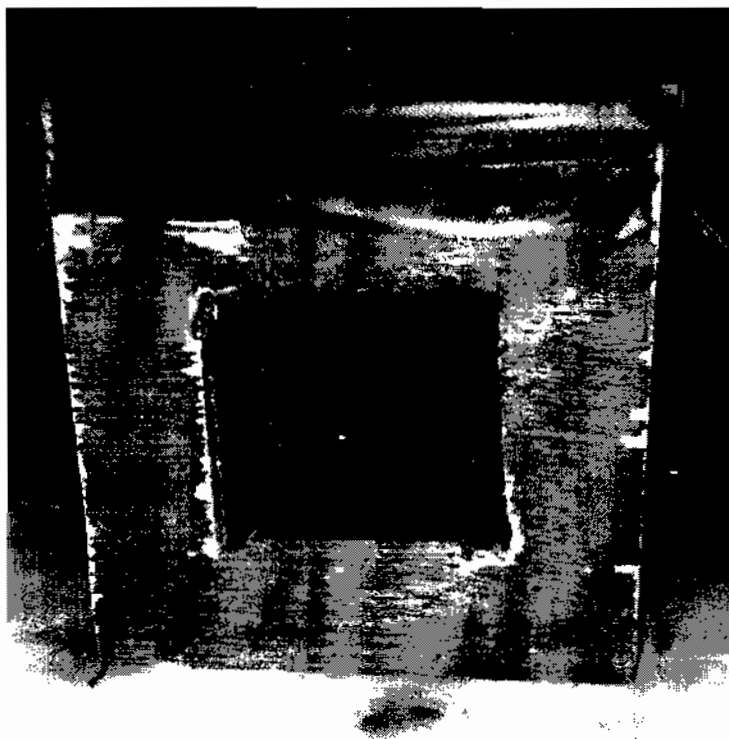
กำหนดให้  $L = 0.02$  m

$A = 0.13 \times 0.13$  m

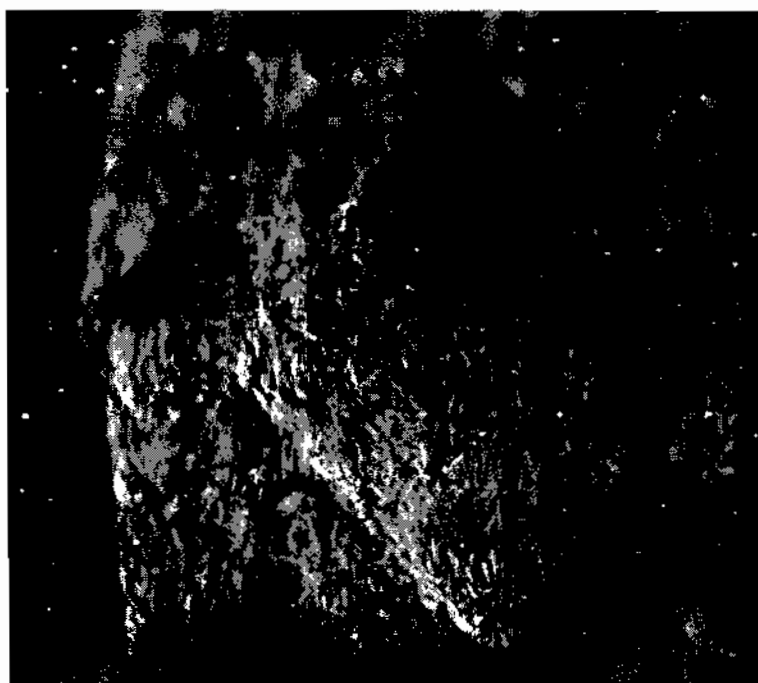
$\Delta T =$  ผลต่างของอุณหภูมิจนนวนด้านในและด้านนอก

ภาคผนวก ค  
ภาพประกอบการทดลอง





รูปที่ ค.1 แสดงแบบจำลองที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ ค.2 แสดงแผ่นที่ใช้ในกานทดสอบ



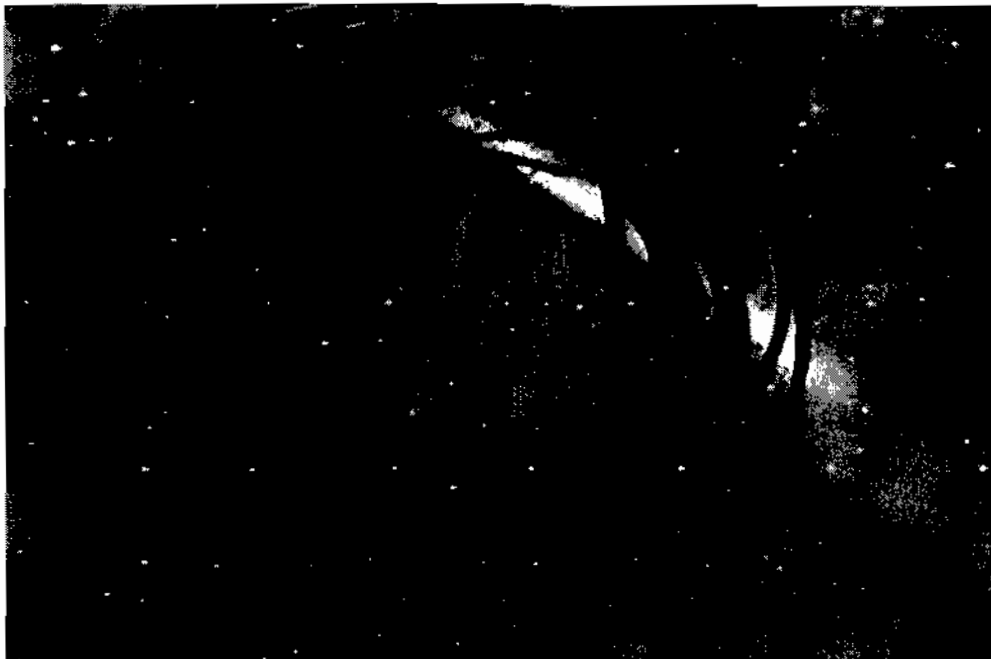
รูปที่ ค.3 แสดงวิธีการเก็บข้อมูล



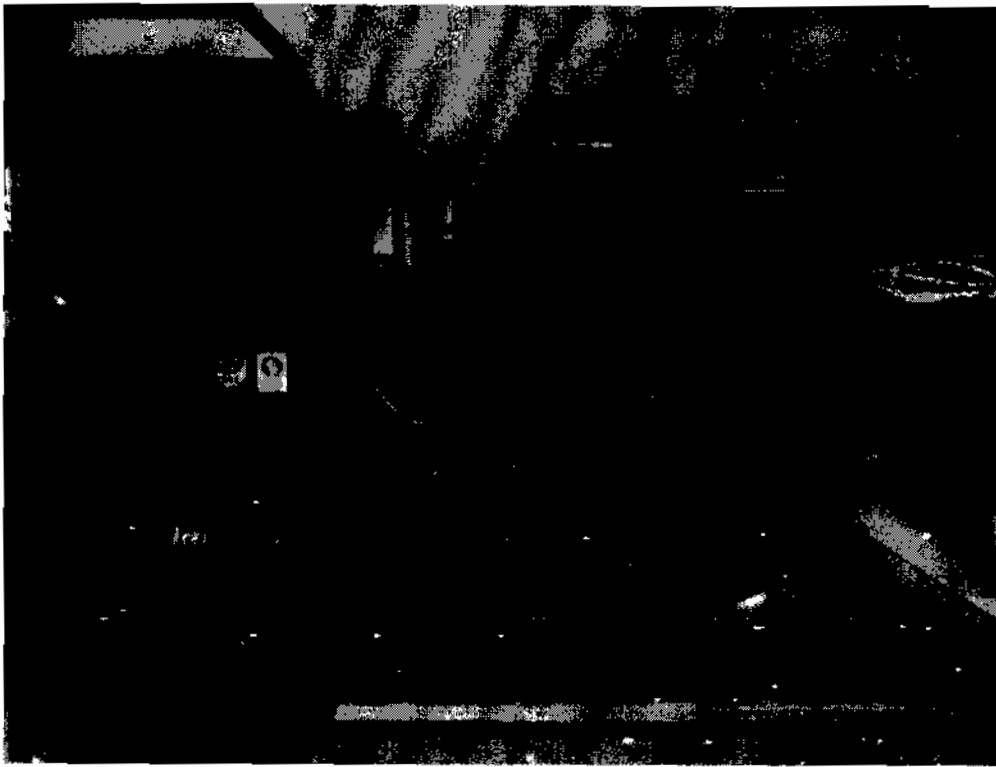
รูปที่ ค.4 ขดลวดไฟฟ้า



รูปที่ ค.5 : แสดงเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น DX200



รูปที่ ค.6 : แสดงสายเทอร์โมคัปเปิล Type K



รูปที่ ก.7 : แสดงชุดเครื่องคอมพิวเตอร์

## ประวัติย่อของผู้วิจัย

## ประวัติย่อของผู้วิจัย



ชื่อ นางสาวอารยา พรหมรักษา

วันเกิด วันที่ 4 ธันวาคม พ.ศ. 2532

สถานที่เกิด อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

สถานที่ที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 41/42 ซอย 7 แยก 5

ถนนพหลโยธิน ต.ปากเพรียว อ.เมือง จ.สระบุรี 18000

### ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2544 ประถมศึกษาจากโรงเรียนเทศบาล ๖ (วัดเชิงเขา) จังหวัดสระบุรี

พ.ศ. 2544 มัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนปากเพรียววิทยาคม จังหวัดสระบุรี

พ.ศ. 2550 มัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี

พ.ศ. 2554 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาฟิสิกส์ประยุกต์(พลังงาน)

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

หมายเลขติดต่อได้ 083-4133606

E-mail address na-doramon@hotmail.com