

แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก



นางสาวชลธิชา ชินพัชรธรรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREVENTION OF DETERIORATING WOODEN BUILDING IN EASTERN SEABOARD

Miss Chonthicha Chinnaphatcharatham



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering  
Department of Civil Engineering  
Faculty of Engineering  
Chulalongkorn University  
Academic Year 2015  
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณ
	ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก
โดย	นางสาวชลธิชา ชินพัชรธรรม
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วิฑิต ปานสุข
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.พงศ์ศักดิ์ วิวรรณะเดช

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัฒน์ชัย สมิตาการ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิฑิต ปานสุข)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(ดร.พงศ์ศักดิ์ วิวรรณะเดช)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร.ธิดารัตน์ จิระวัฒนาสมกุล)

ชลธิชา ชินพัชรธรรม : แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก (PREVENTION OF DETERIORATING WOODEN BUILDING IN EASTERN SEABOARD) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.วิฑิต ปานสุข, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ดร.พงศ์ศักดิ์ วิวรธนะเดช, 141 หน้า.

ไม้เป็นวัสดุธรรมชาติ โดยเกิดจากต้นไม้หลายชนิด การใช้ประโยชน์จึงมีความแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของไม้ ในงานก่อสร้างต้องคำนึงถึงความแข็งแรง และความทนทานของไม้ก่อสร้าง และในการแกะสลักทลายไม้ซึ่งต้องการความสวยงาม จึงต้องคำนึงถึง การเปลี่ยนแปลงของสี การหดหรือการขยายตัวของไม้ที่เกิดจากความชื้น สภาพแวดล้อมและสภาพอากาศ ซึ่งสามารถเห็นตัวอย่างการเสื่อมสภาพของไม้ที่ชัดเจนได้จากอาคารไม้ขนาดใหญ่บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกในจังหวัดชลบุรี “ปราสาทสัจธรรม”

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้มุ่งแสวงหาสาเหตุการเสื่อมสภาพของไม้ โดยการเตรียมชิ้นทดสอบแบบชนิดเคลือบสาร และไม้เคลือบสาร จำนวน 72 ชิ้น เข้าเครื่องเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ เครื่องทดสอบดังกล่าวจะทำการจำลองอุณหภูมิ ความชื้น และรังสีอัลตราไวโอเล็ต มาตรฐาน ASTM G154 จนกระทั่งชิ้นทดสอบเสื่อมสภาพ แล้วนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล ในขณะเดียวกันได้วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของความร้อนชั่วขณะจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อสังเกตความร้อนสะสมของอาคารในทุกระนาบ

จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไม้มีความสว่างลดลงร้อยละ 17.71 ปริมาณความชื้นและอัตราการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มลดลงร้อยละ 1-2 และ 2.5 ตามลำดับในทุกๆ 200 ชั่วโมงของการเร่งการเสื่อมสภาพ คุณสมบัติเชิงกลของชุดเคลือบสารให้กำลังต้านทานแรงดัดน้อยกว่าชุดไม้เคลือบสารร้อยละ 4.5 การสะสมความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอาคารไม้ พบการดูดกลืนรังสีพลังงานสูงในระนาบ B จึงทำให้เกิดการเสื่อมสภาพมากกว่าระนาบอื่น

ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา	ลายมือชื่อนิสิต	.....
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก	.....
ปีการศึกษา	2558	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม	.....

# # 5570158921 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS: DETERIORATING WOODEN / WOODEN BUILDING / WOOD PROPERTIES /  
TIMBER TESTING

CHONTHICHA CHINNAPHATCHARATHAM: PREVENTION OF DETERIORATING  
WOODEN BUILDING IN EASTERN SEABOARD. ADVISOR: ASSOC. PROF. WITHIT  
PANSUK, Ph.D., CO-ADVISOR: PHONGSAK WIWATTANADATE, Ph.D., 141 pp.

Wood is a natural material which consists of many types of trees. Utilization of wood is varies depending on the characteristics of wood. In construction, strength and durability must be taken into account. And, in term of aesthetic, changes in color and size of wood caused by humidity, environment and weather must be considered. One of the good examples of the deterioration of construction wood is the large wooden building in the eastern seaboard in Chonburi province called "Sanctuary of Truth".

The study is brought up for the purpose of discovering were the causes of the deterioration of the wood. First, by control specimens and specimens with coating agent of 72 pieces were tested by the weathering test simulating the collected environmental conditions such as temperature, humidity and ultraviolet are subjected to ASTM G154 standard. On the other hand, transient thermal analysis of temperature distributions in plane are using for determining the peak heat in all planes which ANSYS program by the finite element method.

The results from process weathering the physical properties test showed that specimens are brightness decreased 17.71 percent, Moisture content of wood and water absorption are tends to decrease 1-2 percent and 2.5 percent respectively for every 200 hours of weathering test. Mechanical properties specimens with coated for flexure stress of less than 4.5 percent group uncoated. Finally, the heat from temperature changes in the plane B discovering were the absorption of high-energy radiation can cause deterioration than other planes.

Department: Civil Engineering

Student's Signature .....

Field of Study: Civil Engineering

Advisor's Signature .....

Academic Year: 2015

Co-Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วิฑิต ปานสุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ อาจารย์ ดร. พงศ์ศักดิ์ วิวรรณะเดช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่เสียสละเวลาในการให้ความรู้ คำปรึกษา และคำแนะนำในการทำวิจัย จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จ ลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วัฒนชัย สมิตชากร และ อาจารย์ ดร. ธิดารัตน์ จิระวัฒนาสมกุล ที่ได้ให้ความรู้ ให้ข้อเสนอแนะ และคำแนะนำต่างๆด้วยดีเสมอมา เพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณปราสาทสังฆธรรม คุณพิจารณ์ วิริยะพันธุ์ ประธานบริษัทเมืองโบราณ จำกัด และคุณปองพล เพ็ญภาค ผู้จัดการฝ่ายโครงสร้างและโยธา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์วัสดุไม้ เพื่อใช้ในการทดสอบ และขอขอบคุณบริษัทรุ่งทิวเคมีภัณฑ์ จำกัด ผู้ให้การสนับสนุนทุนวิจัย โครงการและสารทดสอบ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณนายอำนาจ ควรประเสริฐ และนางชลดา ชินพัชรธรรม ที่ให้ความอุปการะ และเป็นกำลังใจให้แก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ .....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 แนวทางดำเนินงานวิจัย .....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	6
2.1 หลักเกณฑ์การแบ่งไม้ตามมาตรฐานกรมป่าไม้.....	7
2.1.1 ไม้เนื้ออ่อน .....	7
2.1.2 ไม้เนื้อแข็ง .....	7
2.1.3 การแบ่งไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง .....	7
2.1.4 ข้อกำหนดประเภทของไม้.....	9
2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของไม้ .....	10
2.2.1 ปริมาณความชื้น.....	11
2.2.2 ความถ่วงจำเพาะ .....	13
2.2.3 ความหนาแน่น .....	16

2.2.4 การดูดซึมน้ำ การหด และการขยายตัวของไม้ .....	18
2.3 คุณสมบัติเชิงกลของไม้ .....	22
2.3.1 โครงสร้างไม้ธรรมชาติ .....	23
2.3.2 ชนิดการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล .....	23
2.3.3 ชนิดการทดสอบความแข็ง .....	25
2.3.4 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกลของไม้ .....	26
2.4 ทฤษฎีคุณสมบัติเชิงความร้อน .....	27
2.4.1 การถ่ายเทความร้อน .....	28
2.4.2 ความจุความร้อน .....	36
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย .....	38
3.1 แนวทางวิเคราะห์ผลการทดสอบ .....	38
3.2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ .....	38
3.2.1 ชนิดของไม้ .....	39
3.2.2 ขนาดแผ่นไม้ .....	40
3.2.3 ชนิดสารเคลือบไม้ .....	40
3.3 เครื่องเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ .....	41
3.3.1 มาตรฐานการทดสอบ .....	41
3.3.2 หลักการทำงานของเครื่อง .....	41
3.3.3 เงื่อนไขการควบคุมสภาพอากาศ .....	45
3.4 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ .....	46
3.4.1 การปรับสภาวะขึ้นทดสอบและการวัดขนาด .....	46
3.4.2 เครื่องมือและขั้นตอนการหาปริมาณความชื้น .....	47
3.4.3 การคำนวณหาปริมาณความชื้น .....	47



3.4.4 เครื่องมือและขั้นตอนทดสอบการดูดซึมน้ำและการขยายตัวเมื่อแช่น้ำ.....	48
3.4.5 การคำนวณการดูดซึมน้ำและการขยายตัวเมื่อแช่น้ำ.....	49
3.5 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล.....	51
3.5.1 เครื่องมือและขั้นตอนการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด.....	51
3.5.2 วิธีคำนวณความต้านทานแรงดัด.....	53
3.6 แบบจำลองการเคลื่อนที่ของความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ.....	57
บทที่ 4 ผลการทดสอบคุณสมบัติไม้.....	58
4.1 การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไม้.....	59
4.2 ปริมาณความชื้นผิวไม้.....	63
4.3 อัตราการดูดซึมน้ำของไม้.....	67
4.4 อัตราการขยายตัวของไม้เมื่อแช่น้ำ.....	69
4.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล.....	72
4.5.1 แรงดัดที่ขีดพิกัดยืดหยุ่นและการโก่งตัวของชิ้นทดสอบ.....	72
4.5.2 กำลังต้านทานแรงดัดและโมดูลัสแตกหัก.....	75
4.5.3 โมดูลัสยืดหยุ่น.....	78
4.5.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้.....	80
บทที่ 5 การวิเคราะห์อุณหภูมิอาคารไม้.....	86
5.1 สภาพพื้นที่และอาคารไม้ที่ทำการศึกษา.....	87
5.1.1 ที่ตั้งอาคารไม้.....	87
5.1.2 โครงสร้างและผังอาคาร.....	88
5.1.3 รูปแบบทางสถาปัตยกรรม.....	89
5.1.4 สภาพภูมิอากาศ.....	91
5.2 การสร้างแบบจำลองอย่างง่ายด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	92

5.2.1 ข้อมูลและตัวแปรสำคัญในการสร้างแบบจำลอง .....	92
5.2.2 ขนาดแบบจำลองและการแบ่งเอลิเมนต์.....	92
5.2.3 เงื่อนไขการให้ความร้อน .....	93
5.3 การเคลื่อนที่ของความร้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวอาคารไม้ .....	93
5.3.1 การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของความร้อนที่ผิวอาคารระนาบ A .....	94
5.3.2 การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของความร้อนที่ผิวอาคารระนาบ C .....	95
5.3.3 การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของความร้อนที่ผิวอาคารระนาบ B .....	96
5.3.4 การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของความร้อนที่ผิวอาคารระนาบ D.....	97
5.4 แนวทางการบำรุงรักษาอาคารไม้ .....	98
5.4.1 การคาดคะเนการเสื่อมถอยของอาคารจากผลการทดสอบทางกายภาพ.....	98
5.4.2 การคาดคะเนการเสื่อมถอยของอาคารจากผลการวิเคราะห์ความร้อน .....	99
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย .....	104
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	104
6.2 ข้อเสนอแนะ .....	107
รายการอ้างอิง .....	108
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้.....	111
ภาคผนวก ข ข้อมูลและตัวแปรสำคัญในการสร้างแบบจำลอง .....	130
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์แบบจำลองการเคลื่อนที่ของความร้อน.....	136
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	141

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2. 1	หลักเกณฑ์การแบ่งไม้เนื้ออ่อนไม้เนื้อแข็งตามมาตรฐานของกรมป่าไม้ .....	8
ตารางที่ 2. 2	ปริมาณความชื้นของไม้ที่จุดสมดุล ณ อุณหภูมิต่างๆ กับค่าความชื้นสัมพัทธ์ .....	12
ตารางที่ 2. 3	ความหนาแน่นของไม้ ในรูปแบบฟังก์ชันของความถ่วงจำเพาะและปริมาณความชื้น .	17
ตารางที่ 2. 4	เปอร์เซ็นต์การหดตัวของไม้ จากไม้สดเป็นไม้อบแห้ง .....	22
ตารางที่ 2. 5	การนำความร้อนของไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง .....	31
ตารางที่ 2. 6	ความจุความร้อนของเนื้อไม้ ณ อุณหภูมิกับปริมาณความชื้นต่างๆ .....	37
ตารางที่ 3. 1	การทดสอบการเสื่อมสภาพแผ่นไม้ เมื่อเข้าเครื่องเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ ....	39
ตารางที่ 3. 2	เงื่อนไขการควบคุมการแผ่รังสี [4] .....	45
ตารางที่ 3. 3	ตารางการทดสอบค่าความชื้นของไม้ .....	48
ตารางที่ 3. 4	ตารางการทดสอบการดูดซึมน้ำและการขยายตัวเมื่อแช่น้ำ .....	50
ตารางที่ 3. 5	ตารางการทดสอบบันทึกค่าแรงกด .....	54
ตารางที่ 3. 6	ตารางการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้ .....	56
ตารางที่ 4. 1	ผลการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไม้กลุ่มที่ 1 .....	60
ตารางที่ 4. 2	ผลการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไม้กลุ่มที่ 5 .....	61
ตารางที่ 4. 3	การเปลี่ยนแปลงความชื้นที่ผิวของชิ้นทดสอบไม้เคลือบสาร .....	63
ตารางที่ 4. 4	การเปลี่ยนแปลงความชื้นที่ผิวของชิ้นทดสอบเคลือบสาร625 .....	63
ตารางที่ 4. 5	อัตราการดูดซึมน้ำของไม้ .....	67
ตารางที่ 4. 6	อัตราการขยายตัวของไม้เมื่อแช่น้ำ .....	70
ตารางที่ 4. 7	การทดสอบแรงดัดและการโก่งตัวของไม้ .....	72
ตารางที่ 4. 8	ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดและโมดูลัสแตกหัก .....	75

ตารางที่ 4. 9 ผลการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) .....	78
ตารางที่ 5. 1 ปริมาณรังสีช่วงเวลาที่มิผลกระทบต่ออาคาร .....	100
ตารางที่ 5. 2 ช่วงเวลารังสีแผ่สู่ระนาบต่างๆของอาคาร.....	102



## สารบัญภาพ

ภาพที่ 2. 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความถ่วงจำเพาะกับปริมาณความชื้น [18] .....	14
ภาพที่ 2. 2 ความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นกับความชื้นสัมพัทธ์ของไม้ ภายใต้เงื่อนไข กระบวนการดูดซึ่มและการคายน้ำในระยะต่างๆ .....	19
ภาพที่ 2. 3 ลักษณะการหดตัว การบิดตัวของไม้ในแนวต่างๆ [18].....	20
ภาพที่ 2. 4 การหดตัวของไม้ [26].....	21
ภาพที่ 2. 5 ตามทิศทางของแกนทั้งสามของแนวไม้ [20].....	23
ภาพที่ 2. 6 ลักษณะการรับแรงต่างๆ [26] .....	25
ภาพที่ 2. 7 การเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างหน่วย °C กับ K [17].....	28
ภาพที่ 2. 8 การนำความร้อนด้วยการกระตุ้นให้โมเลกุลเกิดการสั่น โดยโมเลกุลไม่มีการเปลี่ยน ตำแหน่ง [16].....	29
ภาพที่ 2. 9 รังสีความร้อนที่ตกกระทบ สะท้อน ถูกดูดกลืน และทะลุผ่าน .....	35
ภาพที่ 3. 1 ขนาดแผ่นไม้ทดสอบ .....	40
ภาพที่ 3. 2 ชนิดสารเคลือบไม้ .....	41
ภาพที่ 3. 3 ชั้นทดสอบและเครื่องเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ .....	42
ภาพที่ 3. 4 แนวการวางชั้นทดสอบในเครื่องเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ .....	42
ภาพที่ 3. 5 รังสี UVA-340 จำลองช่วงคลื่นรังสีที่เที่ยงวันในฤดูร้อน [22] .....	43
ภาพที่ 3. 6 รังสี UVB-313 จำลองรังสีคลื่นสั้น พลังงานสูง ในการทดสอบความคงทนของวัสดุ .....	43
ภาพที่ 3. 7 วางแนวและการแผ่รังสีของเครื่องทดสอบ [22].....	44
ภาพที่ 3. 8 การควบคุมปริมาณความชื้นและอุณหภูมิ.....	44
ภาพที่ 3. 9 การวัดขนาดความกว้าง ความยาว และความหนา.....	46
ภาพที่ 3. 10 การทดสอบกำลังต้านทานแรงตัด.....	52
ภาพที่ 3. 11 ลักษณะการวิบัติของเนื้อไม้เนื่องจากทดสอบการตัด [24] .....	52

ภาพที่ 3. 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับค่าการแอ่นตัวของชิ้นทดสอบ .....	55
ภาพที่ 3. 13 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการวิเคราะห์อุณหภูมิของอาคารไม้.....	57
ภาพที่ 4. 1 ระบบค่าสี CIE Lab-System บรรยายสีแบบ 3 มิติ.....	59
ภาพที่ 4. 2 ตัวอย่างการบรรยายสี 3 มิติ ชิ้นทดสอบ 1-1-N ที่ 200 ชั่วโมง .....	60
ภาพที่ 4. 3 ตัวอย่างการบรรยายสี 3 มิติ ชิ้นทดสอบ 5-1-N ที่ 1000 ชั่วโมง .....	61
ภาพที่ 4. 4 ปริมาณความชื้นคงเหลือเมื่อผ่านชั่วโมงเร่งการเสื่อมสภาพ สำหรับชุดทดสอบไม้เคลือบสาร.....	64
ภาพที่ 4. 5 ปริมาณความชื้นคงเหลือเมื่อผ่านชั่วโมงเร่งการเสื่อมสภาพ สำหรับชุดทดสอบเคลือบสาร625.....	65
ภาพที่ 4. 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลของไม้กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ [26] .....	66
ภาพที่ 4. 7 เปรียบเทียบอัตราการดูดซึมน้ำของไม้ ระหว่างชิ้นทดสอบ ชุดไม้เคลือบสารกับชุดเคลือบสาร625.....	68
ภาพที่ 4. 8 เปรียบเทียบอัตราการขยายตัวของไม้เมื่อแช่น้ำ ระหว่างชิ้นทดสอบ ชุดไม้เคลือบสารกับชุดเคลือบสาร625 .....	71
ภาพที่ 4. 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดกับการโก่งตัวของไม้ ชิ้นทดสอบไม้เคลือบสาร.....	74
ภาพที่ 4. 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดกับการโก่งตัวของไม้ ชิ้นทดสอบเคลือบสาร625.....	74
ภาพที่ 4. 11 เปรียบเทียบกำลังต้านทานแรงดัด (Flexural Stress at Proportional Limit) เมื่อผ่านชั่วโมงเร่งการเสื่อมสภาพ ระหว่างชุดไม้เคลือบสารกับเคลือบสาร625.....	76
ภาพที่ 4. 12 เปรียบเทียบโมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture at Ultimate Load) เมื่อผ่านชั่วโมงเร่งการเสื่อมสภาพ ระหว่างชุดไม้เคลือบสารกับเคลือบสาร625.....	77
ภาพที่ 4. 13 เปรียบเทียบโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) เมื่อผ่านชั่วโมงเร่งการเสื่อมสภาพ ระหว่างชุดไม้เคลือบสารกับเคลือบสาร625.....	79

ภาพที่ 5. 1	แผนที่การขนส่งมวลชนและแผนที่ดาวเทียมโดยสังเขป .....	87
ภาพที่ 5. 2	ผังอาคารบริเวณโดยรอบ .....	88
ภาพที่ 5. 3	โครงสร้าง รูปแบบอาคารไม้ .....	88
ภาพที่ 5. 4	รูปแบบทางสถาปัตยกรรมภายในและภายนอก .....	89
ภาพที่ 5. 5	ห้องโถงด้านทิศตะวันออกและตะวันตก .....	90
ภาพที่ 5. 6	ห้องโถงด้านทิศเหนือและทิศใต้ .....	90
ภาพที่ 5. 7	แบบจำลองการเคลื่อนที่อุณหภูมิที่ผิวอาคารไม้อย่างง่าย .....	92
ภาพที่ 5. 8	ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาการเกิดความร้อนที่มีผลต่อพื้นที่ผิวอาคารระนาบA แบบจำลองการเคลื่อนที่ของความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เวลา 06:00-12:00 น. ....	94
ภาพที่ 5. 9	ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาการเกิดความร้อนที่มีผลต่อพื้นที่ผิวอาคารระนาบC แบบจำลองการเคลื่อนที่ของความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เวลา 09:00-15:00 น. ....	95
ภาพที่ 5. 10	ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาการเกิดความร้อนที่มีผลต่อพื้นที่ผิวอาคารระนาบB แบบจำลองการเคลื่อนที่ของความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เวลา 12:00-18:00 น. ....	96
ภาพที่ 5. 11	ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาการเกิดความร้อนที่มีผลต่อพื้นที่ผิวอาคารระนาบD แบบจำลองการเคลื่อนที่ของความร้อน เวลา 06:00-09:00 และ 15:00-18:00 น. ....	97
ภาพที่ 5. 12	ปริมาณรังสีช่วงเวลาที่มิผลกระทบต่อระนาบอาคารไม้เฉลี่ยรายชั่วโมง ในรอบ 1 ปี .	101

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ไม้เป็นวัสดุธรรมชาติ จัดเป็นอินทรีย์สารอย่างหนึ่ง มีเซลลูโลสซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของผนังเซลล์ และลิกนิน ทำให้ผนังเซลล์แข็งตัวและเชื่อมประสานเซลล์ต่างๆให้ติดกัน ประกอบกันขึ้นเป็นเนื้อไม้ นอกจากนี้ส่วนประกอบทั้งสองอย่างดังที่กล่าวมาแล้ว ในไม้ยังมีสารพวกแป้ง น้ำตาล โปรตีน สารให้สี แทนนิน และสารอื่นๆ ผิดแปลกตาต่างกันไป ตามส่วนของเนื้อไม้ที่เป็นกระพี้ แก่น และแตกต่างกันไปตามชนิดของพันธุ์ไม้อีกด้วย การใช้ประโยชน์จึงมีความแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของไม้ ในงานก่อสร้างต้องคำนึงถึงความแข็งแรง และความทนทานของไม้ก่อสร้าง ในงานประติมากรรมการสร้างรูปทรงสามมิติโดยใช้ไม้เป็นวัสดุในการแกะสลักลวดลายเน้นความสวยงามจึงต้องคำนึงถึง การเปลี่ยนแปลงของสีของเนื้อไม้ การหดหรือการขยายตัวของไม้ สภาพอากาศ อุณหภูมิ ตำแหน่งที่ตั้ง ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อความสัมพันธ์ของวัสดุไม้ สามารถเห็นตัวอย่างการเสื่อมสภาพของไม้ที่ชัดเจนได้จากอาคารไม้ขนาดใหญ่ “ปราสาทสัจธรรม” (The Sanctuary of truth) ตั้งอยู่ที่แหลมราชเวช อ่าววงพระจันทร์ ตำบลนาเกลือ อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี เป็นอาคารที่สร้างด้วยไม้แกะสลักทั้งหลังทรงไทยจตุรมุข ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก ตัวอาคารมีความสูง 105 เมตร กว้างและยาว 100 เมตร ห้องโถงและหน้าต่างเปิดให้ลมและแสงแดดเข้าทั้ง 4 ด้าน ภายในปราสาทมีประติมากรรมไม้แกะสลักอยู่แทบทุกจุด และที่ใจกลางปราสาทเป็นห้องโถงใหญ่มีบุษบกทรงสถูปไม้แกะสลัก ไม้ที่นำมาใช้ในการสร้างได้แก่ ไม้แดง ไม้ประดู่ ไม้ตะเคียน และไม้สักทอง ล้วนเป็นไม้เนื้อแข็งที่สามารถรองรับน้ำหนักได้มาก เสาก่อเป็นไม้ตะเคียนทองอายุกว่า 600 ปี การเข้าไม้ของปราสาทใช้การยึดต่อไม้แบบโบราณ การเข้าเดือย ตอกสลัก เข้าลิ้น ทางเหยี่ยว โดยไม่มีการใช้ตะปู ปัญหาเกิดจากที่ตั้งอาคารดังกล่าวอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลและเป็นโครงสร้างไม้ขนาดใหญ่ที่ประดับตกแต่งด้วยไม้แกะสลักล้วน จากการทดสอบความทนทานของไม้ที่ผ่านมา พบว่าไม้ที่ใช้ในร่มจัดอยู่ในกลุ่มการเสื่อมสภาพระดับต่ำสุด ตรงกันข้ามกับอาคารไม้หลังนี้อยู่กลางแจ้ง ถูกแดดถูกฝนตามกาลเวลา รวมถึงความชื้นจากทะเลล้อมรอบ เป็นสภาพแวดล้อมที่ล่อแหลมต่ออันตรายจากรา มอด ปลวก และเชื้ออานวยต่อการเสื่อมสภาพของไม้ระดับสูง[1] ทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพ เช่น การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไม้ การหดตัวของชิ้นไม้ การปริแตกของรูปปั้นแกะสลัก ในระยะยาว



สภาพแวดล้อมนี้เช่นนี้ เหมือนถูกเร่งให้เกิดการเสื่อม สึกกร่อน และผุเปื่อย ไม้เนื้อแข็งที่นำมาสร้างจึงมีอายุการใช้งานที่สั้นกว่าไม้เนื้อแข็งปกติ

งานวิจัยนี้จึงเริ่มด้วยการตรวจวัดความชื้นในเนื้อไม้รอบบริเวณอาคาร เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งภาคตะวันออก เก็บตัวอย่างไม้ นำไปปรับสภาพ โดยเตรียมขึ้นทดสอบเป็น 2 กลุ่มคือ ชุดไม้เคลือบสารและชุดเคลือบสารป้องกันการเสื่อมสภาพ จากนั้นนำเข้าเครื่องเร่งปฏิบัติการจำลองสภาพอากาศ (Weathering Test) เครื่องทดสอบดังกล่าวจะทำการจำลองสภาพอากาศให้คล้ายคลึงบริเวณที่ตั้งอาคารด้วยข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีพัทธา ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น และความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต เพื่อให้ตัวอย่างทดสอบเกิดการเสื่อมสภาพใกล้เคียงสภาพจริง เมื่อครบชั่วโมงการทดสอบ วัดค่าความเปลี่ยนแปลงสี จากนั้นนำตัวอย่างไม้มาทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรง ด้วยการทดสอบความต้านทานแรงดัดแผ่นไม้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.180-2532) เมื่อครบ 1000 ชั่วโมงในเครื่องเร่งปฏิบัติการจำลองสภาพอากาศ ซึ่งเท่ากับ 5 ปีในสภาพจริง แสดงผลการเปรียบเทียบค่าการทดสอบแรงดัด การทดสอบหาปริมาณ ความชื้น และการดูดซึมน้ำการพองตัวเมื่อแช่น้ำ ของชุดทดสอบไม้เคลือบสารและเคลือบสารป้องกันการเสื่อมสภาพ รวมถึงแสดงการวิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในอาคารไม้ ด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ หากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในแต่ละระนาบต่อรอบปี เปรียบเทียบค่าการเสื่อมสภาพของขึ้นทดสอบที่ผ่านเครื่องเร่งปฏิบัติการจำลองสภาพอากาศ เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนการบำรุงรักษาอาคารต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของไม้ ระหว่างกลุ่มไม้ไม่เคลือบสารกับกลุ่มเคลือบสารป้องกันการเสื่อมสภาพ ด้วยการทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.180-2532 หลังจากนำขึ้นทดสอบผ่านเครื่องเร่งปฏิบัติการจำลองสภาพอากาศ (Weathering Test) ตามมาตรฐาน ASTM G154
2. สร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ของความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ด้วยโปรแกรม ANSYS วิถีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method-FEM) วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของความร้อนที่ผิวอาคาร ในรูปแบบ 2 มิติอย่างง่าย จากข้อมูลสภาพอากาศจริง เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในแต่ละระนาบต่อรอบปี เปรียบเทียบค่าการเสื่อมสภาพของชิ้นไม้ ตัวอย่างที่ผ่านเครื่องเร่งปฏิบัติการจำลองสภาพอากาศ และเพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนการบำรุงรักษาตัวอาคาร

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ขอบเขตงานวิจัยมีดังนี้

1. อุณหภูมิ รังสี ค่าความยาวนานแสงแดด สภาพอากาศบริเวณที่ตั้งอาคาร ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา
2. ข้อมูลปริมาณความชื้นและอุณหภูมิในเนื้อไม้ ได้จากการวัดค่าจริง ด้วยเครื่องมือวัดค่าความชื้นในเนื้อไม้ (Timber moisture meter Standard ST-129) เพื่อเป็นแนวทางในการสนับสนุนสมมติฐาน และวิเคราะห์ปัจจัยการเสื่อมสภาพเท่านั้น
3. ตัวอย่างไม้ทดสอบ ได้รับความอนุเคราะห์จากปราสาทสี่จระเข้ ตามสภาพอากาศ และการก่อสร้างใช้งานจริง
4. สารเคลือบป้องกันการเสื่อมสภาพของไม้ ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทรุ่งทิวเคมิภัณฑ์ และด้วยการพัฒนาสูตรสารเคมีจากภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ ซึ่งใช้ในการ

เคลื่อนขึ้นทดสอบเพื่อเปรียบเทียบการเสื่อมสภาพของคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติเชิงกล เมื่อผ่านการทดสอบจากเครื่องเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ

5. การสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่อุณหภูมิด้วยโปรแกรม ANSYS วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method – FEM) วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยรอบอาคารไม้ 4 ระนาบ ในรูปแบบ 2 มิติอย่างง่าย
6. คุณสมบัติของวัสดุเริ่มต้นในการสร้างแบบจำลอง กำหนดจากอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ จากข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา และคุณสมบัติของไม้แดง *Xylia Kerrii*
7. กำหนดให้ส่งผ่านความร้อนเข้าสู่เอลิเมนต์ (Heat transfer from high temperature to element) ด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้นตามข้อมูลสภาพอากาศกรมอุตุนิยมวิทยา ในรูปแบบของการพาความร้อนที่ขอบพื้นผิว (By Convection on line)
8. ความชื้นมีช่วงการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาาน ซึ่งมีผลน้อยในการวิเคราะห์แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ จึงกำหนดการส่งผ่านความร้อนเข้าสู่เอลิเมนต์ด้วยอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว
9. กำหนดเวลาในการวิเคราะห์ 43,200 วินาที สังเกตการเปลี่ยนแปลงทุก 1800 วินาที

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิจัยนี้คาดว่าจะมีประโยชน์ ดังต่อไปนี้

1. เป็นแนวทางในการดูแลรักษาสภาพอาคารไม้ ทำให้ไม้มีคุณสมบัติทนทานต่อสภาพแวดล้อม และมีอายุการใช้งานได้ยาวนานขึ้น
2. สามารถทำนายพฤติกรรมกระจายตัวของอุณหภูมิภายในตัวอาคารไม้ เพื่อง่ายในการป้องกันความร้อนสะสมในเนื้อไม้ ซึ่งมีผลต่อการเสื่อมสภาพของเนื้อไม้อย่างรวดเร็ว

## 1.5 แนวทางดำเนินงานวิจัย

แนวทางดำเนินงานวิจัยมีดังนี้

1. ศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของไม้ คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติเชิงกลของไม้
2. ศึกษามาตรฐานการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นไม้ การเตรียมตัวอย่าง และเครื่องทดสอบ
3. ศึกษามาตรฐานการทดสอบการเสื่อมสภาพแผ่นไม้ จากเครื่องเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ (Weathering Test) ที่เกี่ยวข้องกับความชื้นและรังสีอัลตราไวโอเล็ต
4. ตรวจสอบการเสื่อมสภาพของอาคารไม้ด้วยสายตา วัดปริมาณความชื้นในเนื้อไม้ เก็บตัวอย่างแผ่นไม้ และข้อมูลสภาพอากาศ ณ บริเวณที่ตั้งอาคาร
5. เตรียมตัวอย่างไม้ทดสอบ จำนวน 72 ชิ้น ขนาดกว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 250 มิลลิเมตรหนา 10 มิลลิเมตร เคลือบสารป้องกันการเสื่อมสภาพคือ สารเคลือบ625 จำนวน 36 ชิ้น และกลุ่มไม้เคลือบสาร 36 ชิ้น
6. ดึงตัวอย่างทุกๆ 200 ชั่วโมง นำมาวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของสี ทดสอบความต้านทานแรงดัดทดสอบหาค่าปริมาณความชื้นคงเหลือ ค่าการดูดซึมน้ำและการขยายตัวเมื่อแช่น้ำ
7. แสดงค่าการเสื่อมสภาพของชิ้นไม้ตัวอย่างที่ผ่านเครื่องเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ ณ 200, 400, 600, 800 และ 1000 ชั่วโมง ตามการทดสอบ
8. จำลองการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในอาคารไม้ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จากโปรแกรม ANSYS วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในแต่ละระนาบอาคาร
9. แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ 4 ระนาบในรอบปี เปรียบเทียบค่าการเสื่อมสภาพของชิ้นไม้ตัวอย่างที่ผ่านเครื่องเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ
10. สรุปผล เสนอแนวทางการบำรุงรักษาอาคารไม้ เขียนบทความวิชาการและวิทยานิพนธ์

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สาเหตุการผุพังหรือการเสื่อมสภาพของไม้ และผลิตภัณฑ์ไม้ มีสาเหตุได้หลายประการ ลักษณะความเสียหายจะแตกต่างกัน ขึ้นกับกลไกของปฏิกิริยานั้นๆ เช่น

1. **ปฏิกิริยากล** เนื่องจากไม้ถูกแรงหรือน้ำหนักกระทำต่างๆ เช่น แรงอัดดึง แรงเฉือน และแรงบิด เป็นต้น รวมถึงการกระทบกระเทือนต่างๆ ทำให้ไม้เสียสมดุล บิด งอ โกง และแตกในที่สุด พบว่าไม้แต่ละชนิด มีความสามารถทนทานต่อแรงกระทำต่างกัน คุณสมบัตินี้จึงเป็นข้อสำคัญ ในการตัดสินใจว่าควรเลือกไม้นั้นเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างอาคาร ส่วนใดจึงจะเหมาะสม
2. **ปฏิกิริยาทางฟิสิกส์** ในสภาพที่ไม้ได้รับความร้อนสูงเป็นเวลานานไม้จะเสื่อมสภาพได้ เนื่องจากความร้อนที่สะสมอยู่ในเนื้อไม้ทำให้เซลลูโลสถูกทำลาย ความชื้นซึ่งทำให้ไม้มีการหดตัว พองตัว แตกร้าว และโดยการกระทำของสภาพอากาศ ไม้จึงมีความแข็งแรงน้อยลง นอกจากนี้จะมีลักษณะเปื่อย ยุ่ย สีซีด คล้ายการทำลายของเห็ดรา
3. **ปฏิกิริยาทางเคมี** ปัญหาของไม้ที่เสื่อมสภาพโดย กรด-ด่าง จะทำให้ไม้มีสีซีดจางบางครั้งจะมีลักษณะการผุพังที่คล้ายถูกทำลายโดยเชื้อเห็ดราหรือแบคทีเรีย
4. **ปฏิกิริยาทางชีววิทยา** เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับสารประกอบของไม้ เช่น เซลลูโลส และลิกนิน โดยเชื้อเห็ดราต่างๆ เข้าไปมีบทบาทในการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่เปลี่ยนเป็นโมเลกุลเล็ก สภาพของไม้ที่ปรากฏออกมาสีซีดหรือเข้มกว่าปกติ นอกจากนี้เนื้อไม้จะเปื่อยยุ่ยหรือแตกเป็นตามขวางของเส้น

## 2.1 หลักเกณฑ์การแบ่งไม้ตามมาตรฐานกรมป่าไม้

ไม้การค้าแบ่งออกเป็นสองชนิด คือ ไม้เนื้ออ่อน (Softwoods) และไม้เนื้อแข็ง (Hardwoods) โดยอาศัยวิชาการทางพฤกษศาสตร์เป็นรากฐานในการแบ่งออกเป็นสองชนิดดังกล่าวคือ

### 2.1.1 ไม้เนื้ออ่อน

ไม้เนื้ออ่อน (Softwoods) เป็นไม้ที่ได้จากต้นไม้พวกสน (Coniferae.) ที่มีลักษณะใบเรียวกเล็ก (Needle leaves) ผลมีรูปลักษณะเป็นรูปทรงกรวย (Cone) ต้นไม้พวกนี้ส่วนมากขึ้นอยู่ในที่สูงมีอากาศเย็นในประเทศที่มีอากาศหนาว (Temperate regions) ลักษณะโครงสร้างของไม้เนื้ออ่อนเป็นแบบธรรมดาซึ่งแตกต่างจากไม้เนื้อแข็งอย่างชัดเจน และมีความเหมาะสมในการใช้งานก่อสร้างได้ ถึงว่าจะมีเนื้อไม้ของไม้สนหลายชนิดค่อนข้างอ่อนแต่ก็ง่ายต่อการไสตัดแต่ง มีน้ำหนักเบาและแข็งพอที่จะใช้สำหรับงานก่อสร้างโดยทั่วไปได้เช่นกัน

### 2.1.2 ไม้เนื้อแข็ง

ไม้เนื้อแข็ง (Hardwoods) เป็นไม้ที่ได้มาจากต้นไม้ที่มีใบกว้าง (broad leaved trees) ซึ่งเป็นไม้จำนวนมากที่มีอยู่ในป่าไม้ของประเทศไทย ไม้ที่เป็นของไทยส่วนมากหรือทั้งหมดที่เป็นการค้าเป็นไม้เนื้อแข็งมีจำนวนหลายสิบชนิด ลักษณะโครงสร้างของไม้เนื้อแข็งมีความยุ่งยากซับซ้อนกว่าไม้เนื้ออ่อน และมีลักษณะแตกต่างระหว่างไม้เนื้อแข็งด้วยกันเองมาก คุณสมบัติของไม้เนื้อแข็งมีความแตกต่างระหว่างพวกไม้เนื้อแข็งด้วยกันทั้งในด้านความแข็งแรงของการรับน้ำและความแข็งของเนื้อไม้อย่างกว้างขวาง

### 2.1.3 การแบ่งไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง

โดยที่คุณสมบัติเชิงกลของไม้ (Mechanical Properties) นั้นเกี่ยวข้องกับแรง (Stress) ที่มากระทำต่อไม้ ซึ่งมี 4 ลักษณะด้วยกัน คือ แรงอัด (Compressive Stress) เป็นแรงที่ทำให้ไม้มีขนาดเล็กลงกว่าเดิม แรงดึง (Tensile Stress) เป็นแรงที่ทำให้ไม้มีขนาดหรือปริมาตรใหญ่กว่าเดิม แรงเฉือน (Shear Stress) เป็นแรงที่ทำให้ไม้แยกออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรงดัด (Bending Stress) เป็นแรงที่ทำให้ไม้โค้งงอจนหัก เป็นแรงที่รวมเอาแรง 3 ชนิดแรกเข้าด้วยกัน ความสามารถที่ไม้จะต้านทานต่อแรงที่มากระทำ เรียกว่า ความแข็งแรง (Strength) ซึ่งจะมีความแข็งแรงชนิดใดก็ขึ้นอยู่กับชนิดแรงที่มา

กระทำดังกล่าวแล้ว แรงที่นับว่าสำคัญและพบ่าเกิดขึ้นเสมอในสิ่งก่อสร้าง คือแรงอัดขนานเสี้ยนและแรงดัด ร่องลงมาก็คือแรงเฉือน โดยเฉพาะแรงดัดซึ่งสามารถทำให้ไม้หักเสียรูปโดยสิ้นเชิงนั้น เป็นแรงที่มีปัจจัยต่างๆ ในสิ่งก่อสร้างมาเกี่ยวข้องอยู่เป็นอันมาก แรงดัดสูงสุดที่ทำให้ไม้หัก เรียกว่า แรงประลัยหรือสัมประสิทธิ์ในการหัก (Modulus of Rupture) ความต้านทานของไม้ต่อแรงประลัยนี้ เรียกว่า ความแข็งแรงของไม้ในการดัด ซึ่งยอมรับและใช้กันเป็นมาตรฐานของความแข็งแรงของไม้ ในการแบ่งไม้ออกเป็นประเภทไม้เนื้ออ่อนหรือไม้เนื้อแข็ง จึงได้ถือเอาความแข็งแรงในการดัดเป็นเกณฑ์ โดยพิจารณาความทนทานตามธรรมชาติประกอบด้วยและโดยที่ไม้ตะเคียนทอง (*Hopea odorata* Roxb.) เป็นไม้ที่ได้รับความนิยมและยอมรับกันอย่างกว้างขวางมานานว่า เป็นไม้เนื้อแข็งที่มีคุณภาพดี ทั้งด้านความแข็งแรงและความทนทาน จึงได้เปรียบเทียบคุณภาพของไม้ที่ยังไม่รู้จักกับไม้ตะเคียนทองเสมอ ดังนั้นการแบ่งไม้เนื้ออ่อน ไม้เนื้อแข็งของกรมป่าไม้ จึงนำเอาความแข็งแรงในการดัดของไม้ตะเคียนทองที่แห้งเป็นค่ามาตรฐานในการแบ่งช่วงความแข็งแรงในการดัดของไม้ชนิดต่างๆ ว่าเป็นไม้เนื้อแข็งหรือไม้เนื้ออ่อน “ให้แบ่งไม้ออกเป็น 3 ประเภท โดยถือเอาค่าความแข็งแรงในการดัดของไม้แห้ง ความชื้นประมาณ 12%” และความทนทานตามธรรมชาติของไม้นั้นเป็นเกณฑ์[7] ปรากฏตามรายละเอียดใน หนังสือกรมป่าไม้ที่ กส 0702/6679 ลงวันที่ 3 พฤษภาคม 2517 ดังกล่าวแล้ว ซึ่งมีสาระสำคัญพอสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 2. 1 หลักเกณฑ์การแบ่งไม้เนื้ออ่อนไม้เนื้อแข็งตามมาตรฐานของกรมป่าไม้

เกณฑ์การแบ่งเนื้อไม้	ความแข็งแรงในการดัด (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)	ความทนทานตามธรรมชาติ (ปี)
ไม้เนื้อแข็ง	สูงกว่า 1,000	สูงกว่า 6
ไม้เนื้อแข็งปานกลาง	600-1,000	2-6
ไม้เนื้ออ่อน	ต่ำกว่า 600	ต่ำกว่า 2

#### 2.1.4 ข้อกำหนดประเภทของไม้

ไม้เนื้ออ่อน (Softwood) ที่ว่ากันตามหลักวิชาการทางลักษณะโครงสร้างไม้ก็คือไม้ที่เนื้อไม้ไม่มีรู (non-Porous Wood) เมื่อเฉือนที่หน้าตัดไม้ให้เรียบ แล้วใช้แว่นขยาย (Hand Lens) ส่องดู จะเห็นว่าไม่มีรู ไม้ที่เป็นไม้เนื้ออ่อนตามหลักวิชาการดังกล่าว ได้แก่ พวกไม้สน (Coniferae.) ส่วนไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) เป็นไม้ที่มีลักษณะโครงสร้างที่มีรู (Porous Wood) ถ้าใช้แว่นขยายส่องดูเนื้อไม้ตามกรรมวิธีที่ว่า จะพบว่าในเนื้อไม้มีรูพรุนโดยทั่วไป แต่ปัญหาไม้เนื้ออ่อน เนื้อแข็งตามความหมายที่ใช้โดยทั่วไป เกี่ยวกับไม้ที่ใช้ในการก่อสร้างนั้น หมายถึงไม้ที่สามารถรับแรงหรือรับน้ำหนักโดยไม่แตกหักเสียหาย ซึ่งหากจะพูดในอีกแง่หนึ่ง ก็คือ ความแข็งแรงของไม้นั้นเอง ดังนั้น ไม้เนื้ออ่อนเนื้อแข็งโดยทั่วไป คือ ความแข็งแรงของไม้ในการรับน้ำหนักในการใช้งานที่ประกอบเป็นสิ่งปลูกสร้างไม้เนื้อแข็งตามมาตรฐานของกรมป่าไม้

การกำหนดว่าไม้ชนิดหนึ่งชนิดใดเป็นไม้เนื้อแข็งนั้น มีได้คำนิยามถึงเฉพาะในความแข็งแรงในการรับน้ำหนักอย่างเดียว หากได้พิจารณาตามความเป็นจริงและความนิยมยอมรับนับถือโดยทั่วไปว่า นอกจากความแข็งแรงแล้ว ต้องมีความทนทานอีกด้วย เช่น ไม้เต็ง รัง ประดู่ แดง มะค่าโมง ตะเคียนทอง เคี่ยม หลุมพอ บุนนาค และกรันเกรา เป็นต้น ว่าเป็นไม้เนื้อแข็ง ชนิดไม้ที่กล่าวเมื่อนำมาทดลองตามหลักวิชาการ เพื่อหาค่าความแข็งแรงก็ปรากฏว่า เป็นไม้ที่มีความแข็งแรงสูงกว่า 1,000 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ขึ้นไปทั้งสิ้น และเมื่อพิจารณาด้านความทนทานตามธรรมชาติจากการทดลองนำส่วนที่เป็นแก่นของไม้ชนิดดังกล่าวไปทดลองปักดิน ปรากฏว่ามีความทนทานตามธรรมชาติโดยเฉลี่ยสูงกว่า 10 ปีทั้งสิ้น ยกเว้นไม้ตะเคียนทองที่มีค่าความทนทานตามธรรมชาติโดยเฉลี่ย 7.7 ปี ในปัจจุบันไม้ที่ยอมรับและนิยมนำไปใช้กันว่าเป็นไม้เนื้อแข็งที่ตีทำได้ค่อนข้างยากส่วนมากจะพบแต่ไม้ชนิดใหม่ๆที่ยังไม่รู้จักมาก่อน จึงยังไม่ทราบว่าเป็นไม้เนื้อแข็งหรือไม่ บางคนก็คาดคะเนเอาว่าเป็นไม้เนื้อแข็ง เพราะมีน้ำหนักมากเมื่อเทียบกับไม้ที่นิยมใช้กันโดยเฉพาะไม้ตะเคียนทอง ซึ่งตามข้อมูลทางวิชาการแล้วไม่เป็นจริงเสมอไป บางคนก็นำข้อสงสัยนี้มาปรึกษาหารือกับกองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้ ซึ่งเป็นหน่วยงานราชการแห่งเดียวในประเทศไทยที่มีงานในหน้าที่เกี่ยวข้องกับการนำไม้ไปใช้ประโยชน์ แต่ในอดีตกองวิจัยผลิตผลป่าไม้เองก็ได้กำหนดกฎเกณฑ์เอาไว้เป็นบรรทัดฐานว่า ไม้ชนิดใด จัดเป็นไม้เนื้อแข็ง ดังนั้น เพื่อเป็นการตัดปัญหาความยุ่งยากต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นต่อไปและเพื่อให้มีหลักเกณฑ์และมาตรฐานที่แน่ชัดเป็นอย่างเดียวกันในการกำหนดชนิดไม้ว่า



เป็นไม้เนื้อแข็งหรือไม้เนื้ออ่อน กองวิจัยผลิตผลป่าไม้จึงได้เสนอหลักเกณฑ์การกำหนดไม้เนื้ออ่อนไม้เนื้อแข็งต่อกรมป่าไม้ ซึ่งกรมป่าไม้เห็นชอบด้วย และได้มี หนังสือกรมป่าไม้ที่ กส 0702/6679 ลงวันที่ 3 พฤษภาคม 2517 เรื่อง ข้อกำหนดเกี่ยวกับไม้ที่ใช้ในการก่อสร้างในส่วนราชการกรมป่าไม้ เวียนให้หน่วยราชการในสังกัดกรมป่าไม้ได้ยึดถือปฏิบัติ และกองวิจัยผลิตผลป่าไม้ก็ถือเอาหลักเกณฑ์ตามหนังสือกรมป่าไม้ดังกล่าวในการตอบข้อสงสัยเกี่ยวกับความแข็งแรงของไม้ว่าเป็นไม้เนื้อแข็งหรือไม่

ส่วนมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (ว.ส.ท.) และข้อบัญญัติของกรุงเทพมหานครจำแนกประเภทของไม้ไทยออกเป็น 5 ประเภทตามความแข็งแรงทางกล คือ ไม้เนื้อแข็งมาก ไม้เนื้อแข็ง ไม้เนื้อแข็งปานกลาง ไม้เนื้ออ่อน และไม้เนื้ออ่อนมาก ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ไม้เนื้อแข็งมาก ได้แก่ ไม้กระพี้เขาควาย เขลียง ตีนนก บุนนาค  
 ไม้เนื้อแข็ง ได้แก่ ไม้แดง เต็ง รัง ประดู่ มะค่าโมง ยมหิน กันเกรา ตะคร้อไซ้ ตะคร้อหนาม  
 เสียงมัน หลุมพอ สักซี่ควาย เคี่ยม  
 ไม้เนื้อแข็งปานกลาง ได้แก่ ไม้ตะเคียนทอง ตะเคียนหนู ตะแบก นนทรี ตาเสือ กว้าว พลวง  
 มะค่าแต้  
 ไม้เนื้ออ่อน ได้แก่ ไม้กะบาก กราด กระเจา ตะปุ่นขาว พะยอม ยางแดง สัก อินทนิล  
 ไม้เนื้ออ่อนมาก ได้แก่ ไม้กะท้อน จำปาป่า ยมหอม ยางขาว สองสลึง

## 2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของไม้

คุณสมบัติทางกายภาพของไม้ (Physical Properties) มีสองปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อน้ำหนักไม้คือ ความหนาแน่นของโครงสร้างไม้พื้นฐาน และปริมาณความชื้น ส่วนปัจจัยที่สามที่บ่งบอกถึงความแตกต่างอัตราของสสารเฉพาะในเนื้อไม้แต่ละชนิด คือ ความถ่วงจำเพาะ ทั้งสามปัจจัยนี้สามารถอธิบายและเขียนเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะกับปริมาณความชื้น [18] ได้ดังรูปกราฟที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงขนาดของไม้เมื่อดูดซับน้ำ ที่อาจเกิดจากความชื้นที่เปลี่ยนไปจะเกิดการหดตัวและการบวมตัวของไม้ ส่วนคุณสมบัติเชิงกายภาพอื่นๆ ที่เห็นได้เช่น สี ลวดลาย ความหยابหรือความละเอียดของเส้นไม้เป็นที่รู้จักกันแล้วโดยทั่วไป

### 2.2.1 ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ตามปกติไม้จะมีความชื้นอยู่ในเนื้อไม้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสถานะของไม้ ถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญในการนำไม้ไปใช้ประโยชน์ ความชื้นในเนื้อไม้มีด้วยกัน 2 ส่วน คือน้ำในผนังเซลล์ (Bound Water) และน้ำที่อยู่ในช่องว่างภายในเซลล์ (Free Water) เมื่อไม้แห้งน้ำในช่องว่างภายในเซลล์จะออกมาก่อน ปริมาณความชื้นของเนื้อไม้ ขณะที่ผนังเซลล์มีน้ำอย่างอึดตัว แต่น้ำที่อยู่ในช่องว่างภายในเซลล์นั้นไม่มี เรียกว่า จุดหมาด (Fiber Saturation Point, FSP) เมื่อไม้แห้งจนถึงจุดสมดุลกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ระดับหนึ่งระดับใด ปริมาณความชื้นที่จุดนี้เรียกว่า ปริมาณความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content, EMC) ซึ่งถือว่าเป็นจุดที่สำคัญ เพราะน้ำในช่องว่างภายในเซลล์จะมีผลต่อน้ำหนักของไม้เท่านั้น แต่น้ำภายในผนังเซลล์จะมีผลต่อการหดตัว และพองตัวของเนื้อไม้ ซึ่งจุดหมาดของไม้มีค่าระหว่าง 20-30% ดังนั้นการนำไม้ไปใช้ ณ ที่ใด จึงต้องปรับความชื้นของไม้ให้สมดุลเพื่อที่จะลดการเปลี่ยนแปลงขนาดของเนื้อไม้ให้น้อยลงที่สุดประเทศไทยจะมีความชื้นสมดุลอยู่ระหว่าง 10-12% [10]

การหาปริมาณความชื้นของไม้โดยการคำนวณ ประกอบด้วยฟังก์ชันสองอย่างคือ ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) และ อุณหภูมิของอากาศโดยรอบ (Temperature) โดยการประมาณค่าได้จากสมการที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 ซึ่งแสดงความชื้นของไม้ที่จุดสมดุล ณ อุณหภูมิต่างๆกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ [18]

$$M = \frac{1,800}{W} \left[ \frac{Kh}{1-Kh} + \frac{K_1Kh + 2K_1K_2K^2h^2}{1 + K_1Kh + K_1K_2K^2h^2} \right] \quad (2.1)$$

โดย  $h$  คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity, %/100)

$M$  คือ ปริมาณความชื้น (Moisture Content, %)

สำหรับ อุณหภูมิ ( $T$ ) ในหน่วย Celsius ( $^{\circ}C$ )

$$W = 349 + 1.29T + 0.0135T^2$$

$$K = 0.805 + 0.000736T - 0.00000273T^2$$

$$K_1 = 6.27 - 0.00938T - 0.000303T^2$$

$$K_2 = 1.91 + 0.407T - 0.0000904T^2$$

ตารางที่ 2. 2 ปริมาณความชื้นของไม้ที่จุดสมดุล ณ อุณหภูมิต่างๆ กับค่าความชื้นสัมพัทธ์

Moisture content of wood in equilibrium with state temperature and relative humidity																				
Temperature		Moisture content (%) at various relative humidity values																		
(°C)	(°F)	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
-1.1	30	1.4	2.6	3.7	4.6	5.5	6.3	7.1	7.9	8.7	9.5	10.4	11.3	12.4	13.5	14.9	16.5	18.5	21.0	24.3
4.4	40	1.4	2.6	3.7	4.6	5.5	6.3	7.1	7.9	8.7	9.5	10.4	11.3	12.3	13.5	14.9	16.5	18.5	21.0	24.3
10.0	50	1.4	2.6	3.6	4.6	5.5	6.3	7.1	7.9	8.7	9.5	10.3	11.2	12.3	13.4	14.8	16.4	18.4	20.9	24.3
15.6	60	1.3	2.5	3.6	4.6	5.4	6.2	7.0	7.8	8.6	9.4	10.2	11.1	12.1	13.3	14.6	16.2	18.2	20.7	24.1
21.1	70	1.3	2.5	3.5	4.5	5.4	6.2	6.9	7.7	8.5	9.2	10.1	11.0	12.0	13.1	14.4	16.0	17.9	20.5	23.9
26.7	80	1.3	2.4	3.5	4.4	5.3	6.1	6.8	7.6	8.3	9.1	9.9	10.8	11.7	12.9	14.2	15.7	17.7	20.2	23.6
32.2	90	1.2	2.3	3.4	4.3	5.1	5.9	6.7	7.4	8.1	8.9	9.7	10.5	11.5	12.6	13.9	15.4	17.3	19.8	23.3
37.8	100	1.2	2.3	3.3	4.2	5.0	5.8	6.5	7.2	7.9	8.7	9.5	10.3	11.2	12.3	13.6	15.1	17.0	19.5	22.9
43.3	110	1.1	2.2	3.2	4.0	4.9	5.6	6.3	7.0	7.7	8.4	9.2	10.0	11.0	12.0	13.2	14.7	16.6	19.1	22.4
48.9	120	1.1	2.1	3.0	3.9	4.7	5.4	6.1	6.8	7.5	8.2	8.9	9.7	10.6	11.7	12.9	14.4	16.2	18.6	22.0
54.4	130	1.0	2.0	2.9	3.7	4.5	5.2	5.9	6.6	7.2	7.9	8.7	9.4	10.3	11.3	12.5	14.0	15.8	18.2	21.5
60.0	140	0.9	1.9	2.8	3.6	4.3	5.0	5.7	6.3	7.0	7.7	8.4	9.1	10.0	11.0	12.1	13.6	15.3	17.7	21.0
65.6	150	0.9	1.8	2.6	3.4	4.1	4.8	5.5	6.1	6.7	7.4	8.1	8.8	9.7	10.6	11.8	13.1	14.9	17.2	20.4
71.1	160	0.8	1.6	2.4	3.2	3.9	4.6	5.2	5.8	6.4	7.1	7.8	8.5	9.3	10.3	11.4	12.7	14.4	16.7	19.9
76.7	170	0.7	1.5	2.3	3.0	3.7	4.3	4.9	5.6	6.2	6.8	7.4	8.2	9.0	9.9	11.0	12.3	14.0	16.2	19.3
82.2	180	0.7	1.4	2.1	2.8	3.5	4.1	4.7	5.3	5.9	6.5	7.1	7.8	8.6	9.5	10.5	11.8	13.5	15.7	18.7
87.8	190	0.6	1.3	1.9	2.6	3.2	3.8	4.4	5.0	5.5	6.1	6.8	7.5	8.2	9.1	10.1	11.4	13.0	15.1	18.1
93.3	200	0.5	1.1	1.7	2.4	3.0	3.5	4.1	4.6	5.2	5.8	6.4	7.1	7.8	8.7	9.7	10.9	12.5	14.6	17.5
98.9	210	0.5	1.0	1.6	2.1	2.7	3.2	3.8	4.3	4.9	5.4	6.0	6.7	7.4	8.3	9.2	10.4	12.0	14.0	16.9
104.4	220	0.4	0.9	1.4	1.9	2.4	2.9	3.4	3.9	4.5	5.0	5.6	6.3	7.0	7.8	8.8	9.9			
110.0	230	0.3	0.8	1.2	1.6	2.1	2.6	3.1	3.6	4.2	4.7	5.3	6.0	6.7						
115.6	240	0.3	0.6	0.9	1.3	1.7	2.1	2.6	3.1	3.5	4.1	4.6								
121.1	250	0.2	0.4	0.7	1.0	1.3	1.7	2.1	2.5	2.9										
126.7	260	0.2	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.4												
132.2	270	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4													

การหาปริมาณความชื้นของไม้จากการทดลอง จะคิดเป็นร้อยละโดยมวลเทียบกับมวลของไม้  
อบแห้ง ดังสมการที่ 2.2

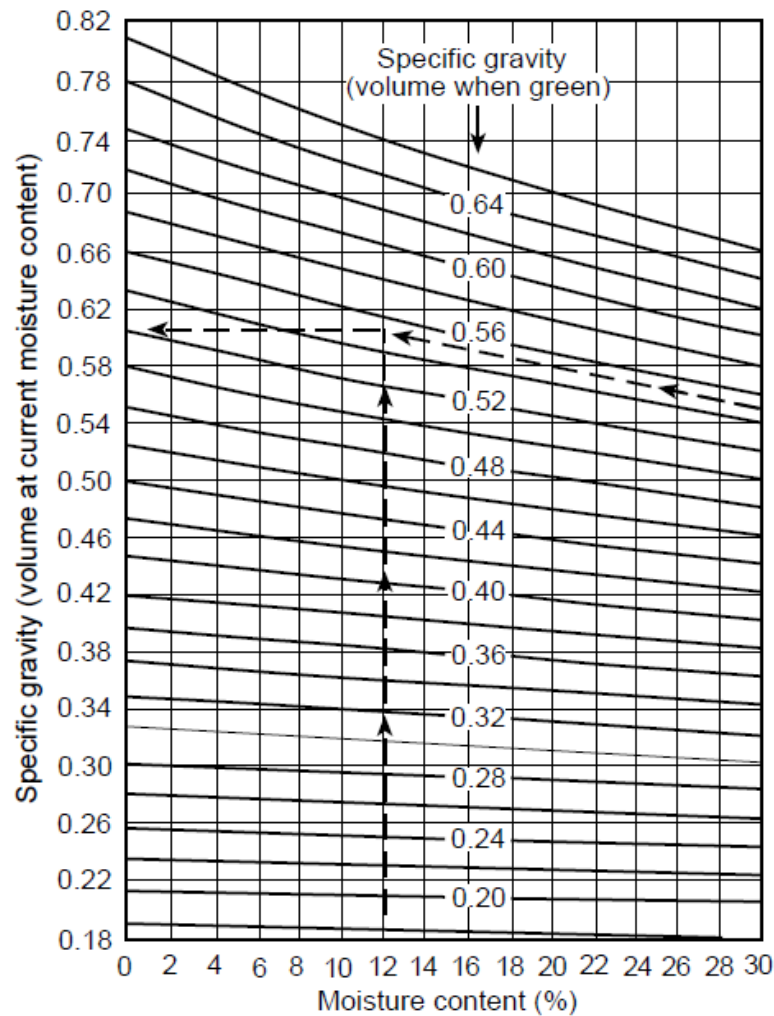
$$M = \frac{(W - W_d)}{W_d} \times 100 \quad (2.2)$$

โดย  $M$  คือ ปริมาณความชื้น (%)  
 $W$  คือ มวลของไม้ก่อนการอบแห้ง (g)  
 $W_d$  คือ มวลของไม้หลังการอบแห้ง (g)

ปริมาณความชื้นของเนื้อไม้ในบางช่วง คือ ได้จุดหมาดลงมา มีผลกระทบต่อความแข็งแรง  
ของเนื้อไม้ ความแข็ง ความต้านทานต่อการสึกหรอ ความยากง่ายในการใช้กับเครื่องมือ ค่าความร้อน  
ค่าการนำความร้อน คุณภาพของเยื่อ และความต้านทานต่อการผุ เนื้อไม้ก็คล้ายกับอินทรีย์วัตถุอื่นๆ  
อีกหลายชนิดที่หดตัว เมื่อสูญเสียความชื้นได้จุดหมาดลงไป และพองตัวเมื่อดูดเอาความชื้นเข้าไป  
ปริมาณความชื้นมีความสำคัญในการอบ อบน้ำยา การตกแต่งและการตัดไม้

### 2.2.2 ความถ่วงจำเพาะ

ความถ่วงจำเพาะของไม้ (Specific Gravity of Wood) โดยสสารทั่วไปคืออัตราส่วนความ  
หนาแน่นวัตถุต่อความหนาแน่นน้ำ ในกรณีของไม้ซึ่งดูดและคายน้ำได้ น้ำในเนื้อไม้ทำให้ทั้งมวลและ  
ปริมาตรไม้เปลี่ยนแปลง ดังนั้นความถ่วงจำเพาะของไม้คือ ค่าอัตราส่วนระหว่างมวลของไม้ต่อมวล  
ของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน[10]



ภาพที่ 2. 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความถ่วงจำเพาะกับปริมาณความชื้น [18]

หากความถ่วงจำเพาะของไม้มีความสัมพันธ์และขึ้นอยู่กับน้ำหนักของไม้อบแห้งและปริมาณความชื้น ซึ่งโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 0 และ 30% กราฟเกิดจากการปรับค่าการหดตัวเฉลี่ยและการขยายตัวเฉลี่ยของไม้ ภายใต้ปริมาณความชื้นที่ 30% ซึ่งเป็นจุดอิมิตัวของใยไม้ หรือเรียกว่า จุดหมาด โดยประมาณโดยที่ปริมาตรของไม้ไม่เปลี่ยนแปลง สามารถประมาณค่าความถ่วงจำเพาะได้จาก ความถ่วงจำเพาะของไม้สด ลากตัดกับปริมาณความชื้นเกิดจุด ด้านซ้ายของกราฟจะพบค่าความถ่วงจำเพาะโดยประมาณเมื่อไม้อบแห้ง

ตัวอย่างเช่น ในการประเมินความหนาแน่นของไม้ Ash white ความชื้นที่ 12% ความชื้นในไม้สดความถ่วงจำเพาะที่ 0.55 ลากตัดกับความชื้นที่ 12% ด้านซ้ายของกราฟจะได้ค่าที่สอดคล้องกับความถ่วงจำเพาะเมื่อไม้อบแห้งคือ 0.605

การหาความถ่วงจำเพาะจากการคำนวณโดยตรง ดังสมการที่ 2.3 ดังต่อไปนี้

$$G_m = G_b / (1 - 0.265aG_b) \quad (2.3)$$

โดย  $G_m$  คือ ความถ่วงจำเพาะ (based on volume at Moisture Content,  $M$ )

$G_b$  คือ ความถ่วงจำเพาะไม้เนื้อสด (based on green volume)

สำหรับ  $a = (30 - M) / 30$  เมื่อ  $M < 30$

การหาความถ่วงจำเพาะจากการทดลอง จึงกำหนดให้ใช้มวลไม้อบแห้งคือหลังจากอบไม้ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 3 องศาเซลเซียส จนมวลคงที่และปริมาตรอบแห้งคงที่เช่นกัน ทั้งนี้เพราะความหนาแน่นและปริมาตรที่มีปริมาณความชื้นระหว่างจุดหมาดกับสภาวะอบแห้งไม่แน่นอน เนื่องจากการควบคุมปริมาณความชื้นตามความต้องการได้ยาก ความถ่วงจำเพาะที่ได้จึงยากต่อการเปรียบเทียบ แต่ถ้าจะหาออกมาก็ต้องระบุปริมาณความชื้นของไม้ที่ใช้หาออกมาได้ด้วย

$$SG = \frac{1000W}{V} \quad (2.4)$$

$$SG_{wood} = \frac{1000W_d}{V_d \left[ 1 + \left( \frac{M}{100} \right) \right]} \quad (2.5)$$

โดย  $SG$  คือ ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

$SG_{wood}$  คือ ความถ่วงจำเพาะของเนื้อไม้อบแห้ง (Specific Gravity of Wood)

$W$  คือ มวลของไม้ก่อนอบแห้ง ( $g$ )

$W_d$  คือ มวลของไม้หลังอบแห้ง ( $g$ )

$V$  คือ ปริมาตรของไม้ก่อนอบแห้ง ( $mm^3$ )

$V_d$  คือ ปริมาตรของไม้หลังอบแห้ง ( $mm^3$ )

$M$  คือ ค่าความชื้น (%)

ความถ่วงจำเพาะของไม้แตกต่างกันไปตามชนิดของไม้ ค่าความถ่วงจำเพาะบอกให้ทราบถึงปริมาณของสารที่ประกอบขึ้นเป็นผนังเซลล์ในหนึ่งหน่วยปริมาตร ซึ่งตามปกติแล้วปริมาตรของไม้แต่ละชิ้นจะมีช่องว่างรวมอยู่ด้วย ไม้จะมีช่องว่างมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความถ่วงจำเพาะเช่นกันคือ ถ้าความถ่วงจำเพาะต่ำแสดงว่ามีช่องว่างอยู่มาก ถ้าความถ่วงจำเพาะสูงก็จะมีช่องว่างอยู่น้อย ค่าความถ่วงจำเพาะที่ประกอบเป็นผนังเซลล์มีค่าประมาณ 1.5 ที่ความถ่วงจำเพาะนี้จะไม่มีช่องว่างในเนื้อไม้

ไม้โดยทั่วไปไม่มีชนิดใดที่มีความถ่วงจำเพาะถึง 1.5 นอกจากนี้ความถ่วงจำเพาะยังเกี่ยวข้องกับค่าความแข็งแรงและการพองตัวของไม้ด้วย

### 2.2.3 ความหนาแน่น

ความหนาแน่น (Density) เป็นค่ามวลต่อหน่วยปริมาตรที่ระดับความชื้นระดับใดระดับหนึ่งระดับเดียวกัน ซึ่งมีค่าต่างกันไปตามมวลและปริมาตรที่ปริมาณความชื้นต่างๆ [10] โดยปกติจะหาค่าความหนาแน่นของไม้ ที่ไม้มีความชื้น 12% ไม้หลากหลายชนิดมีช่วงค่าฐานนิยมของความหนาแน่นคือ 320 และ 720 ช่วงความหนาแน่นของไม้ครอบคลุมตั้งแต่ 160 ไปจนถึงไม้บาร์ซ่า ที่มีค่ามากกว่า 1,040 ค่าเหล่านี้มีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันประมาณ 10% เนื่องจากความแปรปรวนของความหนาแน่นจากชนิด สายพันธุ์ของไม้ และแหล่งต้นกำเนิดจากต่างประเทศ

การหาความหนาแน่นของไม้ด้วยการคำนวณ ได้จากค่าความถ่วงจำเพาะของไม้ นั่นๆ ณ ปริมาณความชื้นของไม้เวลานั้น จะได้ค่าความหนาแน่นดังสมการที่ 2.6

$$\rho = 1,000 G_m (1 + M/100) \quad (2.6)$$

โดย  $\rho$  คือ ความหนาแน่น (Density,  $kg / m^3$ )  
 $G_m$  คือ ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)  
 $M$  คือ ปริมาณความชื้น (Moisture content, %)





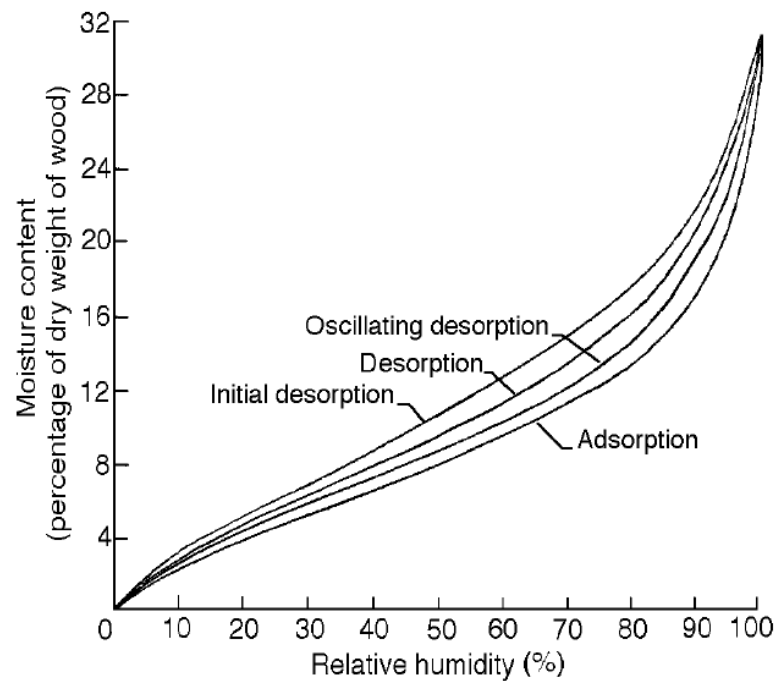
ในการหาค่าความหนาแน่นจากการทดสอบ จึงต้องชั่งมวลไม้และวัดปริมาตรไม้ออกมา แล้วนำมาคำนวณหาความหนาแน่นตามสมการ

$$\rho = \frac{W}{V} \quad (2.7)$$

โดย  $\rho$  คือ ความหนาแน่น ( $kg / m^3$ )  
 $W$  คือ มวล ( $kg$ )  
 $V$  คือ ปริมาตร ( $m^3$ )

#### 2.2.4 การดูดซึมน้ำ การหด และการขยายตัวของไม้

ปริมาณของน้ำที่ดูดซึมจากสภาพแห้งของไม้ที่สมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์จะมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งจากสภาพไม้สดที่สมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ กล่าวคือ อัตราส่วนของการดูดซึมที่จุดความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content, EMC) จะคงที่อยู่ที่ประมาณ 0.85 นอกจากนี้ ในการคายน้ำเพื่อเข้าสู่จุดความชื้นสมดุลของไม้สดครั้งแรกจะมีค่ามากกว่าการคายน้ำครั้งหลัง ข้อมูลจากตารางที่ 2.2 ปริมาณความชื้นของไม้ที่จุดสมดุล ณ อุณหภูมิต่างๆกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ นำมาอธิบายภายใต้เงื่อนไข การเริ่มคายน้ำครั้งแรก คายน้ำ ค่ากวัตต์แกว่งการคายน้ำ และการดูดซึมน้ำ ตามลำดับ (Stamm และ Loughborough, 1935) ได้ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2. 2 ความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นกับความชื้นสัมพัทธ์ของไม้ ภายใต้เงื่อนไขกระบวนการดูดซึมน้ำและการคายน้ำในระยะต่างๆ

การหาค่าการดูดซึมน้ำของเนื้อไม้จากการทดลอง มีสมการดังนี้

$$Absorption = \left( \frac{W_2 - W_1}{W_1} \right) \times 100 \quad (2.8)$$

โดย *Absorption* คือ การดูดซึมน้ำของไม้ (%)

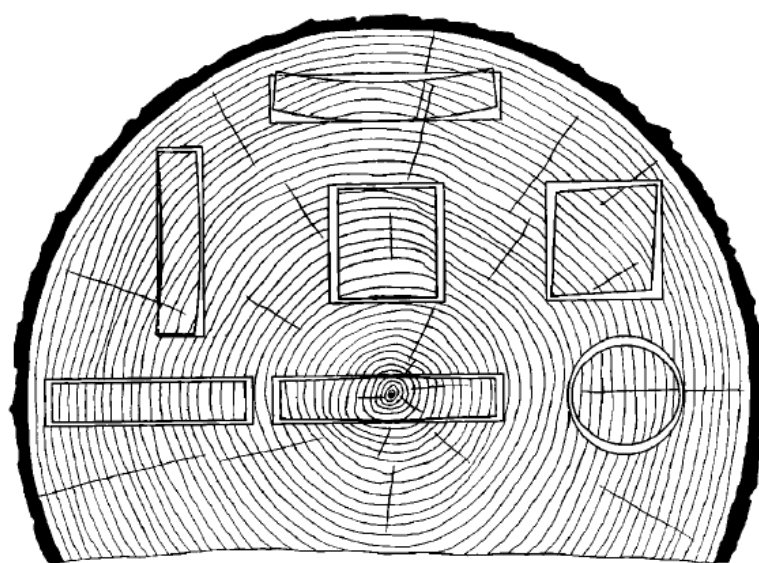
$W_1$  คือ น้ำหนักของไม้ก่อนแช่น้ำ (g)

$W_2$  คือ น้ำหนักของไม้หลังแช่น้ำ (g)

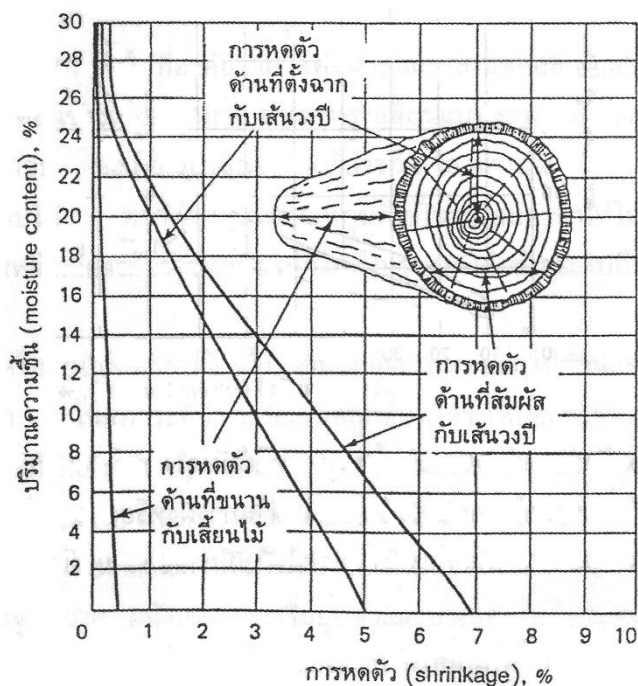
การหดตัวของเนื้อไม้ (Shrinkage of Wood) เกิดขึ้นเมื่อไม้สูญเสียความชื้นในผนังเซลล์ และในทางตรงกันข้าม เมื่อไม้มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นในระดับที่ต่ำกว่าจุดหมาด ไม้ก็จะขยายตัว (Swelling) คือมีขนาดและปริมาตรเพิ่มขึ้น การเพิ่มหรือลดปริมาตรของผนังเซลล์ในเนื้อไม้นี้ ไม่เท่ากับปริมาตรน้ำที่เข้าไปหรือออกจากผนังเซลล์ทีเดียว เนื่องจากเมื่อน้ำเข้าไปอยู่ในผนังเซลล์แล้ว น้ำจะมีปริมาตรเล็กกว่าน้ำที่อยู่ในความดันบรรยากาศปกติ ในระดับปริมาณความชื้นที่สูงกว่าจุด

หมด ถึงแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในเนื้อไม้ ก็ไม่ทำให้เนื้อไม้มีการเปลี่ยนแปลงขนาดตามไปด้วย อาจกล่าวได้โดยสรุปว่า เนื้อไม้จะมีปริมาตรเล็กที่สุดในขณะที่ไม่มีความชื้นอยู่ในเนื้อไม้เลย และจะมีปริมาตรสูงที่สุด เมื่อมีน้ำอยู่อย่างอิ่มตัวในผนังเซลล์ การเปลี่ยนแปลงขนาดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของเนื้อไม้มีความสำคัญในการใช้ประโยชน์เป็นอย่างมาก เพราะไม้ที่สดตัดมาใหม่ มีปริมาณความชื้นสูงกว่าจุดหมัดแห้ง จึงจำเป็นต้องผึ่งหรืออบ เพื่อให้มีปริมาณความชื้นใกล้เคียงกับปริมาณความชื้นสมดุลกับสภาวะอากาศในตำแหน่งนั้นๆ การหดตัวและการขยายตัวของเนื้อไม้ที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นนี้ มีมากกว่าการขยายตัวและการหดตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ซึ่งต่างกับวัตถุพวกโลหะ ในกรณีของเนื้อไม้ การเปลี่ยนแปลงขนาดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมินั้นไม่มีความสำคัญเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงขนาดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น [9]

การหดตัวของเนื้อไม้จะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง นอกจากปริมาณน้ำที่สูญเสียไปแล้ว ก็ยังขึ้นอยู่กับทิศทางตามลักษณะโครงสร้างของเนื้อไม้ เช่น แนวการเจริญเติบโตของวงปี แนวสัมผัส (Tangentially) แนวรัศมี (Radially) และตามยาว (Longitudinally) เป็นต้น ความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ อุณหภูมิ ระดับของความเค้นที่เกิดจากความแห้ง (Drying Stress) รวมถึงปัจจัยอื่นๆอีก



ภาพที่ 2. 3 ลักษณะการหดตัว การบิดตัวของไม้ในแนวต่างๆ [18]



ภาพที่ 2. 4 การหดตัวของไม้ [26]

การหดตัวของไม้ในแนวต่างๆมีค่าไม่เท่ากัน ไม้จะหดตัวมากสุดในแนวที่สัมผัสกับวงปี (Tangential) ส่วนการหดตัวในแนวตั้งฉากกับวงปีหรือแนวรัศมี (Radial) จะน้อยกว่าแนวที่สัมผัสกับวงปีประมาณครึ่งหนึ่ง ถึงสองในสาม และไม้หดตัวน้อยมากในแนวยาวที่ขนานเส้นวงปี (Longitudinal) ซึ่งมีค่าประมาณ 2% ของค่าในแนวตั้งฉากกับวงปี [26] ดังภาพที่ 2.4

ผลการทดสอบหาการหดตัวสูงสุดของไม้จากสภาวะไม้สดถึงสภาวะไม้อบแห้งในทิศทางต่างๆ ตามลักษณะโครงสร้างเนื้อไม้ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของไม้ แสดงดังตารางที่ 2.4 นอกจากปัจจัยของปริมาณความชื้นที่มีผลต่อการหด การขยายตัวของไม้แล้ว การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิถือเป็นอีกปัจจัยหนึ่ง แต่เมื่อคิดเทียบกับผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นแล้วถือว่าผลจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีค่าน้อยมาก เพราะไม้ที่ใช้งานส่วนใหญ่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอยู่ในช่วงแคบๆ ค่าสัมประสิทธิ์ของการยืดหดตัวของไม้ตามแนวยาว  $3.5 \times 10^{-6}$  ต่อองศาเซลเซียส โดยไม่ขึ้นกับชนิดและความถ่วงจำเพาะของไม้ แต่ค่าสัมประสิทธิ์ของการยืดหดตัวของไม้ตามแนวขวาง (แนวรัศมีและแนวสัมผัส) มีค่ามากกว่าค่าตามแนวยาวประมาณ 10 เท่า โดยมีค่าแปรผันตรงกับความถ่วงจำเพาะของไม้

ตารางที่ 2. 4 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของไม้ จากไม้สดเป็นไม้อบแห้ง

ทิศทางของการหดตัว	การหดตัว (%)
ในแนวรัศมี (radial)	3-6
ในแนวสัมผัสกับเส้นวงปี (tangential)	5-12
ในแนวขนานกับเส้นไม้ (longitudinal)	0.1-0.2
การเปลี่ยนแปลงปริมาตร (volumetric)	7-16

การคำนวณหาการหดตัวและการขยายตัวของเนื้อไม้ มักจะหาออกมาเป็นร้อยละของขนาดหรือปริมาตรที่ไม้ชิ้นนั้นเปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ การหดตัวของเนื้อไม้หาออกมาเป็นร้อยละของขนาดหรือปริมาตรสด ส่วนการพองตัวของเนื้อไม้หาออกมาเป็นร้อยละของขนาดหรือปริมาตรอบแห้ง แสดงออกในรูปสมการได้ดังนี้

$$Swelling = \left( \frac{t_2 - t_1}{t_1} \right) \times 100 \quad (2.9)$$

โดย  $Swelling$  คือ การพองตัวของไม้เมื่อแช่น้ำ (%)  
 $t_1$  คือ ความหนาของไม้ก่อนแช่น้ำ ( $mm$ )  
 $t_2$  คือ ความหนาของไม้หลังแช่น้ำ ( $mm$ )

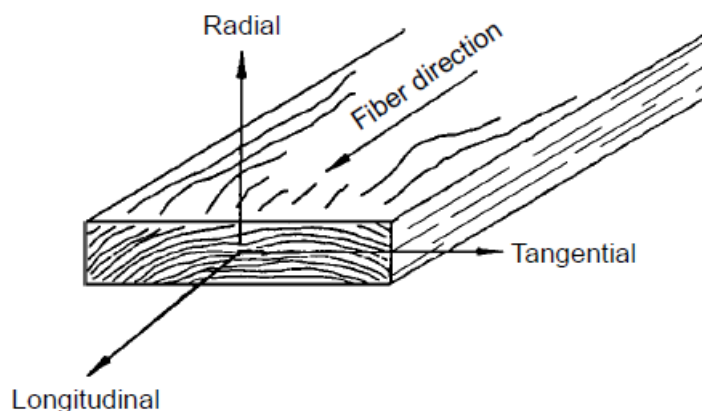
### 2.3 คุณสมบัติเชิงกลของไม้

คุณสมบัติเชิงกลของไม้นั้น อาจได้จากการทดสอบโดยตรง ไม่ว่าจะเป็นการทดสอบใช้งานจริง หรือการทดสอบในห้องทดลอง ซึ่งมีมาตรฐานกำหนดไว้แน่นอนทำให้เปรียบเทียบกันได้ไม่ว่าจะกระทำการทดสอบใด ทำให้ได้รับรู้คุณสมบัติเชิงกลของไม้ชนิดต่างๆ แยกและจัดประเภทเป็นหมวดหมู่ได้ว่าไม้ชนิดใดมีความแข็งแรงเทียบเท่ากับไม้ชนิดใด หรือแม้แต่ไม้ชนิดเดียวกันแต่คนละต้นต่างท้องที่กัน ก็อาจจะมีคุณสมบัติเชิงกลแตกต่างกันออกไป ยังสามารถนำผลการทดสอบ การศึกษาเปรียบเทียบไปเป็นประโยชน์ในการออกแบบโครงสร้าง การกำหนดขนาดของงานไม้โดยถูกต้อง เป็นการประหยัดและใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ไม้ต่างจากวัสดุก่อสร้างอื่น ตรงที่เป็นวัสดุที่ได้จากธรรมชาติ ความแปรปรวนในเรื่อง ดิน ฟ้าอากาศ ทำให้อัตราการเติบโตของเนื้อไม้ต่างกันออกไป การ

ผิงการอบไม้เพื่อลดความชื้นหรือลักษณะการใช้งานทำให้คุณสมบัติเชิงกลของไม้ต้องเปลี่ยนแปลงไปด้วย

### 2.3.1 โครงสร้างไม้ธรรมชาติ

มีคุณสมบัติทางกลที่หลากหลายตามชนิด ตามทิศทางของแกนทั้งสามของแนวเส้นไม้ คือ แนวตั้งฉากกับเส้นไม้และสัมผัสแนวรัศมี คือ แนวสัมผัส (Tangential) แนวการเจริญเติบโตของวงปี ตั้งฉากกับเส้นไม้ตามทิศทางรัศมี คือ แนวรัศมี (Radial) แกนตามยาวขนานกับเส้นไม้ คือ แนวตามยาว (Longitudinal) ดังภาพที่ 2.4



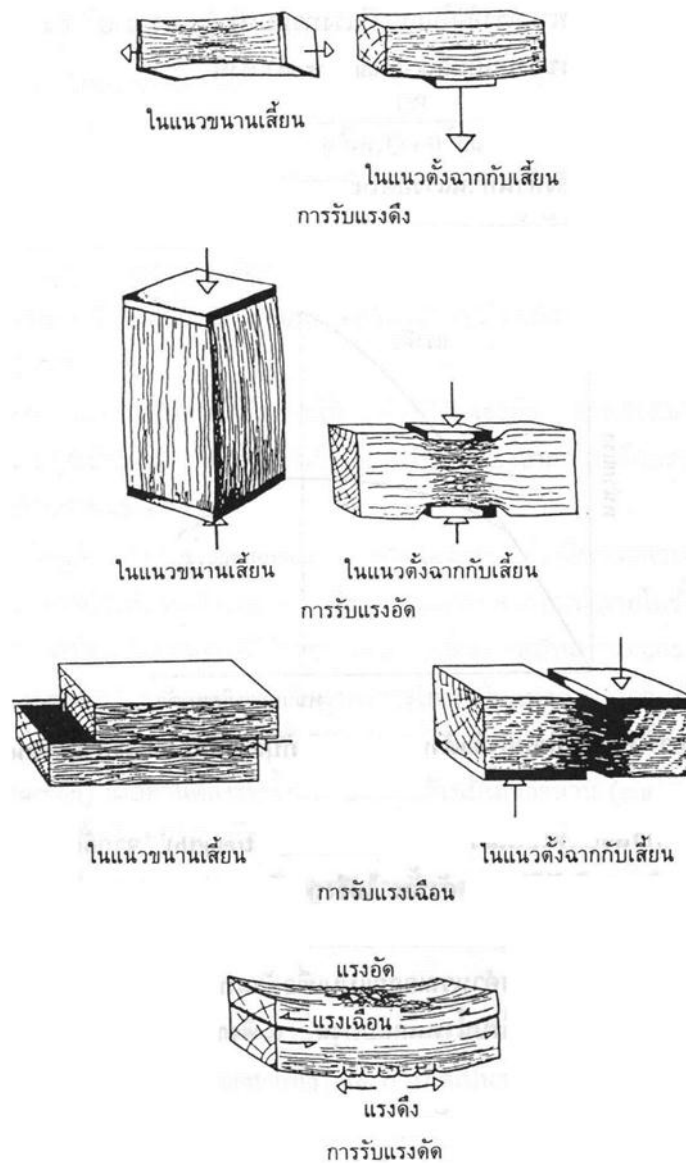
ภาพที่ 2.5 ตามทิศทางของแกนทั้งสามของแนวไม้ [20]

### 2.3.2 ชนิดการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

แรงที่เข้ามากระทำต่อไม้ที่ใช้ในการก่อสร้างนั้น แยกออกเป็น 3 ประเภท คือ แรงดึง ซึ่งมีผลทำให้ไม้แยกออกจากกัน เช่น ตัวไม้ที่ใช้ยึดโยงต่างๆ แรงอัด มีผลทำให้ไม้บีบตัวเข้าหากัน เช่น ไม้ที่เป็นโครงสร้างเสาตอม่อ หรือไม้ค้ำยัน และสุดท้ายคือ แรงเฉือน ทำให้ไม้ส่วนหนึ่งไถลเลื่อนออกไปจากส่วนข้างเคียง บางกรณี เช่น ไม้ที่ใช้งานในลักษณะคาน ตง ที่ได้รับแรงทั้ง 3 ประเภทเข้ากระทำพร้อมๆ กัน กล่าวคือ แรงอัดทางด้านบน หรือด้านโค้งเข้า แรงดึงทางด้านล่าง หรือด้านโค้งออก และแรงเฉือนตามแนวยาวของคาน ในการทดสอบค่าทางคุณสมบัติเชิงกลของไม้ตามวิธีมาตรฐานสากล มีการทดสอบในการตัด คือ การรับแรงอย่างคานโดยเพิ่มน้ำหนักหรือแรงทีละน้อย การทดสอบการ

เดาะ คือ การรับแรงอย่างคานแต่เป็นแรงที่มีความเร็วต้นหรือแรงกระแทก[1] และการทดสอบอื่นๆ ดังนี้ [10]

1. **ความเค้นอัดขนานเสี้ยน** (Compressive Stress Parallel to Grain) ใช้ในการทดสอบไม้ที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบของเสาอาคาร
2. **ความเค้นอัดตั้งฉากเสี้ยน** (Compressive Stress Perpendicular to Grain) ใช้ในการทดสอบไม้ที่นำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบของไม้หมอนรางรถไฟ ส่วนของคานที่สัมผัสกับที่รองรับ
3. **ความเค้นดึงขนานเสี้ยน** (Tensile Stress Parallel to Grain) ใช้ในการทดสอบไม้ที่นำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบของส่วนประกอบของโครงถักที่รับแรงดึง
4. **ความเค้นดึงตั้งฉากเสี้ยน** (Tensile Stress Perpendicular to Grain) ใช้ในการทดสอบไม้ที่นำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบของคานไม้ประกบ ไม้ประกบโค้ง
5. **ความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน** (Shearing Stress Parallel to Grain) ใช้ในการทดสอบไม้ที่นำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบของข้อต่อไม้ คาน คานไม้ประกบ
6. **ความแข็งแรง ความแข็งดิ่งในการดัด** (Strength and Stiffness in Static Bending) ใช้ในการทดสอบไม้ที่นำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบของ คาน ตง จันทัน แปะ ส่วนของโครงถักที่รับแรงดัด ซึ่งสามารถแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนคือ
  - a. **โมดูลัสการแตกร้าว** (Modulus of Rupture, MOR) ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการต้านทานการแตกหักหรือความแข็งแรง (Strength) ของไม้
  - b. **โมดูลัสความยืดหยุ่น** (Modulus of Elasticity, MOE) ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการต้านทานการโก่ง หรือความแข็งดิ่ง (Stiffness) ของไม้



ภาพที่ 2. 6 ลักษณะการรับแรงต่างๆ [26]

### 2.3.3 ชนิดการทดสอบความแข็ง

ความแข็งแรงเป็นความสามารถของไม้ที่จะรับน้ำหนักหรือแรงภายนอก เช่น แรงน้ำ แรงลม น้ำหนักของสิ่งของหรือแรงที่มนุษย์ทำขึ้น เพื่อใช้ในงานก่อสร้างโดยเฉพาะ เป็นคุณสมบัติที่จะต้องพิจารณาเมื่อนำไม้มาใช้ก่อสร้างบ้านเรือน หรืองานอื่นๆในลักษณะเดียวกัน จึงต้องทดสอบค่าความแข็งของไม้ เพื่อประเมินความยากง่ายในการทำให้ไม้แตกหักออกจากกัน รวมถึงความสามารถ



ด้านทานต่อการขีดข่วนเจาะไสของเครื่องมือ ให้ทราบค่าคุณสมบัติกับแรงแบกรับน้ำหนักกระทำของไม้ที่นำไปใช้ในงานต่างๆ แบ่งการทดสอบความแข็งดังนี้

1. การทดสอบความแข็ง (Hardness) ใช้ในการทดสอบไม้ที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบของ ไม้พื้น, ปาร์เก้, เฟอร์นิเจอร์
2. การทดสอบการฉีก (Cleavage) ) ใช้ในการทดสอบไม้ที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบของ ข้อต่อไม้, ด้ามเครื่องมือ, อุปกรณ์กีฬา
3. การทดสอบความเหนียว (Toughness) ใช้ในการทดสอบไม้ที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบของกล่อ่ง, ลังไม้, ไม้รองยก, ด้ามเครื่องมือ, เส้า

#### 2.3.4 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกลของไม้

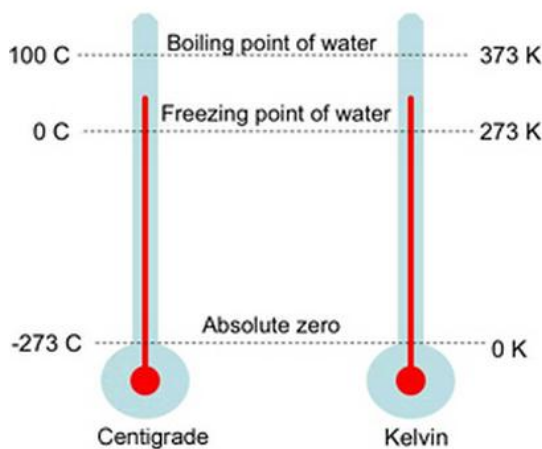
1. **ตำหนิ** ทำให้คุณสมบัติเชิงกลของไม้ลดลง เช่น ตา รอยปริ รอยร้าว รอยแตก แนวเส้นขวาง การผุเนื่องจากเชื้อรา รุ้แมลง
2. **ความหนาแน่น** คุณสมบัติเชิงกลของไม้จะแปรผันตามความหนาแน่นของไม้
3. **ปริมาณความชื้น** คุณสมบัติเชิงกลของไม้จะเพิ่มขึ้นเมื่อไม้แห้งลงต่ำกว่าจุดหมาด
4. **อุณหภูมิ** คุณสมบัติเชิงกลของไม้จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

## 2.4 ทฤษฎีคุณสมบัติเชิงความร้อน

ความร้อน (Heat) เป็นพลังงานรูปหนึ่งซึ่งอาจจะเปลี่ยนมาจากพลังงานไฟฟ้า พลังงานกล หรือพลังงานแสง และพลังงานความร้อนก็สามารถเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานรูปอื่นได้ ในระบบเอสไอ (SI) พลังงานความร้อน (Thermal Energy) มีหน่วยเป็นจูล (Joule,  $J$ ) แต่บางคนยังนิยมบอกพลังงานความร้อนเป็นหน่วยอื่นๆอีกเช่น ระบบเมตริก แคลอรี (Calorie,  $Cal$ ) และระบบอังกฤษ บีทียู (British Thermal Unit,  $Btu$ ) เป็นต้น

อุณหภูมิ (Thermal) คือปริมาณที่แปรผันโดยตรงกับพลังงานจลน์เฉลี่ยของก๊าซ การที่จะบอกว่าวัตถุร้อนมากหรือร้อนน้อยเพียงใด สามารถบอกได้ด้วยอุณหภูมิของวัตถุนั้น และเมื่อวัตถุที่มีระดับความร้อนมากจะมีอุณหภูมิสูงด้วย ดังนั้น วัตถุที่มีระดับความร้อนน้อยก็จะมีอุณหภูมิต่ำ ถ้าเอาวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงมาสัมผัสกับวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำ พลังงานความร้อนจะถูกถ่ายโอนจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงไปยังวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำ จนกระทั่งวัตถุทั้งสองมีอุณหภูมิเท่ากัน ดังนั้น จึงอาศัยสมบัติทางความร้อนของวัตถุต่างๆ เพื่อวัดอุณหภูมิ เช่น ใช้จุดเยือกแข็งของน้ำและจุดเดือดของน้ำบอกอุณหภูมิ หรือความต้านทานไฟฟ้าของวัตถุที่เปลี่ยนไปกับอุณหภูมิ เป็นต้น อุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิมีชื่อเรียกว่า เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) เทอร์โมมิเตอร์มีหลายชนิด ทำงานโดยอาศัยสมบัติของสารที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ เช่น สารขยายตัว คือมีปริมาตรเพิ่มขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น สารมีความต้านทานทางไฟฟ้าสูงขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น สารเปลี่ยนแปลงสีเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป ในอดีตได้มีการกำหนดสเกลของอุณหภูมิไว้หลายอย่าง แต่ในปัจจุบันนิยมใช้เพียงสองสเกลดังนี้

- สเกลองศาเซลเซียส (Celsius,  $^{\circ}C$ ) หรือบางที่เรียกว่า องศาเซนติเกรด (Centigrade) สเกลนี้กำหนดว่า ที่ความดัน 1 บรรยากาศ จุดเยือกแข็งของน้ำเป็น 0 องศาเซลเซียส และจุดเดือดของน้ำเป็น 100 องศาเซลเซียส และระยะระหว่างจุดเยือกแข็งและจุดเดือดของน้ำแบ่งเป็น 100 ส่วนเท่าๆกัน
- สเกลเคลวิน (Kelvin,  $K$ ) เป็นหน่วยของอุณหภูมิสัมบูรณ์ จึงไม่ต้องใช้คำว่า องศา นำหน้าเคลวิน อุณหภูมิต่ำสุดคือ 0 เคลวิน โดยได้กำหนดว่า ที่ความดัน 1 บรรยากาศ จุดเยือกแข็งของน้ำเป็น 273.16 เคลวิน ระหว่างจุดเยือกแข็งและจุดเดือดของน้ำ แบ่งเป็น 100 ส่วนเท่าๆกัน

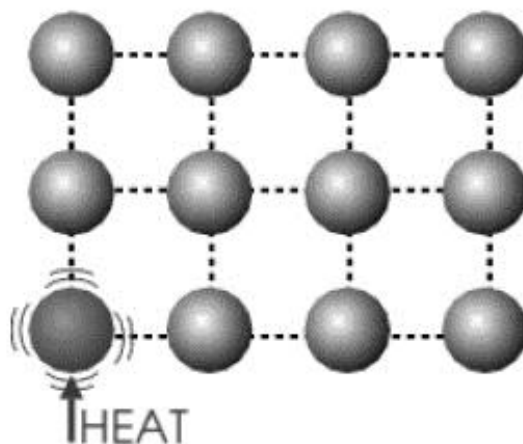


ภาพที่ 2. 7 การเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างหน่วย  $^{\circ}\text{C}$  กับ  $\text{K}$  [17]

#### 2.4.1 การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) คือ ความร้อนที่เป็นพลังงานรูปหนึ่งที่ถ่ายเทจากวัสดุหนึ่งไปสู่อีกวัสดุหนึ่ง เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ และการถ่ายเทความร้อนจะหยุดลงเมื่อวัสดุทั้งสองมีอุณหภูมิเท่ากัน ซึ่งการถ่ายเทความร้อนจะถ่ายเทจากแหล่งหรือวัสดุที่มีอุณหภูมิสูง ไปสู่แหล่งหรือวัสดุที่มีอุณหภูมิต่ำ

1. การนำความร้อน (Conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนที่ต้องอาศัยตัวกลางที่อยู่กับที่ ในการส่งผ่านความร้อน เกิดจากการสั่นของโมเลกุลไปสู่อีกโมเลกุลหนึ่งซึ่งอยู่ติดกันไปเรื่อยๆ จากอุณหภูมิสูงไปสู่อุณหภูมิต่ำ โดยไม่มีการเคลื่อนไหวเปลี่ยนตำแหน่งของโมเลกุล ตัวอย่างเช่น หากเราจับทัพพีในหม้อหุงข้าว ความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านทัพพีมายังมือของเรา ทำให้เรารู้สึกร้อนได้แม้ว่าจะไม่ได้สัมผัสกับหม้อหุงข้าวโดยตรง ทั้งนี้เป็นเพราะที่ปลายของทัพพีด้านที่อยู่ในหม้อหุงข้าว จะถูกกระตุ้นด้วยความร้อนจากหม้อหุงข้าวทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นอย่างรุนแรงและมีพลังงานเพิ่มขึ้น เกิดการส่งผ่านพลังงานจากการสั่นนี้ไปยังโมเลกุลข้างเคียงเป็นทอดๆจนถึงปลายด้านที่เราจับอยู่ การนำความร้อนมักจะเกิดขึ้นในวัตถุที่เป็นของเหลว ในส่วนของเหลวอาจจะเกิดการนำความร้อนขึ้นได้ หากพิจารณาให้ของเหลวนั้นไม่มีการเคลื่อนที่ (no bulk motion)



ภาพที่ 2. 8 การนำความร้อนด้วยการกระตุ้นให้โมเลกุลเกิดการสั่น  
โดยโมเลกุลไม่มีการเปลี่ยนตำแหน่ง [16]

ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductance) จะแปรผันตามความหนาแน่นของวัสดุ วัสดุที่มีความหนาแน่นสูงจะมีค่าการนำความร้อนสูงตามไปด้วยคือเป็นวัสดุที่นำความร้อนดีด้วย ตัวอย่างเช่น โลหะต่างๆ คอนกรีต อิฐและหิน มีค่าการนำความร้อนสูงแต่ยังต่ำกว่าวัสดุจำพวกโลหะ วัสดุเช่น ไม้ เป็นวัสดุที่มีรูพรุน (Porous Material) จึงมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำ

การนำความร้อนเป็นตัวชี้วัดอัตราการไหลของความร้อน ผ่านความหนาหนึ่งหน่วยของวัสดุ ภายใต้อุณหภูมิ การนำความร้อนทั่วไปโครงสร้างไม้มีการนำความร้อนน้อยกว่าการของโลหะมากๆ ซึ่งไม้ที่ใช้ในการก่อสร้าง มีค่าความเป็นฉนวน 2-4 เท่าของวัสดุฉนวนปกติ เช่น การนำไม้เนื้ออ่อนที่มีความชื้น 12% ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductance) อยู่ในช่วง  $0.1-1.4 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  เมื่อเทียบกับ 216 สำหรับอลูมิเนียม 45 สำหรับเหล็ก 0.9 คอนกรีต 1 สำหรับแก้ว 0.7 สำหรับปูนปลาสเตอร์ และ 0.036 สำหรับขนสัตว์[18]

การนำความร้อนของไม้มีหลายปัจจัยเป็นองค์ประกอบ เช่น ความหนาแน่น ปริมาณความชื้น สารและทิศทางของแนวเส้นใย อนุกรมวิธาน ค่าการนำความร้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อสิ่งเหล่านี้เพิ่มขึ้น สำหรับความชื้นที่ระดับต่ำกว่า 25% สามารถประมาณค่าการนำความร้อนได้จากการคำนวณด้วยสมการเชิงเส้น[18] ดังสมการที่ 2.10

$$k = G(B + CM) + A \quad (2.10)$$

โดย  $k$  คือ ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity of Wood,  $W / (m \cdot K)$ )  
 $G$  คือ ค่าความถ่วงจำเพาะ (based on oven-dry weight and volume at a given Moisture Content, M%)  
 $A, B$  and  $C$  คือ ค่าคงที่ (Constants)

สำหรับ Specific gravity > 0.3

Temperature around 24  $C^\circ$  75  $F^\circ$

Moisture Content values < 25%

$$A = 0.01864, B = 0.1941, C = 0.004064$$

สมการนี้ได้จากการวิจัยค้นคว้าเนื้อไม้หลากหลายชนิดสายพันธุ์ ทำการเฉลี่ย ประมาณค่าการนำความร้อน และบันทึกค่าซึ่งสอดคล้องกับสมการข้างต้น ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2. 5 การนำความร้อนของไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง

Thermal conductivity of selected hardwoods and softwoods <sup>a</sup>									
Species	Specific gravity	Conductivity				Resistivity			
		$(W/m \cdot K)$		$(Btu \cdot in/hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ F)$		$(W/m \cdot K)$		$(Btu \cdot in/hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ F)$	
		Ovendry	12% MC	Ovendry	12% MC	Ovendry	12% MC	Ovendry	12% MC
Hardwood									
Ash									
Black	0.53	0.12	0.84	0.15	1.00	8.20	1.20	6.80	0.98
White	0.63	0.14	0.98	0.17	1.20	7.10	1.00	5.80	0.84
Aspen									
Big tooth	0.41	0.10	0.68	0.12	0.82	10.00	1.50	8.50	1.20
Quaking	0.40	0.10	0.67	0.12	0.80	10.00	1.50	8.60	1.20
Basswood,American	0.38	0.09	0.64	0.11	0.77	11.00	1.60	9.00	1.30
Beech,American	0.68	0.15	1.00	0.18	1.30	6.60	0.96	5.40	0.78
Birch									
Sweet	0.71	0.16	1.10	0.19	1.30	6.40	0.92	5.20	0.76
Yellow	0.66	0.15	1.00	0.18	1.20	6.80	0.98	5.60	0.81
Cherry,black	0.53	0.12	0.84	0.15	1.00	8.20	1.20	6.80	0.98
Chestnut,American	0.45	0.11	0.73	0.13	0.89	9.40	1.40	7.80	1.10
Cottonwood									
Black	0.35	0.09	0.60	0.10	0.72	12.00	1.70	9.60	1.40
Eastern	0.43	0.10	0.71	0.12	0.85	9.80	1.40	8.10	1.20
Elm									
American	0.54	0.12	0.86	0.15	1.00	8.10	1.20	6.70	0.96
Rock	0.67	0.15	1.00	0.18	1.30	6.70	0.97	5.50	0.80
Slippery	0.56	0.13	0.88	0.15	1.10	7.90	1.10	6.50	0.93
Hackberry	0.57	0.13	0.90	0.16	1.10	7.70	1.10	6.40	0.92
Hickory,pecan	0.69	0.15	1.10	0.19	1.30	6.60	0.95	5.40	0.77
Hickory,true									
Mockernut	0.78	0.17	1.20	0.21	1.40	5.90	0.85	4.80	0.69
Shagbark	0.77	0.17	1.20	0.21	1.40	5.90	0.86	4.90	0.70
Magnolia,southern	0.52	0.12	0.83	0.14	1.00	8.40	1.20	6.90	1.00
Maple									
Black	0.60	0.14	0.94	0.16	1.10	7.40	1.10	6.10	0.88
Red	0.56	0.13	0.88	0.15	1.10	7.90	1.10	6.50	0.93
Silver	0.50	0.12	0.80	0.14	0.97	8.60	1.20	7.10	1.00
Sugar	0.66	0.15	1.00	0.18	1.20	6.80	0.98	5.60	0.81
Oak,red									
Black	0.66	0.15	1.00	0.18	1.20	6.80	0.98	5.60	0.81
Northern red	0.65	0.14	1.00	0.18	1.20	6.90	1.00	5.70	0.82
Southern red	0.62	0.14	0.96	0.17	1.20	7.20	1.00	5.90	0.85

Thermal conductivity of selected hardwoods and softwoods <sup>a</sup>									
Species	Specific gravity	Conductivity				Resistivity			
		$(W/m \cdot K) (Btu \cdot in/hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ F)$				$(W/m \cdot K) (Btu \cdot in/hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ F)$			
		Ovendry	12% MC	Ovendry	12% MC	Ovendry	12% MC	Ovendry	12% MC
Oak,white									
Bur	0.66	0.15	1.00	0.18	1.20	6.80	0.98	5.60	0.81
White	0.72	0.16	1.10	0.19	1.30	6.30	0.91	5.20	0.75
Sweetgum	0.55	0.13	0.87	0.15	1.10	8.00	1.20	6.60	0.95
Sycamore,American	0.54	0.12	0.86	0.15	1.00	8.10	1.20	6.70	0.96
Tupelo									
Black	0.54	0.12	0.86	0.15	1.00	8.10	1.20	6.70	0.96
Water	0.53	0.12	0.84	0.15	1.00	8.20	1.20	6.80	0.98
Yellow-poplar	0.46	0.11	0.75	0.13	0.90	9.30	1.30	7.70	1.10
Softwoods									
Baldcypress	0.47	0.11	0.76	0.13	0.92	9.10	1.30	7.50	1.10
Cedar									
Atlantic white	0.34	0.09	0.59	0.10	0.70	12.00	1.70	9.90	1.40
Eastern red	0.48	0.11	0.77	0.14	0.94	8.90	1.30	7.40	1.10
Northern white	0.31	0.08	0.55	0.09	0.65	13.00	1.80	11.00	1.50
Port-Orford	0.43	0.10	0.71	0.12	0.85	9.80	1.40	8.10	1.20
Western red	0.33	0.08	0.57	0.10	0.68	12.00	1.70	10.00	1.50
Yellow	0.46	0.11	0.75	0.13	0.90	9.30	1.30	7.70	1.10
Douglas-fir									
Coast	0.51	0.12	0.82	0.14	0.99	8.50	1.20	7.00	1.00
Interior north	0.50	0.12	0.80	0.14	0.97	8.60	1.20	7.10	1.00
Interior west	0.52	0.12	0.83	0.14	1.00	8.40	1.20	6.90	1.00
Fir									
Balsam	0.37	0.09	0.63	0.11	0.75	11.00	1.60	9.20	1.30
White	0.41	0.10	0.68	0.12	0.82	10.00	1.50	8.50	1.20
Hemlock									
Eastern	0.42	0.10	0.69	0.12	0.84	10.00	1.40	8.30	1.20
Western	0.48	0.11	0.77	0.14	0.94	8.90	1.30	7.40	1.10
Larch,western	0.56	0.13	0.88	0.15	1.10	7.90	1.10	6.50	0.93
Pine									
Eastern white	0.37	0.09	0.63	0.11	0.75	11.00	1.60	9.20	1.30
Jack	0.45	0.11	0.73	0.13	0.89	9.40	1.40	7.80	1.10
Loblolly	0.54	0.12	0.86	0.15	1.00	8.10	1.20	6.70	0.96
Lodgepole	0.43	0.10	0.71	0.12	0.85	9.80	1.40	8.10	1.20
Longleaf	0.62	0.14	0.96	0.17	1.20	7.20	1.00	5.90	0.85
Pitch	0.53	0.12	0.84	0.15	1.00	8.20	1.20	6.80	0.98

Thermal conductivity of selected hardwoods and softwoods <sup>a</sup>									
Species	Specific gravity	Conductivity				Resistivity			
		$(W/m \cdot K) (Btu \cdot in/hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ F)$				$(W/m \cdot K) (Btu \cdot in/hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ F)$			
		Ovendry	12% MC	Ovendry	12% MC	Ovendry	12% MC	Ovendry	12% MC
Ponderosa	0.42	0.10	0.69	0.12	0.84	10.00	1.40	8.30	1.20
Red	0.46	0.11	0.75	0.13	0.90	9.30	1.30	7.70	1.10
Shortleaf	0.54	0.12	0.86	0.15	1.00	8.10	1.20	6.70	0.96
Slash	0.61	0.14	0.95	0.17	1.20	7.30	1.10	6.00	0.86
Sugar	0.37	0.09	0.63	0.11	0.75	11.00	1.60	9.20	1.30
Western white	0.40	0.10	0.67	0.12	0.80	10.00	1.50	8.60	1.20
Redwood									
Old growth	0.41	0.10	0.68	0.12	0.82	10.00	1.50	8.50	1.20
Young growth	0.37	0.09	0.63	0.11	0.75	11.00	1.60	9.20	1.30
Spruce									
Black	0.43	0.10	0.71	0.12	0.85	9.80	1.40	8.10	1.20
Engelmann	0.37	0.09	0.63	0.11	0.75	11.00	1.60	9.20	1.30
Red	0.42	0.10	0.69	0.12	0.84	10.00	1.40	8.30	1.20
Sitka	0.42	0.10	0.69	0.12	0.84	10.00	1.40	8.30	1.20
White	0.37	0.09	0.63	0.11	0.75	11.00	1.60	9.20	1.30

<sup>a</sup>Values in this table are approximate and should be used with caution; actual conductivities may vary by as much as 20%.The specific gravities also do not represent species averages.

2. การพาความร้อน (Convection) จำแนกได้ 2 ชนิด ตามลักษณะการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวกลาง[16] ดังนี้
  - a. การพาความร้อนแบบบังคับ (force convection) เกิดจากการที่โมเลกุลของไหลถูกบังคับ ให้เคลื่อนที่จากแรงภายนอกเช่น จากแรงของพัดลม แรงปั๊ม ให้ของไหลไหลผ่านไปบนพื้นผิวหรือไหลในท่อ
  - b. การพาความร้อนแบบอิสระ (free convection) การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของไหลเกิดขึ้นจากแรงลอยตัวของของไหล อันเป็นผลมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในของไหล ซึ่งจะทำให้เกิดความแตกต่างของความหนาแน่นของไหลเอง
3. การแผ่รังสี (Radiation) การถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสี คือ การถ่ายเทพลังงานความร้อนที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งผ่านความร้อน เกิดขึ้นได้โดยการที่วัตถุปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetics Wave) การแผ่รังสีจะถ่ายเทความร้อนได้ในอัตราที่เร็วกว่าการนำและการพาความร้อน การแผ่รังสีความร้อนของดวง

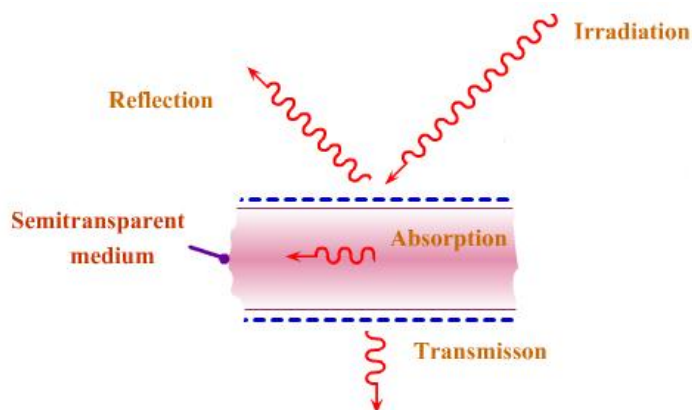


อาทิตย์มาสู่โลก พลังงานของดวงอาทิตย์บริเวณนอกชั้นบรรยากาศโลกมีค่าประมาณ 1,400 วัตต์/ตารางเมตร พื้นที่รับแสงดวงอาทิตย์ของผิวโลกเฉลี่ย  $1.24 \times 10^{14}$  ตารางเมตร ดังนั้นพลังงานที่โลกได้รับจึงมีค่าประมาณ  $1.74 \times 10^{17}$  วัตต์ [19] ลักษณะการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

- a. การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่อยู่นอกชั้นบรรยากาศของโลก (Short wave Radiation) เป็นรังสีคลื่นสั้น มีความยาวช่วงคลื่นในช่วงต่างๆ เช่น
  - i. รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultra Violet) รังสีเหนือม่วงนี้เป็นตัวการทำให้วัตถุที่มีสีซีดจางลง ผิวหนังไหม้เกรียม ความยาวคลื่น 290-380 นาโนเมตร
  - ii. แสงสว่างที่มนุษย์มองเห็น (Visible Light) ความยาวคลื่น 380-700 นาโนเมตร
  - iii. รังสีอินฟราเรด (Infrared) ความยาวคลื่น 700-2300 นาโนเมตร
- b. การแผ่รังสีบนพื้นโลก (Long wave Radiation) เป็นการถ่ายเทพลังงานระหว่างวัตถุบนพื้นโลกในลักษณะรังสีคลื่นยาว เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นรังสีคลื่นสั้นส่องผ่านชั้นบรรยากาศมายังผิวโลกและตกกระทบวัตถุต่างๆ ทำให้เกิดพฤติกรรม 3 อย่างคือ การดูดกลืน (Absorption,  $\alpha$ ) การส่องผ่าน (Transmission,  $\tau$ ) การสะท้อน (Reflection,  $\lambda$ ) ถ้าให้ค่าของรังสีดวงอาทิตย์เท่ากับ 1 จะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\text{การดูดกลืน } (\alpha) + \text{การส่องผ่าน } (\tau) + \text{การสะท้อน } (\lambda) = 1$$

รังสีคลื่นสั้นที่ถูกดูดกลืนจะสะสมในวัตถุโดยเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อนทำให้วัตถุนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้นและแผ่รังสีความร้อนในลักษณะรังสีคลื่นยาวไปยังที่ ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า คุณสมบัตินี้เรียกว่า การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity,  $\varepsilon$ ) [19] สำหรับผิวอุดมคติ, วัตถุดำ (blackbody)  $\varepsilon = 1$  : สำหรับผิวจริง ( $0 \leq \varepsilon \leq 1$ ) [16]



ภาพที่ 2. 9 รังสีความร้อนที่ตกกระทบ สะท้อน ถูกดูดกลืน และทะลุผ่าน

การแผ่รังสีดวงอาทิตย์มายังพื้นโลกสามารถเกิดขึ้นได้ 3 ลักษณะตามทิศของการเกิดรังสี คือ

รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์โดยตรง (Direct Solar Radiation or Direct Sun) คือรังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์โดยตรงในทิศทางของพลังงานที่มาจากดวงอาทิตย์ถึงพื้นโลก โดยไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อมาถึงชั้นบรรยากาศของโลกมีค่าประมาณ  $429 \text{ Btu/hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{g}$  เมื่อรังสีดวงอาทิตย์อยู่ในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวโลก โดยชั้นบรรยากาศที่บางที่สุด ถ้าแนวรังสีเฉียงออกจากแนว 90 องศา ค่าความเข้มของพลังงานจะลดลง

รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) คือรังสีดวงอาทิตย์ที่ลงมาชั้นบรรยากาศตกกระทบเมฆ ไอน้ำ และฝุ่นละออง ที่มีอยู่ในอากาศและกระจายออกอย่างไม่สม่ำเสมอ แต่จะมีความเข้มสูงที่บริเวณเส้นขอบฟ้า รังสีกระจายจะมีประมาณ 10-90% ของปริมาณการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ โดยรวมที่เข้าสู่ในอาคาร ในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกของประเทศไทย ท้องฟ้าจะมีปริมาณเมฆ ละอองไอน้ำหนาแน่น ทำให้รังสีกระจาย มีอิทธิพลต่อปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นกับอาคาร

รังสีสะท้อน (Reflected Radiation) คือรังสีที่สะท้อนจากพื้นผิวต่างๆ มีค่าขึ้นอยู่กับค่าการสะท้อนของพื้นผิวนั้นๆ ปริมาณของรังสีสะท้อนที่ตกลงบนพื้นผิวใดๆ มีอิทธิพลมาจากลักษณะของพื้นผิวและทิศทางของวัตถุที่อยู่โดยรอบ แม้ว่าผนังภายนอกอาคารจะไม่ถูกรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง อุณหภูมิก็สูงได้ เนื่องจากรังสีกระจายและรังสีสะท้อนที่สะท้อนมาจากสภาพแวดล้อมรอบอาคาร [19]

## 2.4.2 ความจุความร้อน

1. ความจุความร้อน (Heat Capacity) คือ นิยามความจุความร้อนคือ การให้พลังงานแก่มวล 1 หน่วย (*kg or lb*) ทำให้มวลสารนั้นมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 หน่วย (*K or °F*) เช่น ถ้าให้พลังงานความร้อนน้อยๆ  $\Delta Q$  จูล แก่มวลสาร  $m$  กิโลกรัม ทำให้สารมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น  $\Delta T$  เคลวิน ความจุความร้อนของไม้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและปริมาณความชื้นของไม้ สามารถประมาณค่าจากความสัมพันธ์กับอุณหภูมิได้ดังสมการ 2.11

$$C_{p0} = 0.1031 + 0.003867t \quad (\text{metric}) \quad (2.11)$$

$$C_{p0} = 0.2605 + 0.0005132t \quad (\text{inch-pound}) \quad (2.12)$$

โดย  $C_{p0}$  คือ ความจุความร้อนของไม้ ( $kJ/kg \cdot K, Btu/lb \cdot ^\circ F$ )  
 $t$  คือ อุณหภูมิ ( $K or ^\circ F$ )

ความจุความร้อนของไม้ที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบจะมีค่ามากกว่าไม้อบแห้งได้จุดเหมาะสมสามารถประมาณความชื้นของไม้แห้ง จากไม้ที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบได้ โดยคิดจากความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้น ดังสมการ 2.13 และตารางที่ 2.8

$$C_p = (C_{p0} + 0.01MC_{pw}) / (1 + 0.01M) + A_c \quad (2.13)$$

โดย  $C_p$  คือ ความจุความร้อนของไม้ ( $kJ/kg \cdot K, Btu/lb \cdot ^\circ F$ )

$M$  คือ ปริมาณความชื้น (Moisture content, %)

$C_{pw}$  คือ ค่าความจุความร้อนของน้ำ

(Heat capacity of water =  $4.19 kJ/kg \cdot K$  ( $1 Btu/lb \cdot ^\circ F$ ))

$$A_c = M(b_1 + b_2t + b_3M) \quad (2.14)$$

$$b_1 = -0.06191, b_2 = 2.36 \times 10^{-4}, b_3 = -1.33 \times 10^{-4} \quad : \text{kelvins}$$

$$b_1 = -4.23 \times 10^{-4}, b_2 = 3.12 \times 10^{-5}, b_3 = -3.17 \times 10^{-5} \quad : \text{Fahrenheit}$$

ตารางที่ 2. 6 ความจุความร้อนของเนื้อไม้ ณ อุณหภูมิกับปริมาณความชื้นต่างๆ

Heat capacity of solid wood at selected temperature and moisture content										
Temperature			Specific heat (kJ/kg·K) (Btu/lb·°F)							
(K)	(°C)	(°F)	Ovendry		5%MC		12%MC		20%MC	
280	7	45	1.20	0.28	1.30	0.32	1.50	0.37	1.70	0.41
290	17	75	1.20	0.29	1.40	0.33	1.60	0.38	1.80	0.43
300	27	80	1.30	0.30	1.40	0.34	1.70	0.40	1.90	0.45
320	47	116	1.30	0.32	1.50	0.37	1.80	0.43	2.00	0.49
340	67	152	1.40	0.34	1.60	0.39	1.90	0.46	2.20	0.52
360	87	188	1.50	0.36	1.70	0.41	2.00	0.49	2.30	0.56

- การแพร่กระจายความร้อน (Thermal Diffusivity) เป็นค่าชี้วัด บ่งบอกถึงความเร็วที่วัสดุสามารถดูดซับความร้อนจากสภาพแวดล้อมได้ เป็นอัตราส่วนของค่าการนำความร้อนของความหนาแน่นและความจุความร้อนของวัสดุนั้นๆ การแพร่กระจายความร้อนโดยสรุปแล้วเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความหนาแน่น สามารถประมาณจากค่าการนำความร้อนและค่าความจุความร้อน คือเมื่อไม่มีการนำความร้อนต่ำ ค่าความจุความร้อนและความหนาแน่นปานกลาง จะมีค่าการแพร่กระจายความร้อนที่ต่ำด้วย และต่ำกว่าวัสดุโครงสร้างอื่นๆ เช่น โลหะและหิน โดยทั่วไปแล้วไม่มีค่าการแพร่กระจายความร้อนอยู่ที่  $0.161 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  ( $0.00025 \text{ in}^2/\text{s}$ ) เมื่อเทียบกับเหล็ก  $12.9 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  ( $0.02 \text{ in}^2/\text{s}$ ) ด้วยเหตุนี้เมื่อเราสัมผัสเนื้อไม้จึงไม่รู้สึกร้อนหรือเย็นจัดในทันที [18]
- สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน (Thermal Expansion Coefficient) คือค่าบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงขนาดของไม้เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนแนวขนานเส้นไม้ปรากฏว่าไม่ขึ้นอยู่กับค่าความถ่วงจำเพาะและชนิดของไม้ ในการทดสอบทั้งไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อนแนวขนานเส้น พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์อยู่ในช่วง 0.000031 ถึง 0.000045 ต่อเคลวิน (0.0000017 ถึง 0.0000025 ต่อฟาเรนไฮต์) [18]

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการวิจัยตรวจสอบอาคารไม้ที่เสื่อมสภาพบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ประกอบด้วย การเก็บข้อมูลความชื้น สภาพอากาศ การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติเชิงกล และการจำลองการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในตัวอาคาร มีรายละเอียดของขั้นตอนการทดสอบดังต่อไปนี้

#### 3.1 แนวทางวิเคราะห์ผลการทดสอบ

แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของไม้ ระหว่างกลุ่มไม้เคลือบสารกับกลุ่มเคลือบสารป้องกันการเสื่อมสภาพ เมื่อผ่านการเร่งสภาพด้วยเครื่องเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ ที่เวลา 200, 400, 600, 800, 1000 ชั่วโมง

1. ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นไม้
2. ปริมาณความชื้นในเนื้อไม้คงเหลือ
3. การดูดซึมน้ำ การพองตัวเมื่อแช่น้ำ
4. กำลังต้านทานแรงดัดของไม้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

#### 3.2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ประกอบด้วย ชนิดของไม้ ขนาดแผ่นไม้ตามมาตรฐานการทดสอบ จำนวน 72 ชิ้นงาน ทดสอบ ในงานวิจัยนี้แบ่งกลุ่มชิ้นทดสอบออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มไม้เคลือบสาร กลุ่มสารเคลือบ625 ตามชนิดสารเคลือบไม้ ทั้งสามกลุ่มนี้ในขั้นตอนการเร่งปฏิกิริยาเสื่อมสภาพระยะเวลา 1000 ชั่วโมง แต่ละกลุ่มจะถูกดึงชิ้นทดสอบออกมาทุกๆ 200 ชั่วโมง กลุ่มละ 6 ชิ้นทดสอบ ในการทดสอบค่าการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไม้ ทดสอบความต้านทานแรงดัด ทดสอบปริมาณความชื้นคงเหลือในเนื้อไม้ และทดสอบการดูดซึมน้ำ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3. 1 การทดสอบการเสื่อมสภาพแผ่นไม้ เมื่อเข้าเครื่องเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ

การทดสอบการเสื่อมสภาพแผ่นไม้ เมื่อเข้าเครื่องเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ												
จำนวนชั่วโมง	0 ชั่วโมง		200 ชั่วโมง		400 ชั่วโมง		600 ชั่วโมง		800 ชั่วโมง		1000 ชั่วโมง	
ชนิดสารเคลือบ	แผ่นไม้	625	แผ่นไม้	625	แผ่นไม้	625	แผ่นไม้	625	แผ่นไม้	625	แผ่นไม้	625
	(ชิ้น)		(ชิ้น)		(ชิ้น)		(ชิ้น)		(ชิ้น)		(ชิ้น)	
1.การเปลี่ยนแปลงสี	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
2.ความต้านทานแรงดัด												
3.ปริมาณความชื้น	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4.การดูดซึมน้ำ,พองตัว												
จำนวนการดัดตัวอย่าง	12		12		12		12		12		12	
นำเข้าเครื่อง	ค่าตั้งต้น		60		48		36		24		12	
รวมตัวอย่างไม้สุทธิ	12		24		36		48		60		72	

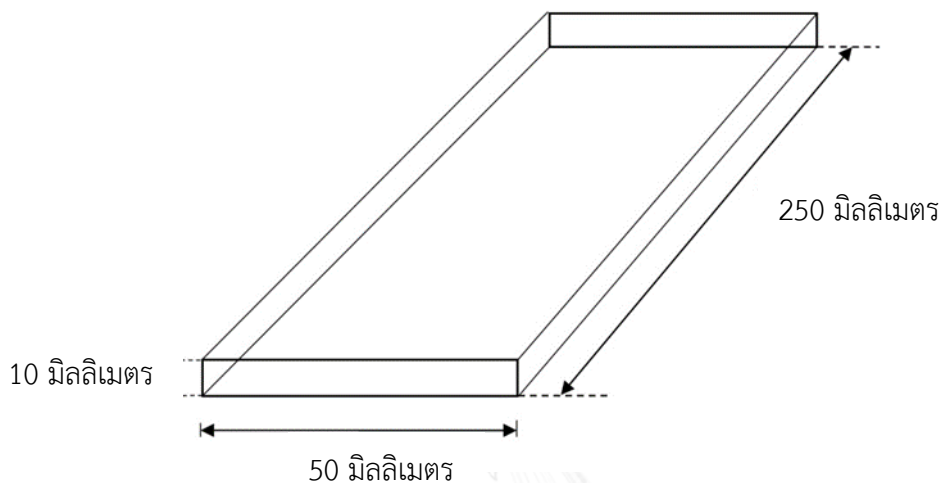
### 3.2.1 ชนิดของไม้

อาคารไม้ที่ทำการตรวจสอบการเสื่อมสภาพประกอบด้วยไม้สัก ไม้ตะเคียน ประดู่ เต็ง รั้ง มะค่า และไม้แดง โดยสรุปของอาคารไม้หลังนี้ประกอบไปด้วยไม้เนื้อแข็งทั้งสิ้น ในงานวิจัยจึงนำไม้จากสถานที่ก่อสร้างจริงมาทำการทดสอบ ได้แก่ ไม้แดง ซึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Xylia Kerrii* และมีชื่อเรียกตามประเทศคือ Pyinkado (Myanmar), Irul (India), Sokrram (Cambodia), Cam Xe (Vietnam), Deng (Thailand), Myanmar Iron Wood, PYINKADO (Standard) [21] มีคุณสมบัติจากเอกสารกรมป่าไม้ดังนี้ [26]

- ความถ่วงจำเพาะ 1.05
- น้ำหนัก 1050 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- แรงดัดและแรงดึงขนานเสี้ยน 246 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- กำลังต้านทานแรงดัด (flexural Strength) 1193 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- โมดูลัสแตกหัก (modulus of rupture : MOR) 1598 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- โมดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) 153129 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

### 3.2.2 ขนาดแผ่นไม้

การทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.180-2532 ที่ใช้ในการทดสอบความทนทานต่อการดัดงอ และการทดสอบด้วยเครื่องแรงปฏิบัติการจำลองสภาพอากาศ กำหนดขนาดแผ่นไม้ทดสอบ กว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 250 มิลลิเมตร หนา 10 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3. 1 ขนาดแผ่นไม้ทดสอบ

การคัดเลือกแผ่นไม้ที่จะนำมาใช้ทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด จะใช้ชิ้นทดสอบที่มีแนวเส้นใย (Fiber direction) ขนานแกนตามยาว (Longitudinal) ให้ชิ้นทดสอบสามารถรับแรงอัด (Compressive Stress) ที่ผิวด้านบน เกิดแรงเฉือน (Shear Stress) ในเนื้อไม้ และทนต่อแรงดึง (Tensile Stress) ที่ผิวด้านล่าง ขณะทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด (Bending Test)

### 3.2.3 ชนิดสารเคลือบไม้

การทดสอบในงานวิจัย ทำการทดสอบตัวอย่างด้วยสารเคลือบชนิด 625 ซึ่งเป็นสารเคลือบ Liquid Glass Nano-Particle Size ชนิดคล้ายกับเคลือบแก้วรถยนต์ แต่ถูกพัฒนาสูตรให้เหมาะสมกับผิววัสดุงานไม้ โดยการควบคุมและปกป้อง การดูดซับน้ำ รวมถึงการการสูญเสียความชื้นของไม้



ภาพที่ 3. 2 ชนิดสารเคลือบไม้

### 3.3 เครื่องเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ

#### 3.3.1 มาตรฐานการทดสอบ

ทดสอบการเสื่อมสภาพของวัสดุด้วยเครื่องเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ มาตรฐาน American Society for Testing and Material : Standard Practice for Operating Fluorescent Ultraviolet Lamp Apparatus for Exposure of Nonmetallic Materials 2006 (ASTM G154)

#### 3.3.2 หลักการทำงานของเครื่อง

ภายในกระบวนการทดสอบจะควบคุม 3 อย่างคือ รังสี อุณหภูมิ และความชื้น โดยเครื่องจะทำการจำลองคล้ายสภาพอากาศจริง จากพื้นที่และเงื่อนไขตามมาตรฐาน ASTM G154 โดยมีการฉายรังสีไปยังวัสดุที่มีค่าสเปกตรัมที่แตกต่างกันหลายประเภท ได้แก่ UVA-340 ความยาวช่วงคลื่น 315-400 นาโนเมตร เป็นรังสีคลื่นสั้น จำลองคล้ายและใกล้เคียงแสงแดด 95%, UVB-313 ความยาวช่วงคลื่น 280-315 นาโนเมตร รังสีพลังงานสูงกว่าUVA เป็นรังสีที่ก่อให้เกิดการทำลายร้าย การเสื่อมสภาพของวัสดุได้เป็นอย่างดี

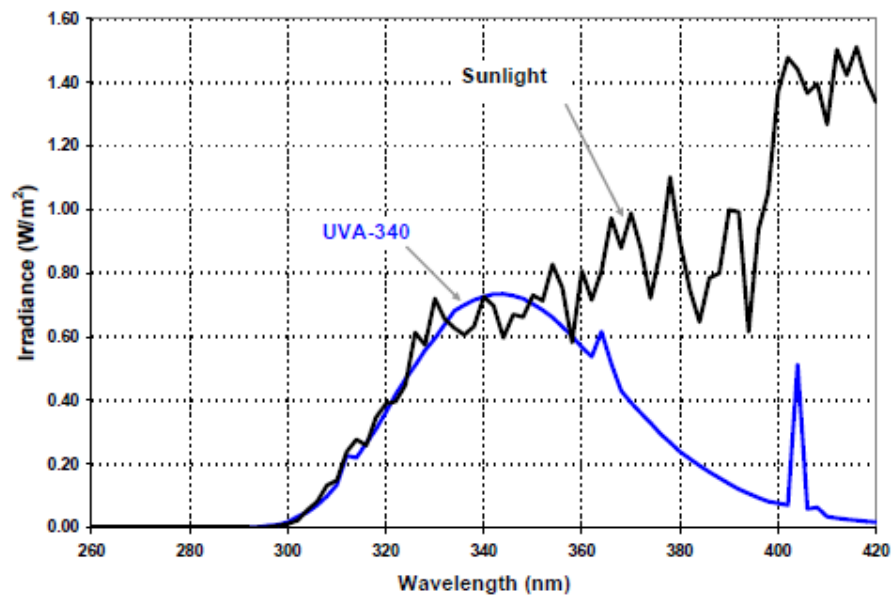




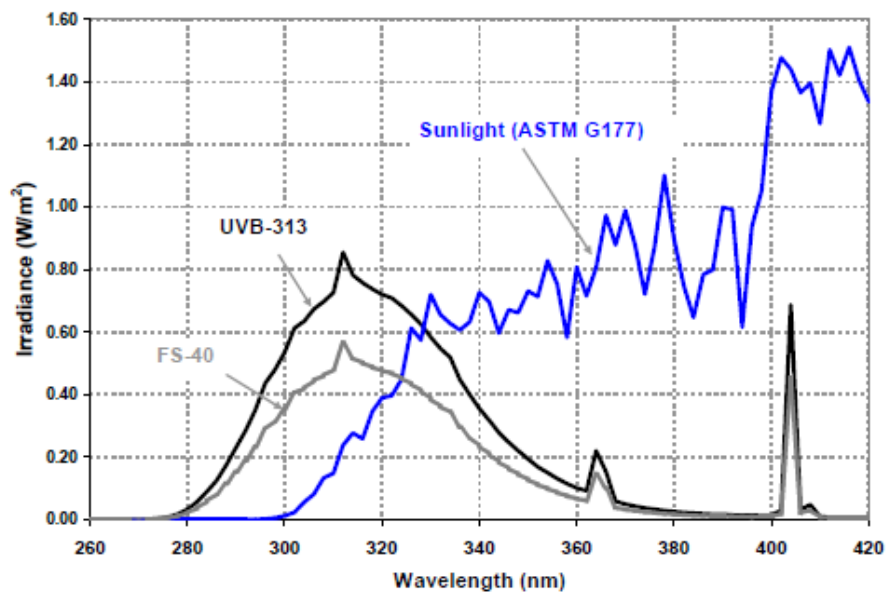
ภาพที่ 3. 3 ชั้นทดสอบและเครื่องเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ



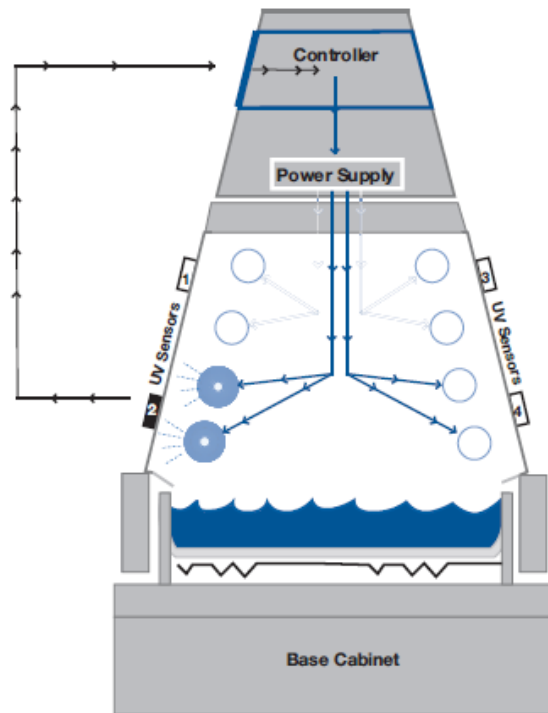
ภาพที่ 3. 4 แนวการวางชั้นทดสอบในเครื่องเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ



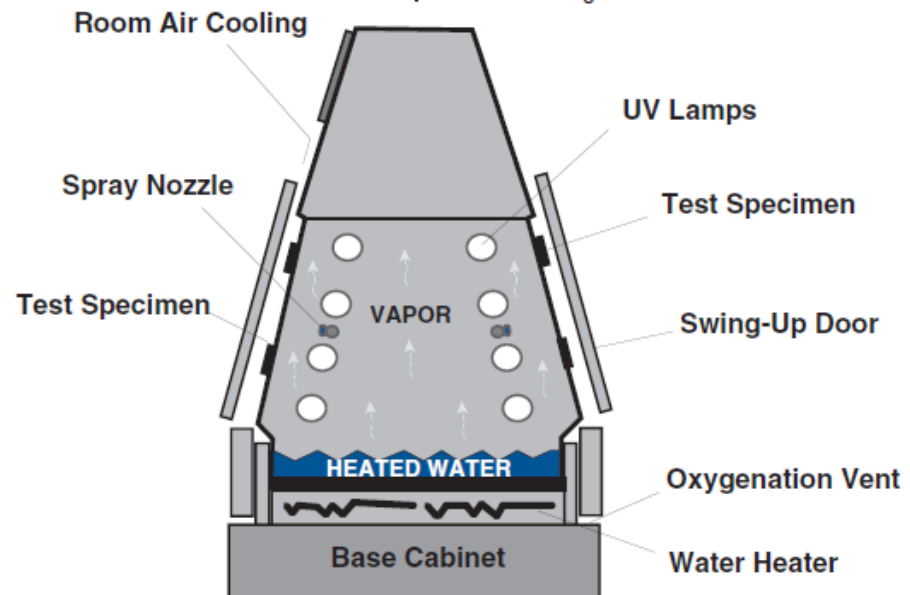
ภาพที่ 3. 5 รังสี UVA-340 จำลองช่วงคลื่นรังสีที่เที่ยงวันในฤดูร้อน [22]



ภาพที่ 3. 6 รังสี UVB-313 จำลองรังสีคลื่นสั้น พลังงานสูง ในการทดสอบความคงทนของวัสดุ



ภาพที่ 3. 7 วางแนวและการเดินสายของเครื่องทดสอบ [22]



ภาพที่ 3. 8 การควบคุมปริมาณความชื้นและอุณหภูมิ

### 3.3.3 เงื่อนไขการควบคุมสภาพอากาศ

ใช้เงื่อนไขการทดสอบการอาบรังสีของวัสดุกลางแจ้ง ในการทดสอบการแผ่รังสีจากเครื่องเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ คือ UVB-313 พลังงาน 0.62 วัตต์ต่อตารางเมตรต่อนาโนเมตร ความยาวคลื่น 310 นาโนเมตร โดยปล่อยสเปกตรัมรังสี 20 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นเข้าสู่กระบวนการควบแน่น 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส [25]

ตารางที่ 3. 2 เงื่อนไขการควบคุมการแผ่รังสี [4]

**TABLE X2.1 Common Exposure Conditions**

Cycle	Lamp	Typical Irradiance	Approximate Wavelength	Exposure Cycle
1	UVA-340	0.89 W/m <sup>2</sup> /nm	340 nm	8 h UV at 60 (±3) °C Black Panel Temperature; 4 h Condensation at 50 (±3) °C Black Panel Temperature
2	UVB-313	0.71 W/m <sup>2</sup> /nm	310 nm	4 h UV at 60 (±3) °C Black Panel Temperature; 4 h Condensation at 50 (±3) °C Black Panel Temperature
3	UVB-313	0.49 W/m <sup>2</sup> /nm	310 nm	8 h UV at 70 (±3) °C Black Panel Temperature; 4 h Condensation at 50 (±3) °C Black Panel Temperature
4	UVA-340	1.55 W/m <sup>2</sup> /nm	340 nm	8 h UV at 70 (±3) °C Black Panel Temperature; 4 h Condensation at 50 (±3) °C Black Panel Temperature
5	UVB-313	0.62 W/m <sup>2</sup> /nm	310 nm	20 h UV at 80 (±3) °C Black Panel Temperature; 4 h Condensation at 50 (±3) °C Black Panel Temperature
6	UVA-340	1.55 W/m <sup>2</sup> /nm	340 nm	8 h UV at 60 (±3) °C Black Panel Temperature; 4 h Condensation at 50 (±3) °C Black Panel Temperature.
7	UVA-340	1.55 W/m <sup>2</sup> /nm	340 nm	8 h UV at 60 (±3) °C Black Panel Temperature; 0.25 h water spray (no light), temperature not controlled; 3.75 h condensation at 50 (±3) °C Black Panel Temperature
8	UVB-313	28 W/m <sup>2</sup>	270 to 700 nm	8 h UV at 70 (±3) °C Black Panel Temperature; 4 h Condensation at 50 (±3) °C Black Panel Temperature

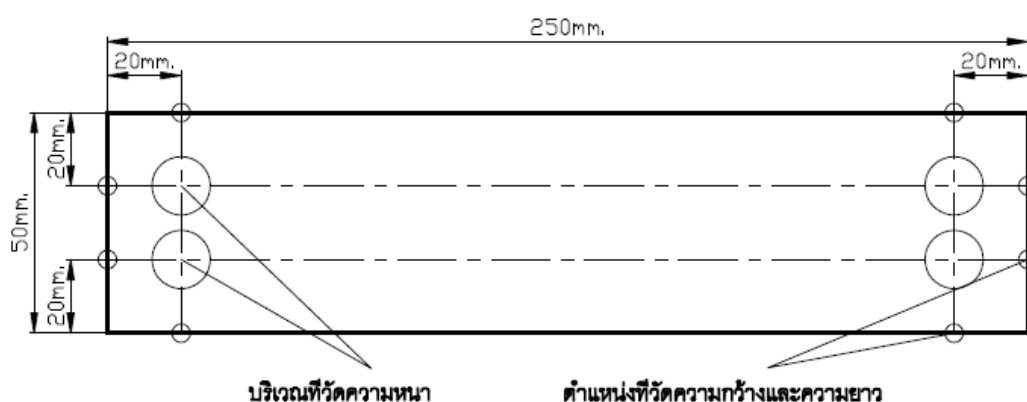


### 3.4 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

#### 3.4.1 การปรับสภาวะขึ้นทดสอบและการวัดขนาด

ขึ้นทดสอบความชื้น ไม่ต้องปรับสภาวะ ส่วนขึ้นทดสอบที่เตรียมไว้ทดสอบการดูดซึมน้ำ การพองตัวเมื่อแช่น้ำ และความต้านแรงดัด ปรับสภาวะที่อุณหภูมิ  $30 \pm 2$  องศาเซลเซียส ณ อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ  $65 \pm 5$  จนน้ำหนักคงที่ คือ น้ำหนักของขึ้นทดสอบที่ชั่ง 2 ครั้ง ห่างกัน 24 ชั่วโมง ต่างกันไม่เกินร้อยละ 0.1 แล้วทำการทดสอบทันทีที่พ้นจากการปรับสภาวะ

1. ความกว้างและความยาว ใช้สายวัดโลหะที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร วัดที่จุดลึกเข้าไปจากขอบของแผ่นไม้ 20 มิลลิเมตร
2. ความหนา ใช้ไมโครมิเตอร์ ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร ซึ่งมีส่วนของแป้นวัดเรียบและขนานกัน และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 พื้นที่สัมผัสประมาณ 200 ตารางมิลลิเมตร ให้วัดที่บริเวณกึ่งกลางของขอบแผ่นไม้ทั้ง 4 ด้าน และให้ลึกเข้าไปจากขอบประมาณ 20 - 200 มิลลิเมตร



ภาพที่ 3. 9 การวัดขนาดความกว้าง ความยาว และความหนา

3. ความต่างของเส้นทแยงมุม ใช้สายวัดโลหะ ที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร วัดหาความแตกต่างของเส้นทแยงมุม
4. ความตรงของขอบ ซึ่งเส้นด้ายให้ตึง ระหว่างมุมที่ขอบเดียวกันของแผ่นไม้ แล้ววัดระยะที่คลาดเคลื่อนจากแนวเส้นด้ายมากที่สุด ของขอบทั้ง 4 ด้าน

### 3.4.2 เครื่องมือและขั้นตอนการหาปริมาณความชื้น

#### 1. เครื่องมือ

- เครื่องชั่ง ที่ละเอียดถึง 0.01 กรัม
- เตาอบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่  $103\pm 2$  องศาเซลเซียส
- เดซิเคเตอร์

#### 2. ขั้นตอนการหาปริมาณความชื้น

- ชั่งชิ้นทดสอบซึ่งผ่านการวัดขนาดจากข้อ 3.4.1 แล้ว ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.01 กรัม เป็นน้ำหนักก่อนอบ
- อบชิ้นทดสอบในเตาอบ ที่อุณหภูมิ  $103\pm 2$  องศาเซลเซียส ตรวจสอบมวลของชิ้นไม้ทดสอบทุกๆ ช่วงระยะเวลา 4 ชั่วโมง หรือจนกว่าชิ้นไม้ทดสอบจะแห้งสนิทปราศจากความชื้นและมีมวลคงที่น้ำหนักคงที่
- นำมาใส่เดซิเคเตอร์ ปล่อยให้เย็น
- ชั่งชิ้นทดสอบ เป็นน้ำหนักอบแห้ง

### 3.4.3 การคำนวณหาปริมาณความชื้น

การหาปริมาณความชื้นของไม้จากการทดลอง จะคิดเป็นร้อยละโดยมวลเทียบกับมวลของไม้อบแห้ง

$$M = \frac{(W - W_d)}{W_d} \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ	$M$	คือ ปริมาณความชื้น (%)
	$W$	คือ มวลของไม้ก่อนการอบแห้ง (g)
	$W_d$	คือ มวลของไม้หลังการอบแห้ง (g)

ตารางที่ 3.3 ตารางการทดสอบค่าความชื้นของไม้

การทดสอบหาค่าความชื้นของไม้								
โครงการวิจัย การตรวจสอบอาคารไม้ที่เสื่อมสภาพบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก								
วันที่ทดสอบ								
เวลาทดสอบ								
ผู้ทำการทดสอบ								
รายละเอียด		ชนิดสารเคลือบ						
		ไม้เคลือบ			625			
		1	2	3	1	2	3	
1	ขนาดของชิ้นไม้ทดสอบ	ความยาว (มม.)						
		ความกว้าง (มม.)						
		ความหนา (มม.)						
2	น้ำหนักของชิ้นไม้ทดสอบก่อนอบแห้ง (A)	(กรัม)						
3	น้ำหนักของชิ้นไม้ทดสอบหลังอบแห้ง (B)	(กรัม)						
4	ปริมาณความชื้น (M)	(ร้อยละ)						
	$M = 100 * \{(A-B)/B\}$							
5	ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ย	(ร้อยละ)						
หมายเหตุ :								

## 3.4.4 เครื่องมือและขั้นตอนทดสอบการดูดซึมน้ำและการขยายตัวเมื่อแช่น้ำ

## 1. เครื่องมือ

- เครื่องชั่ง ที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
- ไมโครมิเตอร์ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร

## 2. ขั้นตอนการทดสอบ

- ชั่งชิ้นทดสอบ ให้ทราบถึงน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.1 กรัม เป็นน้ำหนักก่อนแช่น้ำ
- ทำเครื่องหมายตำแหน่งที่วัดความหนา ด้วยไมโครมิเตอร์ ที่มุมทั้งสี่ ณ ตำแหน่งลึกเข้าไปจากขอบประมาณ 20 มิลลิเมตร ให้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร แล้วหาค่าเฉลี่ย เป็นความหนาก่อนแช่น้ำ

- c. แช่ชิ้นทดสอบในน้ำสะอาดที่มีอุณหภูมิ  $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส โดยตั้งชิ้นทดสอบให้ได้ฉากกับระดับผิวน้ำ ให้ขอบด้านบนอยู่ในระดับผิวน้ำ ไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร แต่ละชิ้นต้องไม่ติดกัน
- d. เมื่อแช่ชิ้นทดสอบครบ 24 ชั่วโมงแล้วให้นำขึ้น ใช้ผ้าหมาดซับที่ผิว แล้วชั่งอีกครั้งเป็นน้ำหนักหลังแช่น้ำ และให้วัดความหนาที่ตำแหน่งเดิม แล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาหลังแช่น้ำ

### 3.4.5 การคำนวณการดูดซึมน้ำและการขยายตัวเมื่อแช่น้ำ

1. การดูดซึมน้ำร้อยละ การหาค่าการดูดซึมน้ำของเนื้อไม้จากการทดลอง มีสมการดังนี้

$$Absorption = \left( \frac{W_2 - W_1}{W_1} \right) \times 100 \quad (3.2)$$

- เมื่อ *Absorption* คือ การดูดซึมน้ำของไม้ (%)  
 $W_1$  คือ น้ำหนักของไม้ก่อนแช่น้ำ (g)  
 $W_2$  คือ น้ำหนักของไม้หลังแช่น้ำ (g)

2. การขยายตัวเมื่อแช่น้ำ

$$Swelling = \left( \frac{t_2 - t_1}{t_1} \right) \times 100 \quad (3.3)$$

- เมื่อ *Swelling* คือ การขยายตัวของไม้เมื่อแช่น้ำ (%)  
 $t_1$  คือ ความหนาของไม้ก่อนแช่น้ำ (mm)  
 $t_2$  คือ ความหนาของไม้หลังแช่น้ำ (mm)

รายงานค่าการดูดซึมน้ำ และการขยายตัวเมื่อแช่น้ำ ของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้น และค่าเฉลี่ย



ตารางที่ 3. 4 ตารางการทดสอบการดูดซึมน้ำและการขยายตัวของเนื้อเยื่อ

การทดสอบการดูดซึมน้ำและการพองตัวของเนื้อเยื่อ								
โครงการวิจัย การตรวจสอบอาคารไม้ที่เสื่อมสภาพบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก								
วันที่ทดสอบ								
เวลาทดสอบ								
ผู้ทำการทดสอบ								
รายละเอียด		ชนิดสารเคลือบ						
		ไม้เคลือบ			625			
		1	2	3	1	2	3	
1	ขนาดของชิ้นไม้ทดสอบ	ความยาว (มม.)						
		ความกว้าง (มม.)						
		ความหนา (มม.)						
2	น้ำหนักของชิ้นไม้ทดสอบก่อนแช่น้ำ (A)	(กรัม)						
3	น้ำหนักของชิ้นไม้ทดสอบหลังแช่น้ำ (B)	(กรัม)						
4	การดูดซึมน้ำ (Absorption)	(ร้อยละ)						
	Absorption = $\{(B-A)/A\} * 100$							
5	ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ย	(ร้อยละ)						
6	ความหนาของชิ้นไม้ทดสอบก่อนแช่น้ำ (C)	(มม.)						
7	ความหนาของชิ้นไม้ทดสอบหลังแช่น้ำ (D)	(มม.)						
8	การพองตัวของเนื้อเยื่อ (Swelling)	(ร้อยละ)						
	swelling = $\{(D-C)/C\} * 100$							
9	ค่าการพองตัวของเนื้อเยื่อเฉลี่ย	(ร้อยละ)						
หมายเหตุ :								

### 3.5 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

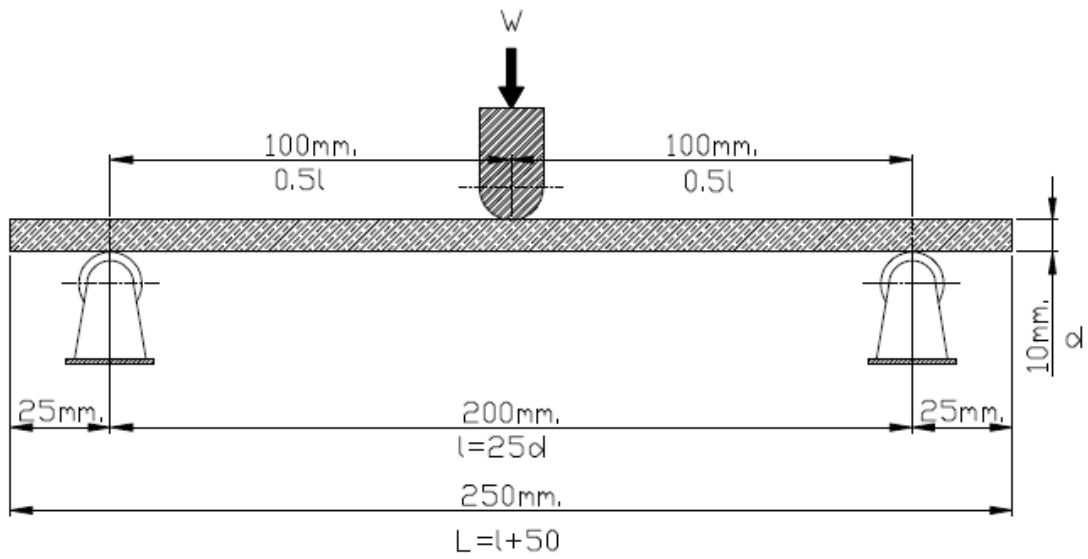
#### 3.5.1 เครื่องมือและขั้นตอนการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด

##### 1. เครื่องมือ

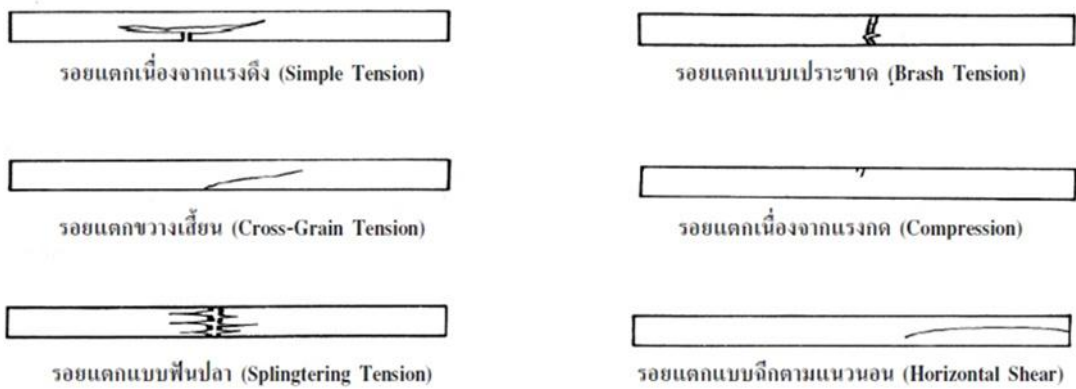
- a. วัดขนาดตามข้อกำหนดของมาตรฐาน
- b. แท่นรองรับต้องมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก มีความยาวไม่น้อยกว่า 75 มิลลิเมตร สามารถเลื่อนปรับระยะได้ในแนวระดับ เส้นผ่านศูนย์กลาง(D) 30 มิลลิเมตร เมื่อขึ้นทดสอบมีความหนา 8-10 มิลลิเมตร
- c. เครื่องกด หัวกดต้องมีส่วนที่ใช้กดเป็นรูปครึ่งวงกลมมีรัศมี (R) และความยาวเท่ากับแท่นรองรับ

##### 2. ขั้นตอนการทดสอบ

- a. วัดความยาวและความกว้างของชิ้นทดสอบ ตามข้อ 3.4.1 ส่วนความหนาให้วัด 3 ตำแหน่ง ในแนวที่แท่งกดกระทำต่อชิ้นทดสอบ โดยวัดที่จุดกึ่งกลางและจุดที่ห่างจากขอบของชิ้นทดสอบประมาณ 15 มิลลิเมตร
- b. วางชิ้นทดสอบลงบนแท่นรองรับซึ่งมีระยะห่าง(L) 25 เท่าของความหนาระบุของชิ้นทดสอบตั้งรูป ให้ปลายชิ้นทดสอบยื่นออกไปจากจุดที่รองรับประมาณข้างละ 25 มิลลิเมตร เท่าๆกัน
- c. ให้แรงกดลงบนจุดกึ่งกลางชิ้นทดสอบ โดยมีอัตราการเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอด้วยความเร็ว 2.5 มิลลิเมตรต่อนาที จนกระทั่งชิ้นทดสอบหัก



ภาพที่ 3. 10 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด



ภาพที่ 3. 11 ลักษณะการวิบัติของเนื้อไม้เนื่องจากทดสอบการดัด [24]

### 3.5.2 วิธีคำนวณความต้านทานแรงดัด

หาค่าความต้านแรงดัดจากสูตร

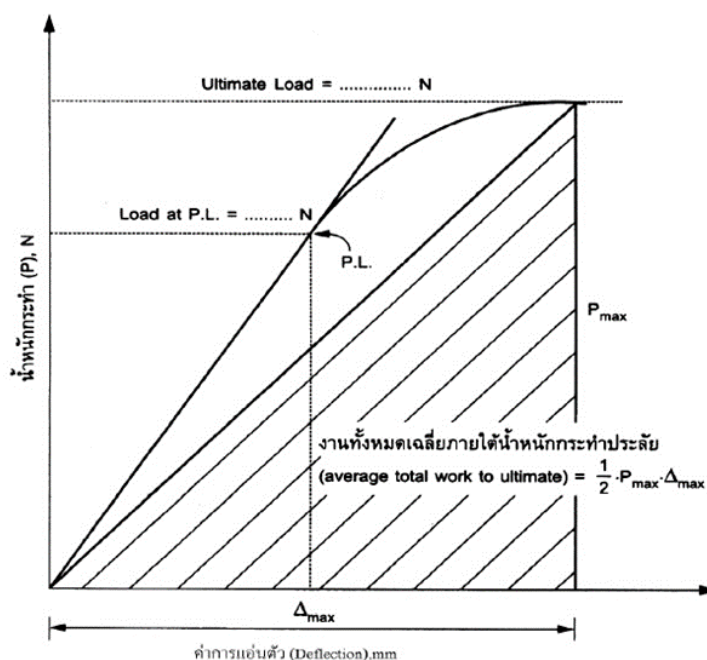
$$f = \frac{3wl}{2bd^2} \quad (3.4)$$

เมื่อ	$f$	คือ ความต้านแรงดัด ( $MPa$ )
	$w$	คือ แรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ ( $N$ )
	$l$	คือ ระยะห่างของแท่นรองรับ ( $mm$ )
	$b$	คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ ( $mm$ )
	$d$	คือ ความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ ( $mm$ )



ตารางที่ 3. 5 ตารางการทดสอบบันทึกค่าแรงกด

การทดสอบกำลังต้านทานแรงกดของไม้							
โครงการวิจัย การตรวจสอบอาคารไม้ที่เสื่อมสภาพบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก							
วันที่ทดสอบ							
เวลาทดสอบ							
ผู้ทำการทดสอบ							
แรงกด P (นิวตัน)		ค่าการแอ่นตัวของไม้ $\Delta$ (มม.)					
		ไม้เคลือบ			625		
		1	2	3	1	2	3
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15	แรงกดสูงสุด (Pmax)						
หมายเหตุ :							



ภาพที่ 3. 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับค่าการแอ่นตัวของชิ้นทดสอบ

“ค่าหน่วยแรงที่ผิวนอกของไม้ ณ ขีดปฏิกิริยา (SP, Stress in Outer Fiber at Proportional Limit)” หมายถึง ค่าหน่วยแรงมากที่สุดที่กระทำบนผิวของไม้ ซึ่งไม้สามารถรับได้โดยไม่เกิดการเปลี่ยนรูปร่างถาวร (Permanent Deformation)

“โมดูลัสยืดหยุ่น (E, Modulus of Elasticity)” หมายถึง ค่าคุณสมบัติทางกลที่ใช้วัดพิกัดความแข็งแรง (Stiffness) ของไม้ เมื่อมีแรงกระทำโดยหาได้จากอัตราส่วนของหน่วยแรงต่อความเครียด

“โมดูลัสแตกร้าว (Ru, Modulus of Rupture)” หมายถึง ค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากแรงดัดสูงสุดที่กระทำแล้ว ทำให้ตัวอย่างไม้วิบัติ

“โมดูลัสคืนตัว (Re, Modulus of Resilience)” หมายถึง ค่าคุณสมบัติทางกลที่ใช้วัดพิกัดความเหนียว (Toughness) หรือพิกัดของค่าขีดความสามารถต่อการต้านแรงกระแทก (Shock-Resistance) ของไม้เมื่อมีแรงกระทำที่ไม้

“ค่าหน่วยแรงเฉือนสูงสุด ( $S_{max}$ , Maximum Shearing Stress)” หมายถึง ค่าความสามารถของไม้ในการทนต่อแรงที่กระทำทำให้เนื้อไม้ส่วนหนึ่งเคลื่อนตัวหรือแยกหลุดออกจากเนื้อไม้อีกส่วนหนึ่งที่อยู่ติดกัน

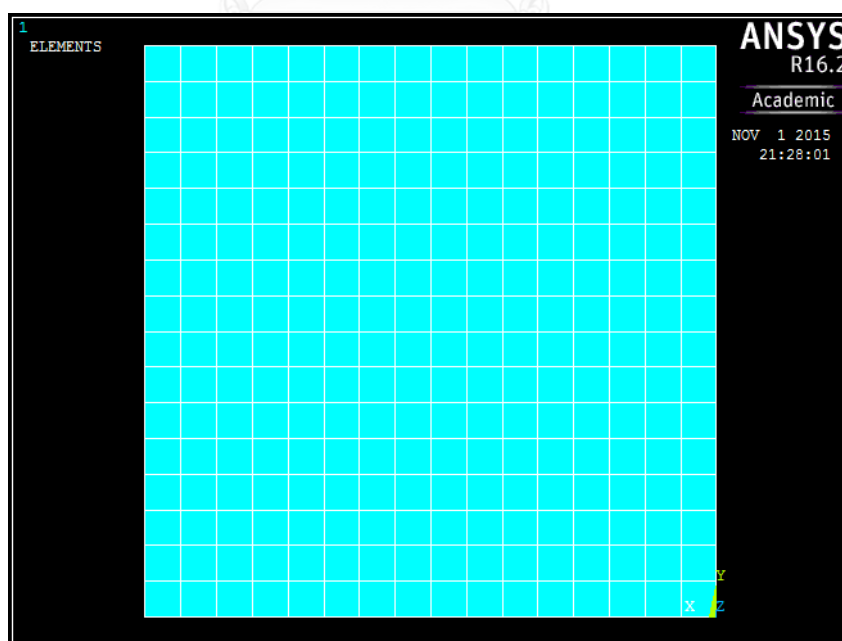
“น้ำหนักประลัย (Lu, Ultimate Load)” หมายถึง น้ำหนักสูงสุดที่กระทำแล้วทำให้ตัวอย่างวิบัติ

ตารางที่ 3. 6 ตารางการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้

การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้							
โครงการวิจัย การตรวจสอบอาคารไม้ที่เสื่อมสภาพบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก							
วันที่ทดสอบ							
เวลาทดสอบ							
ผู้ทำการทดสอบ							
รายละเอียด		ชนิดสารเคลือบ					
		ไมเคลือบ			625		
		1	2	3	1	2	3
1	มิติของชิ้นไม้ทดสอบ	ความกว้าง,b (มม.)					
		ความลึก,d (มม.)					
2	ความยาว,L (มม.)						
3	มวลของชิ้นไม้ทดสอบ,M (กรัม)						
4	โมดูลัสแตกร้า (เมกาปาสคาล)						
		$R_u = (3/2) \{(P_{max}L)/(bd^2)\}$					
5	ค่าโมดูลัสแตกร้าเฉลี่ย (เมกาปาสคาล)						
หมายเหตุ :		“โมดูลัสยืดหยุ่น (E, Modulus of Elasticity)” หมายถึง ค่าคุณสมบัติทางกลที่ใช้วัดที่กีดความแข็งแรง (Stiffness) ของไม้ เมื่อมีแรงกระทำโดยหาได้จากอัตราส่วนของหน่วยแรงต่อความเครียด					
		“โมดูลัสแตกร้า (Ru, Modulus of Rupture)” หมายถึง ค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากแรงดัดสูงสุดที่กระทำแล้วทำให้ตัวอย่างไม้วิบัติ					

### 3.6 แบบจำลองการเคลื่อนที่ของความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

การวิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิด้วยโปรแกรมวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นการประมาณค่าการกระจายของอุณหภูมิแบบหยาบ โดยเลือกโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ANSYS เป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหา โดยจำลองอาคารไม้เป็น PLANE70 กำหนดคุณสมบัติเชิงความร้อนตั้งต้นของแบบจำลอง คำนวณจากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ จากข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยาเฉลี่ยรายชั่วโมง ซึ่งประกอบไปด้วย ค่าการนำไฟฟ้า(Conductivity) ค่าความหนาแน่น (Density) และค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) จำลองอาคาร 80x80 เมตร โดยแบ่งเอลิเมนต์ละ 5 เมตร การให้ความร้อนแก่อาคารทั้ง 4 ระบาย กำหนดการให้อุณหภูมิสม่ำเสมอ (Uniform temperature) ซึ่งเป็นอุณหภูมิของสภาพอากาศโดยรอบขณะปกติ กำหนดให้ส่งผ่านความร้อนเข้าสู่เอลิเมนต์ (Heat transfer from high temperature to element) ในรูปแบบของการพาความร้อนที่ขอบพื้นผิว (By Convection on line) แบ่งอุณหภูมิออกเป็น 4 ช่วงของเวลากลางวัน จากอุณหภูมิที่สูงขึ้นตามข้อมูลสภาพอากาศกรมอุตุนิยมวิทยาของค่าเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมง และกำหนดให้มีสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเท่ากับ 22.5 แต่ไม่คำนึงถึงความชื้น และการแผ่รังสีความร้อน กำหนดเวลาในการวิเคราะห์ 43,200 วินาที สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทุกๆ 1,800 วินาที



ภาพที่ 3. 13 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการวิเคราะห์อุณหภูมิของอาคารไม้



## บทที่ 4

### ผลการทดสอบคุณสมบัติไม้

ขั้นทดสอบเมื่อผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ ด้วยเครื่องเร่งปฏิบัติการจำลองสภาพอากาศตามมาตรฐาน ASTM G154 (Weathering Test) โดยการควบคุมรังสี อุณหภูมิ และความชื้น ทุกๆ 200 ชั่วโมงของกระบวนการนี้ จะเท่ากับการเสื่อมสภาพตามธรรมชาติ 1 ปี ทดสอบจำนวน 72 ชั้น แบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม เมื่อครบระยะเวลาตามเงื่อนไขเร่งการเสื่อมสภาพ ขั้นทดสอบทั้งหมดจะถูกนำออกมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติเชิงกลต่อไป มีรายละเอียดดังนี้

กลุ่มที่ 0 ไม่ผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ จำนวน 12 ชั้น แบ่งตัวอย่างเป็นสองชุดย่อย คือ ไม้เปล่าไม้เคลือบสารใด 6 ชั้น และ ไม้เคลือบสารชนิด625 จำนวน 6 ชั้น

กลุ่มที่ 1 ผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ 200 ชั่วโมง จำนวน 12 ชั้น แบ่งตัวอย่างเป็นสองชุดย่อย คือ ไม้เปล่าไม้เคลือบสารใด 6 ชั้น และ ไม้เคลือบสารชนิด625 จำนวน 6 ชั้น

กลุ่มที่ 2 ผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ 400 ชั่วโมง จำนวน 12 ชั้น แบ่งตัวอย่างเป็นสองชุดย่อย คือ ไม้เปล่าไม้เคลือบสารใด 6 ชั้น และ ไม้เคลือบสารชนิด625 จำนวน 6 ชั้น

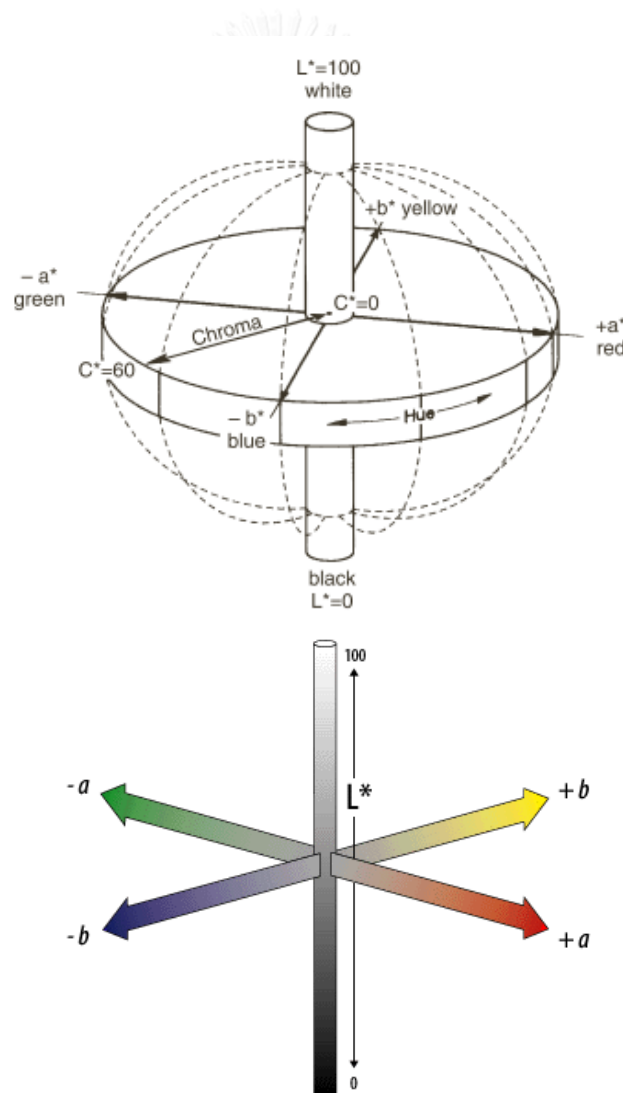
กลุ่มที่ 3 ผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ 600 ชั่วโมง จำนวน 12 ชั้น แบ่งตัวอย่างเป็นสองชุดย่อย คือ ไม้เปล่าไม้เคลือบสารใด 6 ชั้น และ ไม้เคลือบสารชนิด625 จำนวน 6 ชั้น

กลุ่มที่ 4 ผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ 800 ชั่วโมง จำนวน 12 ชั้น แบ่งตัวอย่างเป็นสองชุดย่อย คือ ไม้เปล่าไม้เคลือบสารใด 6 ชั้น และ ไม้เคลือบสารชนิด625 จำนวน 6 ชั้น

กลุ่มที่ 5 ผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ 1000 ชั่วโมง จำนวน 12 ชั้น แบ่งตัวอย่างเป็นสองชุดย่อย คือ ไม้เปล่าไม้เคลือบสารใด 6 ชั้น และ ไม้เคลือบสารชนิด625 จำนวน 6 ชั้น

#### 4.1 การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไม้

รายงานค่าการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไม้ เมื่อผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ ด้วยเครื่องเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ ซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิ ฉายรังสี และกระบวนการควบแน่น ทำให้ผิวของเนื้อไม้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี ระบบค่าสี CIE Lab-System เป็นระบบการบรรยายสีแบบ 3 มิติ โดยที่แกน  $L^*$  จะบรรยายถึงความสว่าง (lightness) จากค่า  $+L^*$  แสดงถึงสีขาว จนไปถึง  $-L^*$  แสดงถึงแสดงถึงสีดำ แกน  $a^*$  จะบรรยายถึงแกนสีจากเขียว ( $-a^*$ ) ไปจนถึงแดง ( $+a^*$ ) ส่วนแกน  $b^*$  จะบรรยายถึงแกนสีจากน้ำเงิน ( $-b^*$ ) ไปจนถึงเหลือง ( $+b^*$ ) ลักษณะของการบรรยายสีของ CIE 3 มิติ แสดงได้ดังภาพที่ 4.1 และบันทึกค่าสีตามระบบ CIE Lab ได้ดังตารางต่อไปนี้

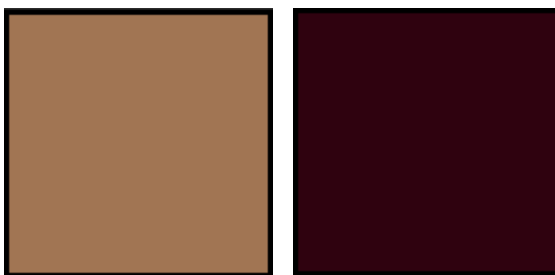


ภาพที่ 4. 1 ระบบค่าสี CIE Lab-System บรรยายสีแบบ 3 มิติ

ตารางที่ 4. 1 ผลการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไม้กลุ่มที่ 1

ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไม้ กลุ่มที่ 1 เวลา 200 ชั่วโมง								
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก								
วันที่ทดสอบ		5 พฤศจิกายน 2558						
เวลาทดสอบ								
ผู้ทำการทดสอบ		ศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยา						
ชั่วโมง	ชั้นทดสอบ	L*	a*	b*	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E^*$
200 hrs.	1-1-N	53.29	15.13	25.78	-22.61	4.12	-6.79	23.96
	1-2-N	53.98	13.47	26.40	-22.63	5.94	-4.30	23.97
	1-3-N	45.76	15.07	25.49	-16.05	2.15	-7393.00	18.03
	1-4-N	45.55	15.24	25.48	-16.49	2.06	-8.80	18.80
	1-5-N	53.13	16.58	28.34	-21.29	4.28	-10.69	24.20
	1-6-N	49.03	13.17	24.15	-23.97	2.19	-9.29	25.80
	1-1-C	48.41	17.08	29.56	-15.25	2.41	-8.23	17.49
	1-2-C	50.23	13.92	30.25	-15.33	6.66	-5.96	17.74
	1-3-C	50.35	15.02	30.41	-14.25	6.24	-2.71	15.79
	1-4-C	49.27	15.46	28.55	-15.05	5.78	-4.69	16.79
	1-5-C	47.68	15.57	25.60	-15.02	4.75	-3.24	16.08
	1-6-C	46.18	14.72	29.30	-14.61	3.90	-7.43	16.84

สีของเนื้อไม้ กลุ่มไม้เคลือบสารและกลุ่มเคลือบสาร625 หลังเร่งเสื่อมสภาพ 200 ชั่วโมง พบว่า ค่าความแตกต่างจากสีเริ่มต้น  $\Delta L^*$  มีค่าลบ คือ ความสว่างลดลง,  $\Delta a^*$  มีค่าบวก คือ ค่อนไปโทนแดง, และ  $\Delta b^*$  มีค่าลบ คือ ค่อนไปโทนน้ำเงิน ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4. 2 ตัวอย่างการบรรยายสี 3 มิติ ชั้นทดสอบ 1-1-N ที่ 200 ชั่วโมง

ตารางที่ 4. 2 ผลการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไม้กลุ่มที่ 5

ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไม้ กลุ่มที่ 5 เวลา 1000 ชั่วโมง								
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก								
วันที่ทดสอบ		5 พฤศจิกายน 2558						
เวลาทดสอบ								
ผู้ทำการทดสอบ		ศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยา						
ชั่วโมง	ชั้นทดสอบ	L*	a*	b*	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E^*$
1000 hrs.	5-1-N	52.18	15.02	25.56	-19.68	-3.59	-15.54	25.33
	5-2-N	52.13	15.81	27.48	-20.36	-3.54	-17.35	26.98
	5-3-N	51.13	13.71	27.86	-24.03	-2.80	-18.06	30.19
	5-4-N	54.67	12.35	24.79	-22.50	2.42	-9.04	24.36
	5-5-N	52.37	14.42	26.09	-17.23	-2.20	-1.08	22.35
	5-6-N	47.52	16.37	28.85	-19.57	-5.02	-17.03	26.42
	5-1-C	50.28	13.59	29.15	-15.18	-2.72	-16.87	22.85
	5-2-C	44.42	14.06	25.21	-16.80	-2.81	-14.08	22.09
	5-3-C	43.48	19.07	29.27	-12.83	-4.95	-16.39	21.39
	5-4-C	47.00	13.11	24.36	-11.33	-2.84	-13.39	17.76
	5-5-C	48.85	16.79	27.56	-15.37	-5.27	-16.35	23.05
	5-6-C	45.21	16.32	26.94	-18.34	-6.45	-17.78	26.34

สีของเนื้อไม้ กลุ่มไม้เคลือบสารและกลุ่มเคลือบสาร625 หลังเร่งเสื่อมสภาพ1000 ชั่วโมง พบว่า ค่าความแตกต่างจากสีเริ่มต้น  $\Delta L^*$  มีค่าลบ คือ ความสว่างลดลง,  $\Delta a^*$  มีค่าลบ คือ ค่อนไปโทนเขียว, และ  $\Delta b^*$  มีค่าลบ คือ ค่อนไปโทนน้ำเงิน



ภาพที่ 4. 3 ตัวอย่างการบรรยายสี 3 มิติ ชั้นทดสอบ 5-1-N ที่ 1000 ชั่วโมง

รายงานผลการทดสอบ ของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ซึ่งทำการทดสอบและบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไม้ วิเคราะห์และสรุปผลได้ดังนี้



สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

ศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยา ห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์

รายงานผลทดสอบ

คำขอบริการที่ : 25-59/0074

ศทม.ทป.คม. 106/59

ลูกค้า : สถาบันทรัพยากรสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า : 1 ของ 1

254 อาคารวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ชั้น 14

วันที่รับตัวอย่าง : 29 ตุลาคม 2558

ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

วันที่ทดสอบ : 5 พฤศจิกายน 2558

ภาวะแวดล้อม : อุณหภูมิ  $25 \pm 5$  องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ  $50 \pm 20$

วิธีทดสอบ : ASTM G 154-06

ผลทดสอบ :

ความทนทานต่อสภาพลมฟ้าอากาศ 1,000 ชั่วโมง							
ความแตกต่างของสี ( $\Delta E^*$ )							
ชื่อตัวอย่าง	ก่อนทดสอบ			หลังทดสอบ			
	L*	a*	b*	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E^*$
5-1-N	52.18	15.02	25.56	-19.68	-3.59	-15.54	25.33
5-1-C	50.28	13.59	29.15	-15.18	-2.72	-16.87	22.85

ชิ้นทดสอบปกติ ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

ผู้ทดสอบ/วิเคราะห์

1 .....  
2 .....  
3 .....  
4 .....

วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559

ผู้รับรอง

(นายคนย ศรีทองคำ)

นักวิชาการ

รักษการในตำแหน่ง

ผู้อำนวยการห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์

Ref. 2025258102903653001

รายงานผลการทดสอบ/ใบรับรองการสอบเทียบนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบ หรือ สอบเทียบเท่านั้น แล้วแต่กรณี การนำรายงานผล/ใบรับรองนี้ไปโฆษณาและการคัดลอกหรือการนำผลบางส่วนไปเผยแพร่ต่อสาธารณะต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากผู้อำนวยการ วว.

FM.BL.MTC.001 Rev.3

สำนักงานใหญ่  
35 หมู่ 3 ตำบลคลองห้า อำเภอลองหลวง  
จังหวัดปทุมธานี 12120  
โทรศัพท์ (66) 0 2577 9000  
โทรสาร (66) 0 2577 9009  
E-mail : rumpai@tistr.or.th Website : www.tistr.or.th

สำนักงาน/ห้องปฏิบัติการ  
ซอย 1C นิคมอุตสาหกรรมบางปู ถนนสุขุมวิท  
ตำบลแพรงษา อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ 10280  
โทรศัพท์ (66) 0 2323 1672-80 ต่อ 115, 116  
โทรสาร (66) 0 2323 9165  
E-mail : mtc@tistr.or.th

สำนักงาน  
196 ถนนพหลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900  
โทรศัพท์ (66) 0 2579 1121-30 ต่อ 5219,5225,5217  
โทรสาร (66) 0 2579 8592  
E-mail : sumalee@tistr.or.th

#### 4.2 ปริมาณความชื้นผิวไม้

รายงานค่าความชื้นที่ผิวชิ้นทดสอบแต่ละชิ้น[ภาคผนวก ก] เมื่อผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ ด้วยเครื่องเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ ตรวจวัดความชื้นที่ผิวไม้ด้วยอุปกรณ์วัดความชื้น Timber moisture meter Standard T-129 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นตั้งแต่จุดเริ่มต้นของการทดสอบ และทุก 200 ชั่วโมง ในช่วงเวลาของกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ ตลอดทั้งหมด 1000 ชั่วโมง ได้ดังตารางที่ 4.3 และ 4.4

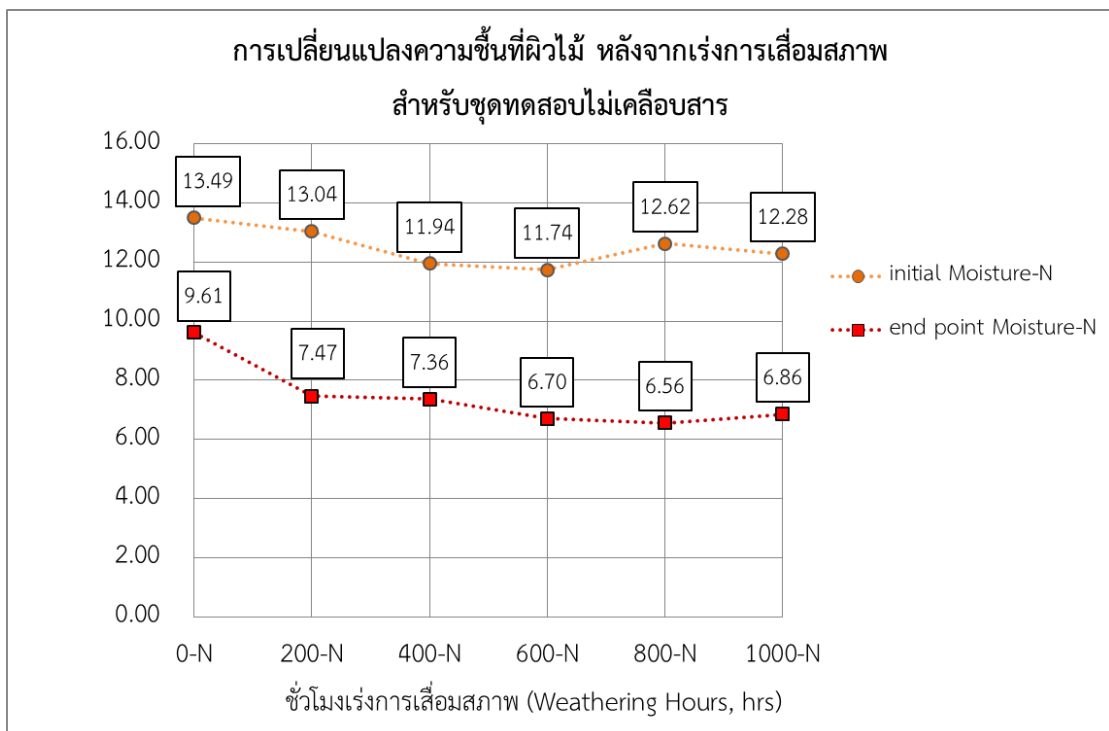
ตารางที่ 4. 3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นที่ผิวของชิ้นทดสอบไม้เคลือบสาร

ตารางสรุป การเปลี่ยนแปลงความชื้นที่ผิวของชิ้นทดสอบ						
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก						
ชิ้นทดสอบไม้เคลือบสาร	ชั่วโมง - ชิ้นทดสอบ					
	0-N	200-N	400-N	600-N	800-N	1000-N
ปริมาณความชื้น ก่อนเร่งการเสื่อมสภาพ	13.49	13.04	11.94	11.74	12.62	12.28
ปริมาณความชื้น หลังเร่งการเสื่อมสภาพ	9.61	7.47	7.36	6.70	6.56	6.86

ตารางที่ 4. 4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นที่ผิวของชิ้นทดสอบเคลือบสาร625

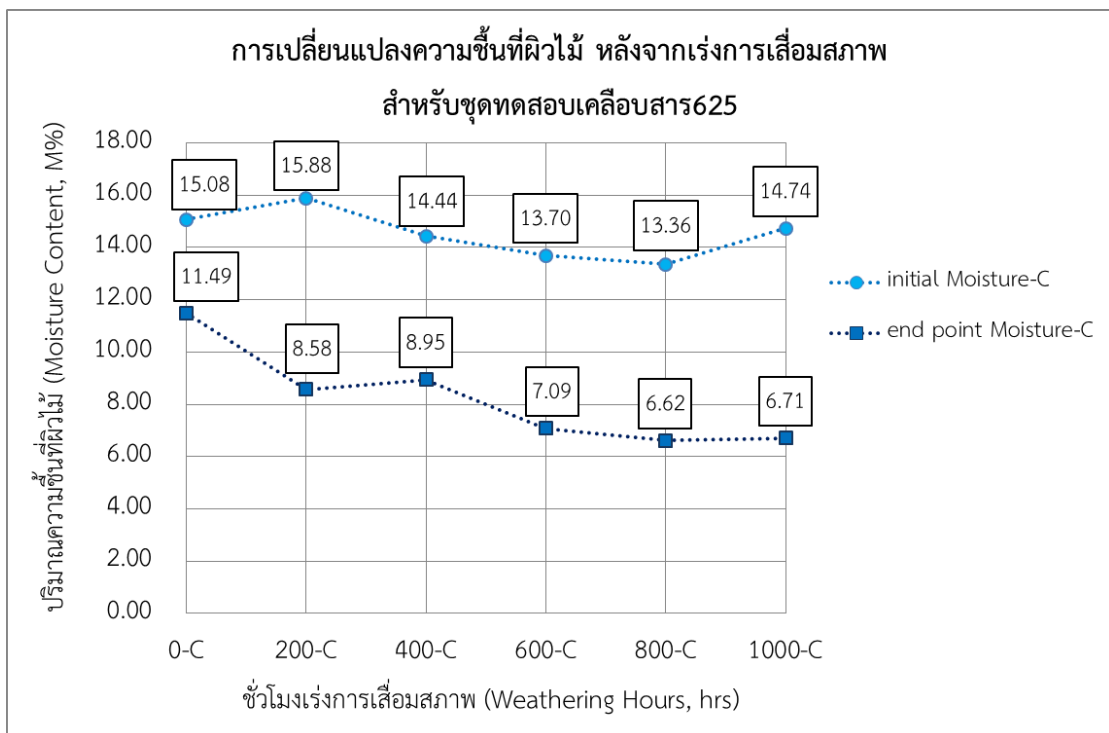
ตารางสรุป การเปลี่ยนแปลงความชื้นที่ผิวของชิ้นทดสอบ						
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก						
ชิ้นทดสอบเคลือบสาร625	ชั่วโมง - ชิ้นทดสอบ					
	0-C	200-C	400-C	600-C	800-C	1000-C
ปริมาณความชื้น ก่อนเร่งการเสื่อมสภาพ	15.08	15.88	14.44	13.70	13.36	14.74
ปริมาณความชื้น หลังเร่งการเสื่อมสภาพ	11.49	8.58	8.95	7.09	6.62	6.71

ชั้นทดสอบไม้เคลือบสาร ความชื้นเริ่มต้นที่ 11-13% ชุดทดสอบที่ทิ้งไว้ ณ สภาพภูมิอากาศปกติ เป็นเวลา 135 วัน ไม่ผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ ปริมาณความชื้นของผิวไม้อยู่ที่ 9.61% ชุดผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ 200 ชั่วโมง ความชื้นของผิวไม้ลดลงเหลือ 7.47% และปริมาณความชื้นมีอัตราการลดลงจนกระทั่งคงสภาพในความชื้นที่ 6-7% ของชั่วโมงที่มากขึ้นในกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ ดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 ปริมาณความชื้นคงเหลือเมื่อผ่านชั่วโมงเร่งการเสื่อมสภาพ  
สำหรับชุดทดสอบไม้เคลือบสาร

ชั้นทดสอบเคลือบสาร625 ความชื้นเริ่มต้นที่ 13-15% ชุดทดสอบที่ทิ้งไว้ ณ สภาพภูมิอากาศปกติ เป็นเวลา 135 วัน ไม่ผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ ปริมาณความชื้นของผิวไม้อยู่ที่ 11.49% ชุดผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ 200 ชั่วโมง ความชื้นของผิวไม้ลดลงเหลือ 8.58% และปริมาณความชื้นมีอัตราการลดลงจนกระทั่งคงสภาพในความชื้นที่ 6-8% ของชั่วโมงที่มากขึ้นในกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ ดังภาพที่ 4.5

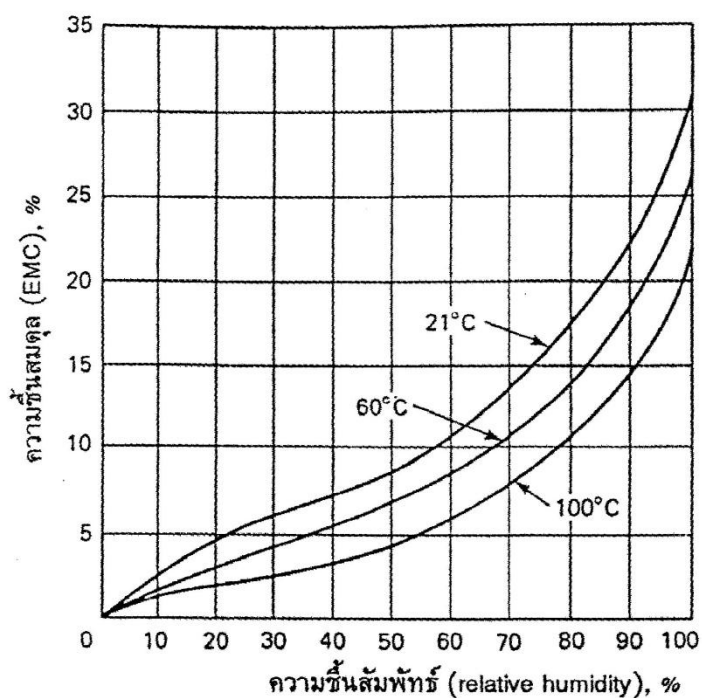


ภาพที่ 4. 5 ปริมาณความชื้นคงเหลือเมื่อผ่านชั่วโมงเร่งการเสื่อมสภาพ  
สำหรับชุดทดสอบเคลือบสาร625



คุณสมบัติความชื้นของไม้ คือสามารถดูดและคายความชื้นได้ จนกระทั่งมีความชื้นถึงจุดสมดุลกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ เรียกปริมาณความชื้นในไม้ที่สภาวะนี้ว่า ความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content, EMC) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในตอนกลางวันตลอดทั้งปีของสถานีพัทธยาและจังหวัดชลบุรี บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก เฉลี่ย 32.6 องศาเซลเซียส และ 73.2% ตามลำดับ ปริมาณความชื้นสมดุลจากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ดังกล่าวจะเท่ากับ 11-12% ดังภาพที่ 4.6

ดังนั้นไม้ที่จะนำมาใช้งานควรมีปริมาณความชื้นยอมให้ถึง 7-15% เพื่อให้ไม้มีปริมาณความชื้นใกล้เคียงกับปริมาณความชื้นสมดุล ณ บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ซึ่งทำให้ไม่มีกำลังความแข็งแรงสูงและยืดหดตัวน้อยลง ลดการบิดและโก่งตัวจนเสียรูป และปริมาณความชื้นไม้ควรเกิน 16% เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อรา



ภาพที่ 4. 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลของไม้กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ [26]

วิเคราะห์ปริมาณความชื้นของไม้ ผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ โดยการควบคุม อุณหภูมิ และรังสีอัลตราไวโอเล็ต พบว่า ไม้เคลือบสาร ที่เร่งการเสื่อมสภาพ 200 รอบ ความชื้นของผิวไม้ลดลงเหลือ 7.47% และปริมาณความชื้นมีอัตราการลดลงจนกระทั่งคงสภาพที่ 6-7% ของรอบที่มากขึ้น เป็นช่วงความชื้นต่ำกว่าจุดใช้งานในเขตชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ส่วนไม้เคลือบสาร ที่เร่งการเสื่อมสภาพ 200 รอบ ความชื้นของผิวไม้ลดลงเหลือ 8.58% และปริมาณความชื้นมีอัตราการลดลงจนกระทั่งคงสภาพที่ 6-8% ของรอบที่มากขึ้น ช่วงความชื้นของไม้ที่ยอมรับได้ในการก่อสร้างเขตชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก

#### 4.3 อัตราการดูดซึมน้ำของไม้

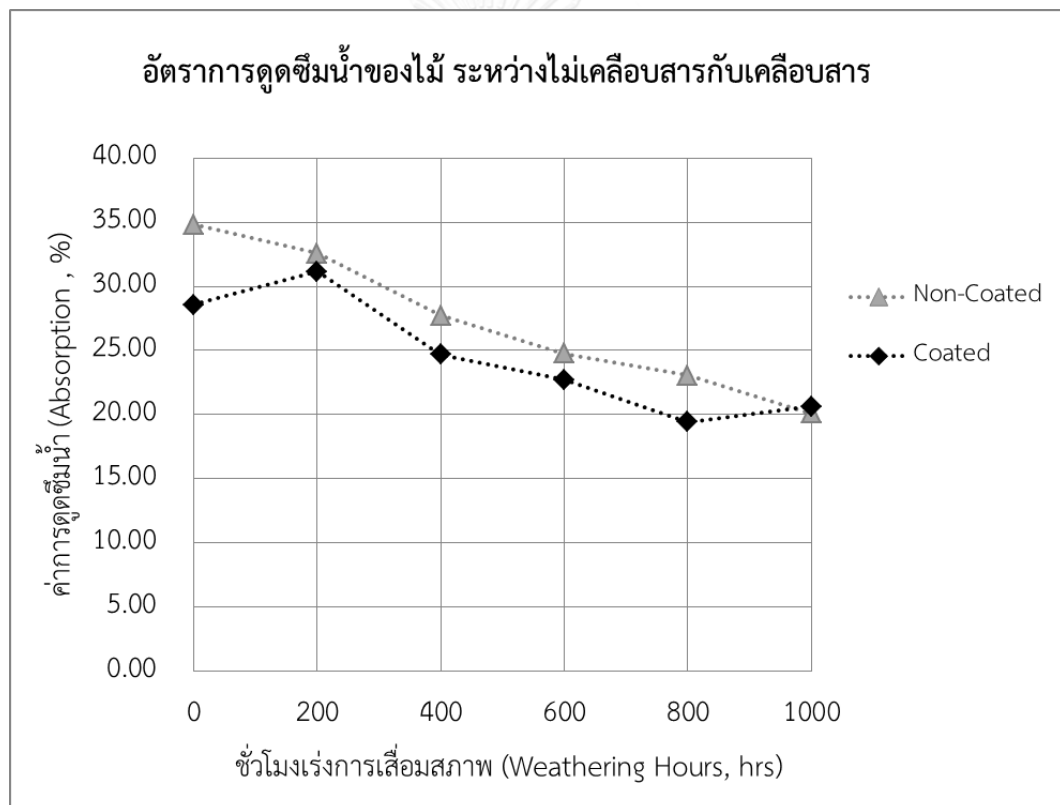
รายงานอัตราการดูดซึมน้ำ (Absorption) ของชิ้นทดสอบของแต่ละชั้น[ภาคผนวก ก] เมื่อแช่ในน้ำสะอาดที่มีอุณหภูมิ  $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถสรุป เปรียบเทียบผลการดูดซึมน้ำของไม้ตั้งแต่จุดเริ่มต้นของการทดสอบ และทุก 200 ชั่วโมง ในช่วงเวลาของกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ ตลอดทั้งหมด 1000 ชั่วโมง ได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4. 5 อัตราการดูดซึมน้ำของไม้

ตารางสรุป ทดสอบการดูดซึมน้ำของชิ้นทดสอบ						
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก						
	ชั่วโมงเร่งการเสื่อมสภาพ					
	0	200	400	600	800	1000
ไม้เคลือบ (Non-Coated)	34.81	32.59	27.74	24.76	23.07	20.12
เคลือบสาร (Coated)	28.58	31.17	24.67	22.74	19.45	20.63

ชั้นทดสอบไม้เคลือบสาร ชุดทดสอบที่ทิ้งไว้ ณ สภาพภูมิอากาศปกติ ไม่ผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ อัตราการดูดซึมน้ำของไม้อยู่ที่ 34.81% ชุดผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ 200 ชั่วโมง อัตราการดูดซึมน้ำลดลงเหลือ 32.59% และการดูดซึมน้ำของชุดไม้เคลือบสาร มีอัตราลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งการทดสอบที่ 1000 ชั่วโมง อยู่ที่ 20.12%

ชั้นทดสอบเคลือบสาร625 ชุดทดสอบที่ทิ้งไว้ ณ สภาพภูมิอากาศปกติ ไม่ผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ อัตราการดูดซึมน้ำของไม้อยู่ที่ 28.58% ชุดผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ 200 ชั่วโมง อัตราการดูดซึมน้ำลดลงเหลือ 8.58% และการดูดซึมน้ำของชุดเคลือบสาร625 มีอัตราลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งการทดสอบที่ 1000 ชั่วโมง อยู่ที่ 6-8%



ภาพที่ 4. 7 เปรียบเทียบอัตราการดูดซึมน้ำของไม้ ระหว่างชั้นทดสอบ ชุดไม้เคลือบสารกับชุดเคลือบสาร625

วิเคราะห์อัตราการดูดซึมน้ำของไม้ โดยแช่ในน้ำสะอาดที่มีอุณหภูมิ  $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า วัสดุไม้เคลือบสาร ที่ทิ้งไว้ ณ สภาพภูมิอากาศปกติ ไม่ผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ มีอัตราการดูดซึมน้ำมากกว่าวัสดุเคลือบสาร 625 แสดงให้เห็นว่า ชั้นทดสอบที่ไม่ผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ เซลล์เนื้อเยื่อไม้ไม่ได้รับผลกระทบจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต วัสดุไม้เคลือบสารยังสามารถดูดซึมน้ำได้ดี ส่วนวัสดุเคลือบสาร 625 เซลล์เนื้อไม้ยังคงสภาพสมบูรณ์ อัตราการดูดซึมน้ำจึงดูดซึมได้บางส่วนแต่ไม่มากนัก เนื่องจากสารเคลือบป้องกันการเสื่อมสภาพนี้จะช่วยชะลอการดูดซึมน้ำและการคายน้ำของเนื้อไม้ได้ระดับหนึ่ง ช่วยให้ไม้ลดการไวต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงแบบกะทันหัน ส่งผลต่อการยืดอายุการใช้งานของไม้

เมื่อผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ 200 รอบ ชั้นทดสอบทั้ง วัสดุไม้เคลือบสารและวัสดุเคลือบสาร 625 เซลล์เนื้อเยื่อของไม้ถูกรังสีอัลตราไวโอเล็ตทำลายทำให้เสื่อมสภาพลง และกระตุ้นด้วยการควบคุมอุณหภูมิ  $50-80$  องศาเซลเซียสขณะฉายรังสี เงื่อนไขการจำลองคล้ายสภาพอากาศร้อนและแดดจัด ณ บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก เซลล์เนื้อเยื่อไม้บางส่วนจึงเกิดการคายน้ำ เซลลูโลสที่เป็นส่วนของผนังเซลล์ และลิกนินที่อยู่ระหว่างเซลล์ต่อเซลล์ทำหน้าที่ประสานให้เซลลูโลสยึดติดกันเป็นเนื้อไม้ ถูกทำลายด้วยพลังงานความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเล็ตแล้วนั้น เมื่อนำมาทดสอบการดูดซึมน้ำ ชั้นทดสอบเหล่านี้จึงมีอัตราการดูดซึมน้ำได้น้อยลง อัตราการดูดซึมน้ำของชั้นทดสอบแปรผกผันกับรอบของการฉายรังสี คือเมื่อชั้นทดสอบผ่านการฉายรังสีรอบเพิ่มขึ้นอัตราการดูดซึมน้ำได้ยิ่งลดน้อยลง เนื่องจากเซลล์เนื้อเยื่อไม้ที่เกิดการเสื่อมสภาพจึงมีอัตราการดูดและคายน้ำได้น้อยลงตามไปด้วย ทั้งนี้ การทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำของไม้ วัสดุที่ถูกเคลือบสารป้องกันการเสื่อมสภาพยังมีประสิทธิภาพและสามารถป้องกันการดูดซึมน้ำได้มากกว่าวัสดุไม้เคลือบสาร ในช่วง 0-800 รอบ ดังภาพที่ 4.7

#### 4.4 อัตราการขยายตัวของไม้เมื่อแช่น้ำ

อัตราการขยายตัวของไม้เมื่อแช่น้ำ (Swelling of Wood) ผลการทดสอบการหดและขยายตัวของชิ้นไม้แต่ละชิ้น [ภาคผนวก ก] เมื่อแช่ในน้ำสะอาดที่มีอุณหภูมิ  $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงขนาดก่อนและหลังจากผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ

ด้วยเครื่องเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ ด้วยอุปกรณ์วัดขนาด เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงขนาดของชิ้นไม้ตั้งแต่ก่อนเริ่มการทดสอบ และทุก 200 ชั่วโมง ในช่วงเวลาของกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ ตลอดทั้งหมด 1000 ชั่วโมง ได้ดังตารางที่ 4.6

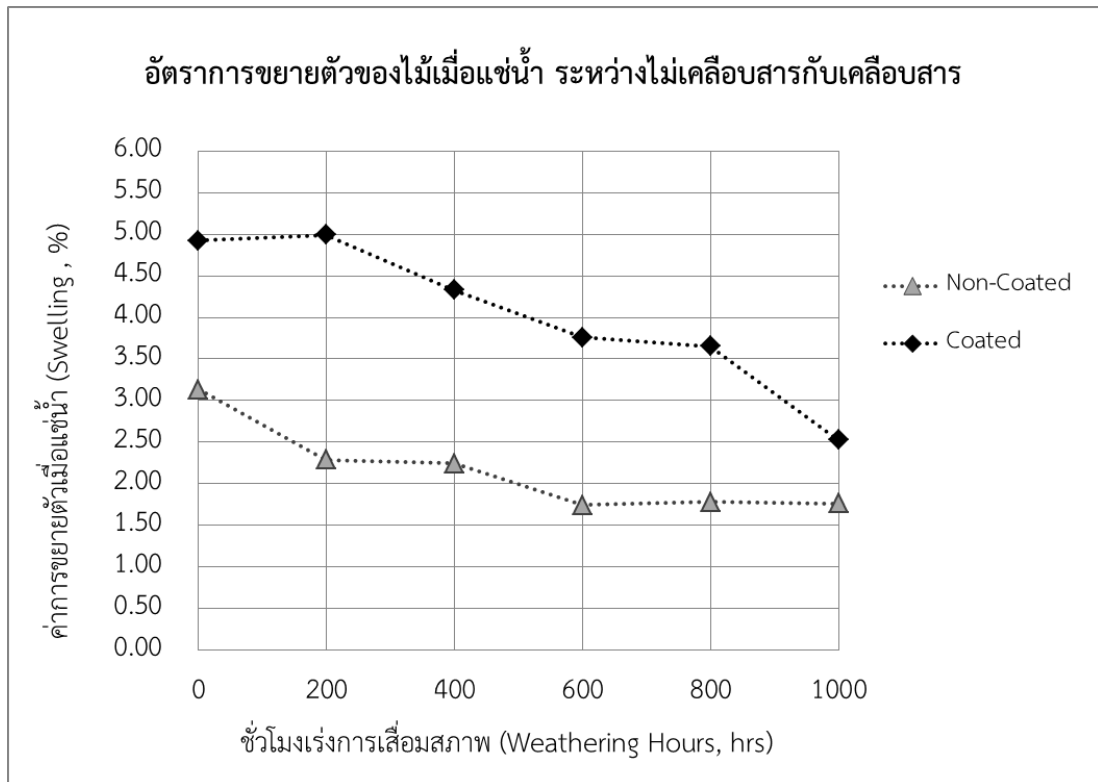
ตารางที่ 4. 6 อัตราการขยายตัวของไม้เมื่อแช่น้ำ

ตารางสรุป ทดสอบการหดและการขยายตัวของไม้เมื่อแช่น้ำ						
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก						
	ชั่วโมงเร่งการเสื่อมสภาพ					
	0	200	400	600	800	1000
ไม้เคลือบ (Non-Coated)	3.13	2.29	2.24	1.75	1.78	1.77
เคลือบสาร (Coated)	4.92	4.99	4.33	3.76	3.65	2.53

ชิ้นทดสอบไม้เคลือบสาร ชุดทดสอบที่ทิ้งไว้ ณ สภาพภูมิอากาศปกติ ไม่ผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ เมื่อแช่น้ำในน้ำสะอาดที่มีอุณหภูมิ  $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง อัตราการขยายตัวของไม้อยู่ที่ 3.13% ชุดไม้เคลือบสารที่ผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ 200 ชั่วโมง อัตราการขยายตัวของไม้ลดลงเหลือ 2.29% และการขยายตัวเมื่อแช่น้ำของชุดไม้เคลือบสาร มีอัตราการลดลงจนกระทั่งการทดสอบที่ 1000 ชั่วโมง อยู่ที่ 1.77%

ชิ้นทดสอบเคลือบสาร 625 ชุดทดสอบที่ทิ้งไว้ ณ สภาพภูมิอากาศปกติ ไม่ผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ เมื่อแช่น้ำในน้ำสะอาดที่มีอุณหภูมิ  $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง อัตราการขยายตัวของไม้อยู่ที่ 4.92% ชุดเคลือบสาร 625 ที่ผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ 200 ชั่วโมง อัตราการขยายตัวของไม้เพิ่มขึ้นเป็น 4.99% และการขยายตัวเมื่อแช่น้ำของชุดเคลือบสาร 625 มีอัตราการลดลงจนกระทั่งการทดสอบที่ 1000 ชั่วโมง อยู่ที่ 2.53%

จากการทดสอบเพื่อหาการขยายตัวของไม้ ด้วยการนำชิ้นทดสอบแช่น้ำเป็นเวลานาน จากนั้นนำขึ้นจากน้ำแล้วเช็ดให้แห้ง พักไว้ที่อุณหภูมิห้องปกติ 5-10 นาที จึงวัดขนาดการขยายตัวเป็นความหนา คือแนวตั้งฉากกับเส้นวงปี หรือ แนวรัศมี (Radial) ตามข้อกำหนดการทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ดังนี้



ภาพที่ 4. 8 เปรียบเทียบอัตราการขยายตัวของไม้เมื่อแช่น้ำ ระหว่างชั้นทดสอบ ชุดไม้เคลือบสารกับชุดเคลือบสาร625

วิเคราะห์อัตราการขยายตัวของไม้ โดยรวมพบว่า ชุดไม้เคลือบสาร ไม่ผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ มีอัตราการขยายตัวเมื่อแช่น้ำน้อยกว่าชุดเคลือบสาร625 อาจเป็นเพราะชั้นทดสอบชุดนี้ เซลล์เนื้อเยื่อไม้ไม่ได้รับผลกระทบจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต จึงยังสามารถดูดซึมน้ำและคายน้ำได้ดี เมื่อนำชั้นทดสอบขึ้นจากน้ำแช่ให้แห้งแล้วทิ้งไว้ 5-10 นาที น้ำที่สะสมอยู่ภายในท่อและผนังเซลล์เกิดการคายน้ำได้โดยสะดวก อัตราการขยายตัวของขึ้นไม้จึงมีค่าค่อนข้างต่ำ ต่างจากชุดเคลือบสาร 625 ด้วยการแช่น้ำในเวลาเท่ากัน แต่เนื่องจากการสารเคลือบป้องกันการเสื่อมสภาพนี้จะช่วยชะลอการคายน้ำของเนื้อไม้ได้ระดับหนึ่ง ชั้นทดสอบชุดเคลือบสาร625 ยังมีน้ำอยู่เต็มท่อและผนังเซลล์ อัตราการขยายตัวขณะวัดจึงมีค่าค่อนข้างสูง

อัตราการขยายตัวเมื่อแช่น้ำ มีค่าลดลงเมื่อผ่านชั่วโมงกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพที่เพิ่มขึ้น เห็นความเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งเกิดเสื่อมสภาพของสาร625 เนื่องจากวัดอัตราการขยายตัวที่ 800-1000 ชั่วโมง ใกล้เคียงกับชั้นทดสอบไม้เคลือบสาร ดังภาพที่ 4.8

#### 4.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

รายงานค่าความต้านทานแรงดัด เมื่อขึ้นทดสอบผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ ด้วยเครื่องเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ ขึ้นทดสอบขนาด 50x250x10 มิลลิเมตร จำนวน 36 ชิ้น ในการศึกษาการเสื่อมสภาพ ที่อาจมีผลกระทบต่อ การรับแรงของชิ้นทดสอบ โดยวางชิ้นทดสอบบนแท่นรองรับ แล้วให้แรงกดลงบนจุดกึ่งกลางชิ้นทดสอบโดยมีอัตราการเพิ่มแรงอย่างสม่ำเสมอ จนกระทั่งชิ้นทดสอบเสียหาย ได้ดังต่อไปนี้

##### 4.5.1 แรงดัดที่ขีดพิกัดยืดหยุ่นและการโก่งตัวของชิ้นทดสอบ

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด บันทึกค่าขึ้นทดสอบ [ภาคผนวก ก] ซึ่งให้กำลังจนกระทั่งชิ้นทดสอบเสียหาย สามารถเปรียบเทียบสรุปแรงดัดที่ขีดพิกัดยืดหยุ่นและการโก่งตัวของชิ้นทดสอบ เพื่อนำไปหา กำลังต้านทานแรงดัดต่อไปนี้

ตารางที่ 4. 7 การทดสอบแรงดัดและการโก่งตัวของไม้

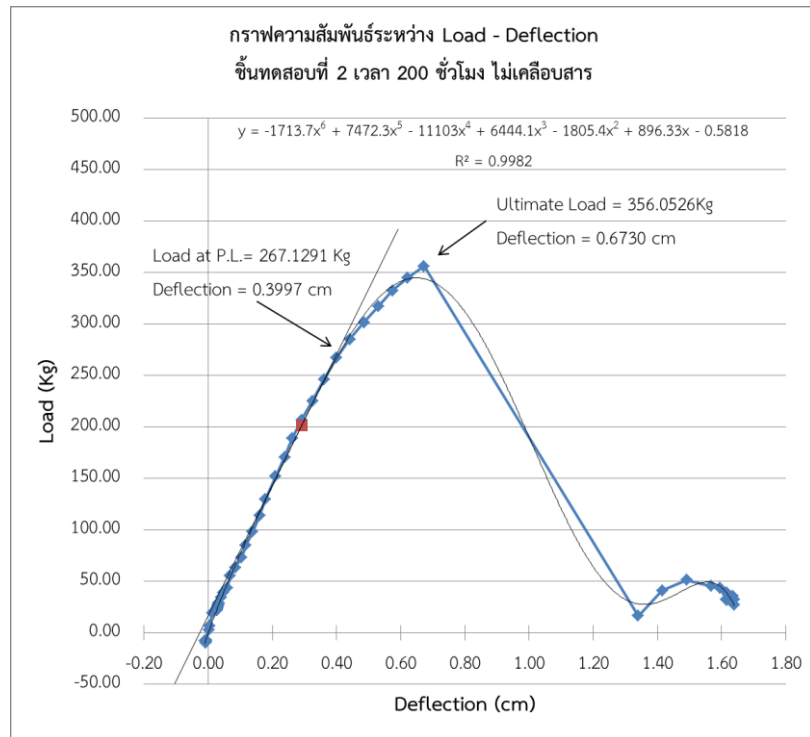
การทดสอบกำลังรับแรงดัดของไม้และการโก่งตัวของไม้				
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก				
กลุ่ม-ชั่วโมงเร่งการเสื่อมสภาพ	ไม้เคลือบ		เคลือบ625	
	กำลังรับแรงดัด	การโก่งตัว	กำลังรับแรงดัด	การโก่งตัว
	Load, P <sub>PL</sub> (กิโลกรัม)	Deflection, Δ (เซนติเมตร)	Load, P <sub>PL</sub> (กิโลกรัม)	Deflection, Δ (เซนติเมตร)
กลุ่มที่ 0 ไม่ผ่านการเร่ง	213.584	0.4233	191.950	0.4539
กลุ่มที่ 1 ที่ 200 ชั่วโมง	224.341	0.4618	210.835	0.4392
กลุ่มที่ 2 ที่ 400 ชั่วโมง	231.452	0.5870	189.201	0.4640
กลุ่มที่ 3 ที่ 600 ชั่วโมง	231.273	0.4930	205.098	0.4409
กลุ่มที่ 4 ที่ 800 ชั่วโมง	197.628	0.5980	241.073	0.5326
กลุ่มที่ 5 ที่ 1000 ชั่วโมง	260.675	0.4252	173.305	0.5113
เฉลี่ย	226.492	0.4981	201.910	0.4736

วิเคราะห์กำลังรับแรงดัดที่ขีดพิกัดยืดหยุ่นของชิ้นทดสอบ ชุดไม้เคลือบสาร พบว่า ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดได้ คือ 226.492 กิโลกรัม สูงกว่าชุดเคลือบสาร625 คือ 201.910 กิโลกรัม เนื่องจากชุดไม้เคลือบสารมีอัตราการคายน้ำสูงจึงสูญเสียความชื้นภายในเซลล์เนื้อไม้ ทำให้ชุดไม้เคลือบสารมีความแข็งแรงสูงและกำลังรับแรงดัดสูงตามไปด้วย ดังภาพที่ 4.9 ส่วนชุดเคลือบสาร625 ชิ้นทดสอบเมื่อผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพแล้วยังสามารถเก็บกักความชื้นไว้ในเนื้อไม้ได้ระดับหนึ่ง ทำให้ชุดทดสอบนี้มีกำลังรับแรงดัดลดน้อยลงไป ดังภาพที่ 4.10

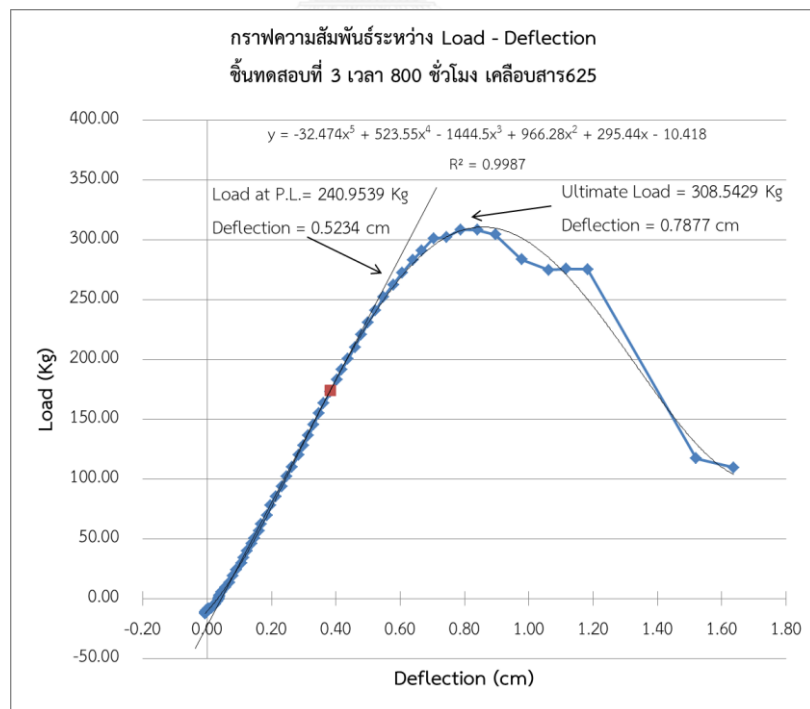
จากมาตรฐานเอกสารกรมป่าไม้ ระบุว่า ไม้เนื้อแข็งมีกำลังรับแรงดัดเฉลี่ยอยู่ที่ 189-246 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ชุดทดสอบไม้เคลือบสารและเคลือบสาร625 จึงยังอยู่ในเกณฑ์การใช้งานตามมาตรฐานกำหนด







ภาพที่ 4. 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดกับการโก่งตัวของไม้  
 ชั้นทดสอบไม้เคลือบสาร



ภาพที่ 4. 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดกับการโก่งตัวของไม้  
 ชั้นทดสอบเคลือบสาร625

#### 4.5.2 กำลังต้านทานแรงดัดและโมดูลัสแตกหัก

กำลังต้านทานแรงดัดของไม้ (Flexural Stress) ขึ้นอยู่กับกำลังต้านทานแรงดึงและกำลังต้านทานแรงอัดในแนวนอนเสี้ยน ในโครงสร้างไม้จะหาหน่วยแรงดัดที่ขีดพิภักดิ์ยืดหยุ่น (Proportional limit,  $P_{PL}$ ) เมื่อรับแรงจนเสียรูปถึงจุดรับแรงดัดประลัย (Ultimate load,  $P_{max}$ ) จะเรียกหน่วยแรงดัดนี้ว่า โมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture, MOR) ซึ่งค่าโมดูลัสแตกหักจะมีค่ามากกว่า ค่าของหน่วยแรงอัด แต่จะมีค่าน้อยกว่า ค่าของหน่วยแรงดึง ในแนวนอนเสี้ยน เพราะไม่มีกำลังต้านทานแรงอัดน้อยกว่ากำลังต้านทานแรงดึง

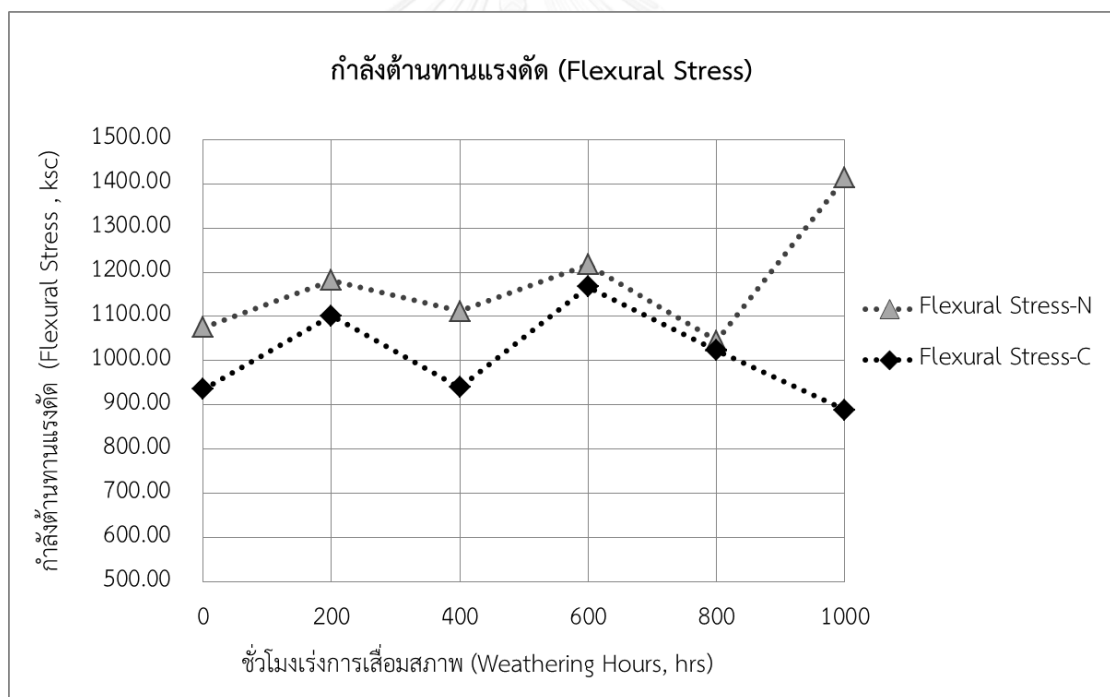
ในการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด รายละเอียดดังหัวข้อ 4.5.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้ เมื่อขึ้นทดสอบผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ ด้วยเครื่องเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ เพื่อหาอัตราการเสื่อมกำลังของไม้ โดยคิดจากหน่วยแรงดัดที่ขีดพิภักดิ์ยืดหยุ่นและจุดรับแรงดัดประลัย ได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4. 8 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดและโมดูลัสแตกหัก

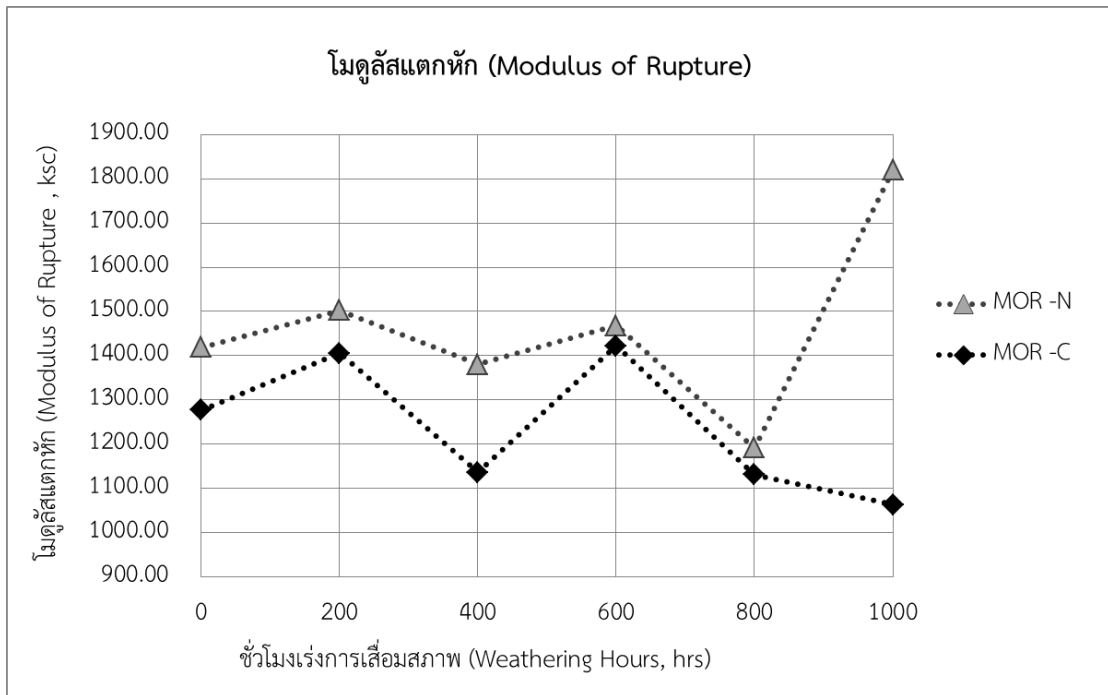
การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด				
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก				
กลุ่ม-ชั่วโมงเร่งการเสื่อมสภาพ	Flexural Stress = $3P_{PL}/(2bd^2)$			
	Modulus of Rupture = $3P_{max}L/(2bd^2)$			
	ไม้เคลือบ		เคลือบ625	
	Flexural Stress	Modulus of Rupture	Flexural Stress	Modulus of Rupture
	(ksc)	(ksc)	(ksc)	(ksc)
กลุ่มที่ 0 ไม่ผ่านการเร่ง	1075.521	1418.971	935.902	1277.178
กลุ่มที่ 1 ที่ 200 ชั่วโมง	1181.695	1502.931	1101.005	1405.732
กลุ่มที่ 2 ที่ 400 ชั่วโมง	1112.211	1380.177	939.559	1136.500
กลุ่มที่ 3 ที่ 600 ชั่วโมง	1216.821	1468.126	1166.882	1421.982
กลุ่มที่ 4 ที่ 800 ชั่วโมง	1045.598	1191.870	1023.125	1131.820
กลุ่มที่ 5 ที่ 1000 ชั่วโมง	1413.537	1819.252	889.216	1063.500
เฉลี่ย	1174.231	1463.555	1009.281	1239.452

วิเคราะห์กำลังต้านทานแรงดัดและโมดูลัสแตกหัก ชุติไม้เคลือบสาร มีช่วงค่าเฉลี่ยที่ 1174.23-1463.55 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สูงกว่าชุติเคลือบสาร625 คือ 1109.28-1239.45 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ เนื่องจากชุติไม้เคลือบสารมีอัตราการคายน้ำสูงจึงสูญเสียความชื้นภายในเซลล์เนื้อไม้ ทำให้ชุติไม้เคลือบสารมีความแข็งแรงสูงและกำลังต้านทานแรงดัดและโมดูลัสแตกหักจึงสูงตามไปด้วย ส่วนชุติเคลือบสาร625 ขึ้นทดสอบเมื่อผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพแล้วยังสามารถเก็บกักความชื้นไว้ในเนื้อไม้ได้ระดับหนึ่ง ทำให้ชุติทดสอบนี้มีกำลังต้านทานแรงดัดและโมดูลัสแตกหักลดน้อยลงไป ดังภาพที่ 4.11 และ 4.12

จากมาตรฐานเอกสารกรมป่าไม้ ระบุว่า ไม้เนื้อแข็งมีกำลังต้านทานแรงดัดเฉลี่ยอยู่ที่ 1193 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และโมดูลัสแตกหัก 1598 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ชุติทดสอบไม้เคลือบสารและเคลือบสาร625 จึงยังอยู่ในเกณฑ์การใช้งานตามมาตรฐานกำหนด



ภาพที่ 4. 11 เปรียบเทียบกำลังต้านทานแรงดัด (Flexural Stress at Proportional Limit) เมื่อผ่านชั่วโมงเร่งการเสื่อมสภาพ ระหว่างชุติไม้เคลือบสารกับเคลือบสาร625



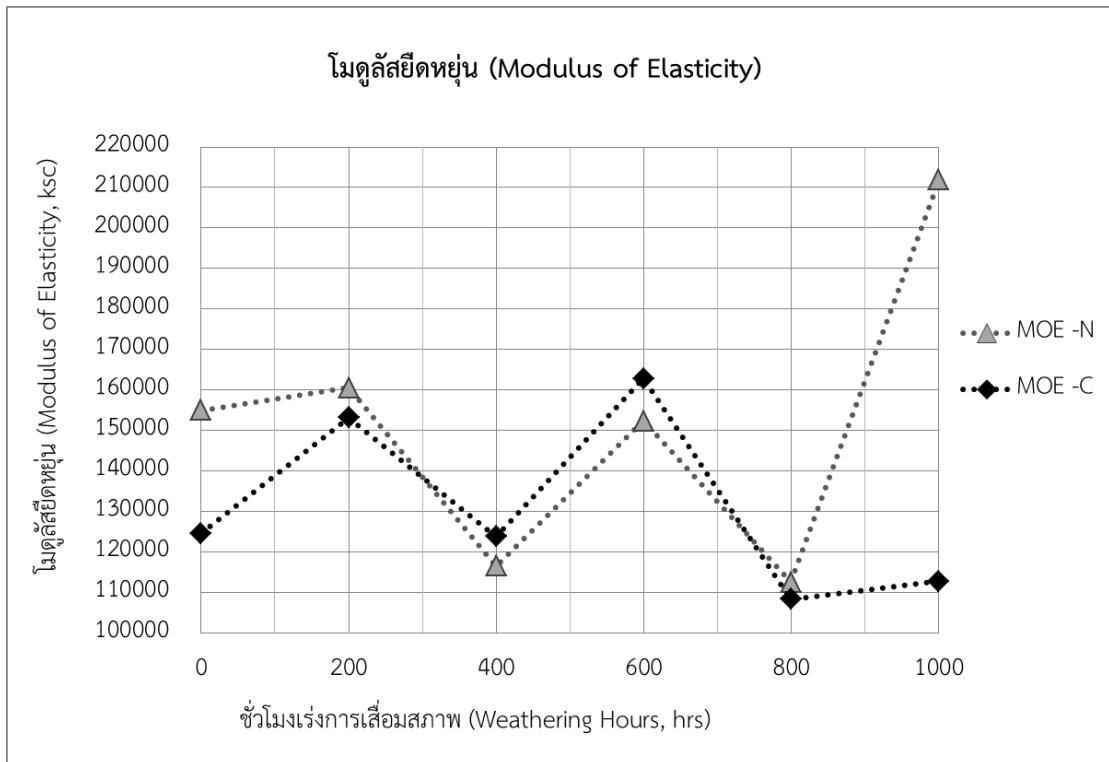
ภาพที่ 4. 12 เปรียบเทียบโมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture at Ultimate Load) เมื่อผ่านชั่วโมงเร่งการเสื่อมสภาพ ระหว่างชุดไม้เคลือบสารกับเคลือบสาร625

### 4.5.3 โมดูลัสยืดหยุ่น

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ที่ได้จากการทดสอบหาความต้านทานต่อแรงดัดเป็นค่าที่ใช้วัดความแข็งแรง (Stiffness) ของวัสดุ โดยคิดจากหน่วยแรงภายในขีดพิภักดิ์ยืดหยุ่น (Proportional limit,  $P_{PL}$ ) กับขนาดมิติของชิ้นทดสอบ ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4. 9 ผลการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)

การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้		
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก		
กลุ่ม-ชั่วโมงเร่งการเสื่อมสภาพ	Modulus of Elasticity = $P_{PL}L^3/(48I\Delta)$	
	ไม้เคลือบ (ksc)	เคลือบ625 (ksc)
กลุ่มที่ 0 ไม่ผ่านการเร่ง	154988.625	124634.067
กลุ่มที่ 1 ที่ 200 ชั่วโมง	160524.137	153155.442
กลุ่มที่ 2 ที่ 400 ชั่วโมง	116510.889	123860.416
กลุ่มที่ 3 ที่ 600 ชั่วโมง	152381.659	162842.114
กลุ่มที่ 4 ที่ 800 ชั่วโมง	112507.405	108384.258
กลุ่มที่ 5 ที่ 1000 ชั่วโมง	211916.424	112819.531
เฉลี่ย	151471.523	130949.305



ภาพที่ 4. 13 เปรียบเทียบโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) เมื่อผ่านชั่วโมงเร่งการเสื่อมสภาพ ระหว่างชุดไม้เคลือบสารกับเคลือบสาร625

วิเคราะห์ค่าการทดสอบ โดยการคำนวณโมดูลัสยืดหยุ่นจากหน่วยแรงภายในขีดพิักัดยืดหยุ่น ชุดไม้เคลือบสาร มีช่วงค่าเฉลี่ยที่ 151471.523 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สูงกว่าชุดเคลือบสาร 625 คือ 130949.305 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จากมาตรฐานเอกสารกรมป่าไม้ ระบุว่า ไม้แดงมี โมดูลัสยืดหยุ่นที่ 153129 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ชุดทดสอบไม้เคลือบสารและเคลือบสาร625 จึงยังอยู่ในเกณฑ์ใกล้เคียงการใช้งานตามมาตรฐานกำหนด

4.5.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้

การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้ กลุ่มที่ 0														
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก														
วันที่ทดสอบ 18 กุมภาพันธ์ 2559														
เวลาทดสอบ 17:00 น.														
ผู้ทำการทดสอบ นิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์														
รายละเอียด		ไม้เคลือบ						เคลือบ 625						
		ชิ้นที่ 1		ชิ้นที่ 2		ชิ้นที่ 3		ชิ้นที่ 1		ชิ้นที่ 2		ชิ้นที่ 3		
1	แรงกด $P_{PL}$ (Kg)	Deflection, $\Delta$ (cm)	272.1489	0.4366	196.4922	0.4233	172.1100	0.4102	172.1100	0.4534	200.0779	0.4911	203.6635	0.4170
2	แรงกด $P_{max}$ (Kg)	Deflection, $\Delta$ (cm)	357.4868	0.6950	249.9181	0.8017	238.0855	0.6577	231.6314	0.6525	280.3959	0.9545	271.7904	0.7888
3	มิติของชิ้นไม้ทดสอบ	ความกว้าง, b (cm)	5.10		4.71		4.89		5.34		4.96		4.94	
		ความลึก, d (cm)	1.20		1.04		1.05		1.15		1.03		1.15	
4	ความยาว, L (cm)		20.00		20.00		20.00		20.00		20.00		20.00	
5	Flexural stress = $3P_{PL}L/(2bd^2)$ (ksc)		1111.719		1157.122		957.723		731.808		1140.681		935.216	
6	Modulus of rupture = $3P_{max}L/(2bd^2)$ (ksc)		1460.322		1471.741		1324.850		984.892		1598.589		1248.052	
7	Modulus of elasticity = $P_{PL}L^3/(48I\Delta)$ (ksc)		141473.871		175236.796		148255.208		93560.109		150338.881		130003.210	
8	Moment of inertia $I = (bd^3)/12$		0.7344		0.4415		0.4717		0.6762		0.4517		0.6261	
9	Strain		0.007858		0.006603		0.006460		0.007822		0.007587		0.007194	

การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้ กลุ่มที่ 1														
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันความเสี่ยงสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก														
วันที่ทดสอบ 18 กุมภาพันธ์ 2559														
เวลาทดสอบ 17:00 น.														
ผู้ทำการทดสอบ นิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์														
รายละเอียด		ไม่เคลื่อน						เคลื่อน 625						
		ชั้นที่ 1		ชั้นที่ 2		ชั้นที่ 3		ชั้นที่ 1		ชั้นที่ 2		ชั้นที่ 3		
1	แรงกด $P_{PL}$ (Kg)	Deflection, $\Delta$ (cm)	259.5992	0.5183	267.1291	0.3997	146.2935	0.4675	295.0969	0.5006	159.2017	0.3680	178.2056	0.4491
2	แรงกด $P_{max}$ (Kg)	Deflection, $\Delta$ (cm)	313.3836	0.7311	356.0526	0.6730	190.3967	0.6533	354.6183	0.6966	233.0656	0.5928	225.1773	0.6208
3	มิติของชิ้นไม้ทดสอบ	ความกว้าง,b (cm)	4.92	4.92	4.95	4.95	5.15	5.15	4.93	4.93	5.25	5.25	5.25	5.25
		ความลึก,d (cm)	1.01	1.01	1.11	1.11	1.12	1.12	1.05	1.05	1.12	1.12	1.05	1.05
4	ความยาว,L (cm)		20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
5	Flexural stress = $3P_{PL}L/(2bd^2)$ (ksc)		1551.732	1551.732	1313.988	1313.988	679.365	679.365	1644.396	1644.396	725.226	725.226	933.393	933.393
6	Modulus of rupture = $3P_{max}L/(2bd^2)$ (ksc)		1873.224	1873.224	1751.396	1751.396	884.173	884.173	1976.073	1976.073	1061.706	1061.706	1179.418	1179.418
7	Modulus of elasticity = $P_{PL}L^3/(48I\Delta)$ (ksc)		197623.498	197623.498	197449.708	197449.708	86499.205	86499.205	209549.350	209549.350	117314.942	117314.942	132602.035	132602.035
8	Moment of inertia $I=(bd^3)/12$		0.4224	0.4224	0.5641	0.5641	0.6029	0.6029	0.4688	0.4688	0.6147	0.6147	0.4988	0.4988
9	Strain		0.007852	0.007852	0.006655	0.006655	0.007854	0.007854	0.007847	0.007847	0.006182	0.006182	0.007039	0.007039



การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้ กลุ่มที่ 2																
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก																
วันที่ทดสอบ 4 มีนาคม 2559																
เวลาทดสอบ 14:00 น.																
ผู้ทำการทดสอบ นิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์																
รายละเอียด			ไม่เคลื่อน						เคลื่อน 625							
			ชั้นที่ 1		ชั้นที่ 2		ชั้นที่ 3		ชั้นที่ 1		ชั้นที่ 2		ชั้นที่ 3			
1	แรงกด $P_{PL}$	(Kg)	Deflection, $\Delta$	(cm)	183.5839	0.6373	302.8059	0.4978	207.9662	0.6259	199.1814	0.4950	156.1539	0.4370	212.2689	0.4598
2	แรงกด $P_{max}$	(Kg)	Deflection, $\Delta$	(cm)	237.7269	0.9752	371.8292	0.8361	252.2486	0.9589	251.8901	0.7344	201.8706	0.6450	232.1692	0.5292
3	มิติของชิ้นไม้ทดสอบ	ความกว้าง,b	(cm)	5.17	4.92	5.08					4.86		5.24		5.03	
		ความลึก,d	(cm)	1.09	1.18	1.05						1.15		1.03		1.10
4	ความยาว,L	(cm)		20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
5	Flexural stress = $3P_{PL}L/(2bd^2)$	(ksc)		896.628	1326.040	1113.965					929.690		842.691		1046.295	
6	Modulus of rupture = $3P_{max}L/(2bd^2)$	(ksc)		1161.064	1628.305	1351.163					1175.711		1089.403		1144.386	
7	Modulus of elasticity = $P_{PL}L^3/(48I\Delta)$	(ksc)		86044.038	150493.383	112995.246					108878.916		124803.690		137898.642	
8	Moment of inertia $I=(bd^3)/12$			0.5579	0.6736	0.4901					0.6160		0.4772		0.5579	
9	Strain			0.010421	0.008811	0.009859					0.008539		0.006752		0.007587	

การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้ กลุ่มที่ 3												
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันกาเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก												
วันที่ทดสอบ 18 กุมภาพันธ์ 2559												
เวลาทดสอบ 17:00 น.												
ผู้ทำการทดสอบ นิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์												
รายละเอียด			ไม้เคลือบ						เคลือบ 625			
			ชั้นที่ 1		ชั้นที่ 2		ชั้นที่ 3		ชั้นที่ 1		ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3
1	แรงกด $P_{PL}$	(Kg)	Deflection, $\Delta$	(cm)	218.3646	0.5241	244.1811	0.4620	224.4601	0.4473	185.7354	0.4344
2	แรงกด $P_{max}$	(Kg)	Deflection, $\Delta$	(cm)	257.0893	0.7031	301.9096	0.6442	270.3561	0.5783	230.9143	0.5827
3	มิติของชิ้นไม้ทดสอบ	ความกว้าง,b	(cm)	4.78								
		ความลึก,d	(cm)	1.06	4.95							
4	ความยาว,L	(cm)	20.00									
5	Flexural stress = $3P_{PL}L/(2bd^2)$	(ksc)	1231.319		1202.323		1482.377		851.386			
6	Modulus of rupture = $3P_{max}L/(2bd^2)$	(ksc)	1449.681		1486.572		1785.483		1058.480			
7	Modulus of elasticity = $P_{PL}L^3/(48I\Delta)$	(ksc)	148471.765		156291.553		207432.299		118251.929			
8	Moment of inertia $I=(bd^3)/12$		0.4677		0.5636		0.4032		0.6027			
9	Strain		0.008293		0.007693		0.007146		0.007200			

การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้ กลุ่มที่ 4															
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก															
วันที่ทดสอบ 4 มีนาคม 2559															
เวลาทดสอบ 14:00 น.															
ผู้ทำการทดสอบ นิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์															
รายละเอียด		ไม่เคลื่อน						เคลื่อน 625							
		ชั้นที่ 1		ชั้นที่ 2		ชั้นที่ 3		ชั้นที่ 1		ชั้นที่ 2		ชั้นที่ 3			
1	แรงกด $P_{PL}$ (Kg)	Deflection, $\Delta$ (cm)	208.6833	0.6191	182.5083	0.5033	201.6913	0.6716	200.4364	0.5020	281.8300	0.5723	240.9539	0.5234	
2	แรงกด $P_{max}$ (Kg)	Deflection, $\Delta$ (cm)	218.5438	0.6564	203.8427	0.6261	250.9937	0.8686	209.4004	0.5494	281.8300	0.5723	308.5429	0.7877	
3	มิติของชิ้นไม้ทดสอบ	ความกว้าง,b (cm)	5.13		5.10		5.21		4.86		5.20		4.98		
		ความลึก,d (cm)	1.10		1.03		1.02		1.13		1.22		1.20		
4	ความยาว,L (cm)	20.00		20.00		20.00		20.00		20.00		20.00		20.00	
5	Flexural stress = $3P_{PL}L/(2bd^2)$ (ksc)	1008.570		1011.950		1116.273		968.957		1092.410		1008.007		1008.007	
6	Modulus of rupture = $3P_{max}L/(2bd^2)$ (ksc)	1056.226		1130.243		1389.140		1012.292		1092.410		1290.758		1290.758	
7	Modulus of elasticity = $P_{PL}L^3/(48I\Delta)$ (ksc)	98738.784		130142.748		108640.682		113868.656		104298.340		106985.776		106985.776	
8	Moment of inertia $I=(bd^3)/12$	0.5690		0.4644		0.4607		0.5844		0.7869		0.7171		0.7171	
9	Strain	0.010215		0.007776		0.010275		0.008509		0.010474		0.009422		0.009422	

การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้ กลุ่มที่ 5														
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันความเสี่ยงสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก														
วันที่ทดสอบ 18 กุมภาพันธ์ 2559														
เวลาทดสอบ 17:00 น.														
ผู้ทำการทดสอบ นิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์														
รายละเอียด		ไม่เคลื่อน						เคลื่อน 625						
		ชั้นที่ 1		ชั้นที่ 2		ชั้นที่ 3		ชั้นที่ 1		ชั้นที่ 3		ชั้นที่ 5		
1	แรงกด $P_{PL}$ (Kg)	Deflection, $\Delta$ (cm)	236.6512	0.4320			284.6986	0.4183	155.9747	0.4241	134.4609	0.6314	229.4800	0.4784
2	แรงกด $P_{max}$ (Kg)	Deflection, $\Delta$ (cm)	302.9853	0.6588			368.6023	0.6242	200.7950	0.5875	134.4609	0.6314	288.2842	0.6747
3	มิติของชิ้นไม้ทดสอบ	ความกว้าง,b (cm)		4.71				5.36		5.27				4.81
		ความลึก,d (cm)		1.00				1.10		1.02				1.15
4	ความยาว,L (cm)			20.00				20.00		20.00				20.00
5	Flexural stress = $3P_{PL}L/(2bd^2)$ (ksc)			1508.934				1318.141		853.423				1083.371
6	Modulus of rupture = $3P_{max}L/(2bd^2)$ (ksc)			1931.894				1706.611		1098.660				1360.984
7	Modulus of elasticity = $P_{PL}L^3/(48I\Delta)$ (ksc)			232843.365				190989.482		131535.553				131269.162
8	Moment of inertia $I=(bd^3)/12$			0.3921				0.5940		0.4660				0.6090
9	Strain			0.006480				0.006902		0.006488				0.008253

## บทที่ 5

### การวิเคราะห์อุณหภูมิอาคารไม้

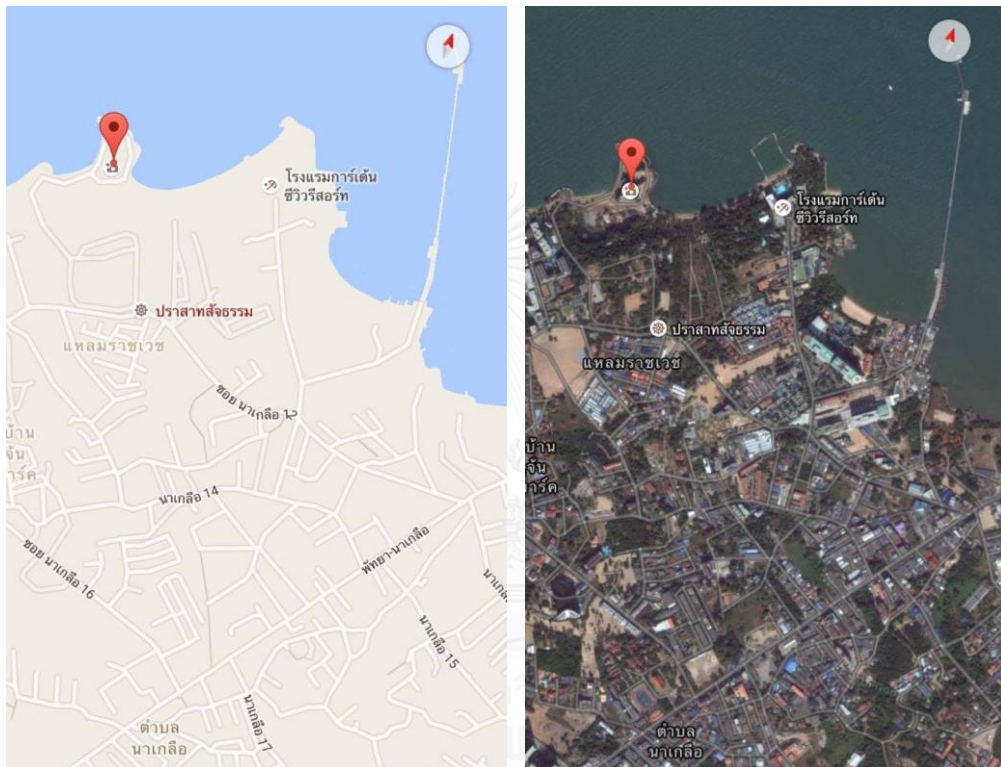
การวิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นการประมาณค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิแบบเบื้องต้น กำหนดคุณสมบัติเชิงความร้อนตั้งต้นของแบบจำลองด้วยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จากข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา ประกอบด้วย ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ความหนาแน่น (Density) และความจุความร้อน (Specific Heat) โดยจำลองอาคารไม้มีขนาดพื้นที่ 80x80 เมตร แบ่งเอลิเมนต์ละ 5 เมตร ให้ความร้อนทั้ง 4 ระบาย จากทิศตะวันออกสู่ทิศตะวันตก กำหนดเวลาในการวิเคราะห์ 43,200 วินาที สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทุกๆ 1800 วินาที รายละเอียดผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยแบบจำลอง[ภาคผนวก ข] แบ่งออกเป็นเรื่องดังนี้

1. สภาพพื้นที่และอาคารไม้ที่ทำการศึกษา
2. การสร้างแบบจำลองอย่างง่ายด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
3. วิเคราะห์ผลการเคลื่อนที่ของความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวอาคารไม้
  - 3.1. การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของความร้อนที่ผิวอาคารระนาบ A
  - 3.2. การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของความร้อนที่ผิวอาคารระนาบ C
  - 3.3. การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของความร้อนที่ผิวอาคารระนาบ B
  - 3.4. การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของความร้อนที่ผิวอาคารระนาบ D
4. แนวทางการบำรุงรักษาอาคารไม้

## 5.1 สภาพพื้นที่และอาคารไม้ที่ทำการศึกษา

### 5.1.1 ที่ตั้งอาคารไม้

อาคารไม้ “ปราสาทสังจรรยา” เริ่มก่อสร้าง วันที่ 13 สิงหาคม 2524 ตั้งอยู่แหลมราชเวช อ่าววงพระจันทร์ ตำบลนาเกลือ อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี ในเนื้อที่ประมาณ 80 ไร่ การเดินทาง สะดวกและเข้าถึงได้โดยถนนพญา-นาเกลือ ซอยนาเกลือ12 ดังภาพที่ 5.1



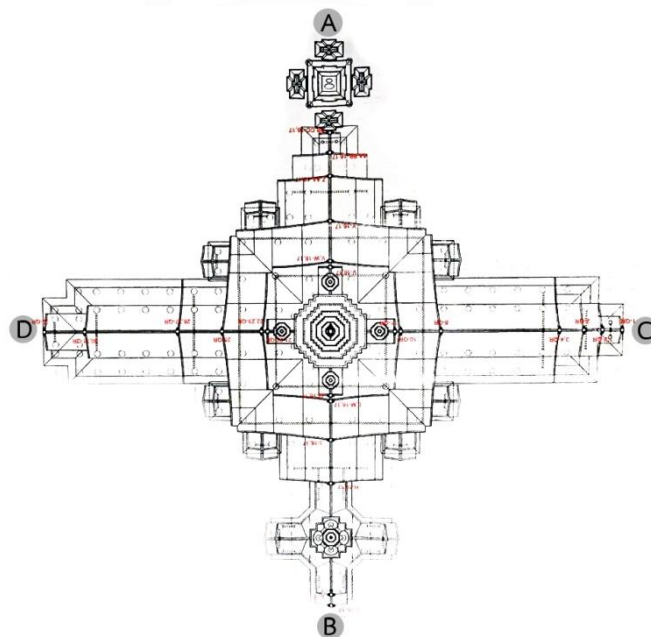
ภาพที่ 5. 1 แผนที่การขนส่งมวลชนและแผนที่ดาวเทียมโดยสังเขป

### 5.1.2 โครงสร้างและผังอาคาร

ตัวอาคารมีขนาดความสูง 105 เมตร กว้างยาวจากทิศเหนือจรดทิศใต้ 100 เมตร และทิศตะวันออกจรดทิศตะวันตก 100 เมตร พื้นที่ในอาคาร 2,115 ตารางเมตร อาคารตั้งอยู่ริมชายฝั่ง บริเวณแหลมส่วนที่ยื่นออกไปในทะเล อาคารด้าน C, B และ D จึงถูกล้อมรอบด้วยทะเลทั้ง 3 ด้าน สภาพแวดล้อมเช่นนี้ส่งผลให้อาคารไม้สะสมความชื้นสูง ดังภาพที่ 5.2 และ 5.3



ภาพที่ 5. 2 ผังอาคารบริเวณโดยรอบ



ภาพที่ 5. 3 โครงสร้าง รูปแบบอาคารไม้

### 5.1.3 รูปแบบทางสถาปัตยกรรม

ภายในปราสาทมีประติมากรรมไม้แกะสลักที่วิจิตรพิสดารอยู่แทบทุกจุด ชุ่มประติมากรรมไม้แกะสลัก ประติมากรรมใหญ่ทั้ง 4 ด้าน และที่ใจกลางปราสาท เป็นห้องโถงใหญ่มีบุษบกทรงสูงรูปไม้แกะสลักสง่างาม ห้องโถงและหน้าต่างเปิดให้กระแสลมและแสงแดดเข้าทั้ง 4 ด้าน ไม้ที่นำมาใช้ในการสร้างได้แก่ ไม้แดง ไม้ประดู่ ไม้ตะเคียน ไม้พันทาด ไม้เคี่ยมค่นอง และไม้สักทอง ล้วนเป็นไม้เนื้อแข็งที่สามารถรองรับน้ำหนักได้มาก เป็นไม้ที่ได้มาจากสัมปทานประเทศเพื่อนบ้าน การเข้าไม้ของปราสาทใช้การยึดต่อไม้แบบโบราณในการเข้าเดือยตอกสลัก เข้าลิ้ม เข้าหางเหยี่ยวโดยไม่มีการใช้ตะปู



ภาพที่ 5. 4 รูปแบบทางสถาปัตยกรรมภายในและภายนอก

#### ห้องโถงด้านทิศตะวันออก พ่อและแม่ (ความกตัญญูรู้คุณ)

สื่อถึงประติมากรรมแกะลอยตัวเป็นรูปพ่อแม่ ผู้ก่อกำเนิดให้ชีวิตด้วยความรักเมตตา ห่วงใย ต่อบุตรและธิดา ความรักของพ่อแม่ยิ่งใหญ่และใสสะอาดบริสุทธิ์ ดังนั้นความสัมพันธ์ของความเป็น มนุษย์ คือ ความมหัศจรรย์ของจิตวิญญาณ สามารถส่งสอนถ่ายทอด การเรียนรู้ที่จะมีชีวิตได้ด้วยการ มีความรัก ความเคารพ ความกตัญญูตอบแทนคุณต่อผู้มีอุปการะมากด้วยความดีความซื่อสัตย์ เพราะฉะนั้นความเป็นมนุษย์จึงแตกต่างจากสิ่งมีชีวิตอื่นๆ บนโลกนี้อย่างมากมาย[27]

#### ห้องโถงด้านทิศตะวันตก ฟ้า ดิน (ธาตุ 4)

ภาพจำหลักที่แสดงถึงเรื่องการก่อกำเนิดของโลกที่ประกอบขึ้นด้วยมหาภูตธาตุรูป หรือธาตุ 4 เริ่มแต่ปฐมกาล "ฟ้า (จักรวาล)" สื่อถึงธาตุลมและธาตุไฟในจักรวาล และ "ดิน" สื่อถึงธาตุน้ำและธาตุ ดิน เป็นสถานที่ที่เป็นแหล่งกำเนิดของทุกสรรพสิ่ง เรียกว่าสังขารโลก อันไม่เที่ยงเป็นทุกข์และไม่มี ตัวตนแน่นอน และยังเป็นสิ่งสมมติขึ้น





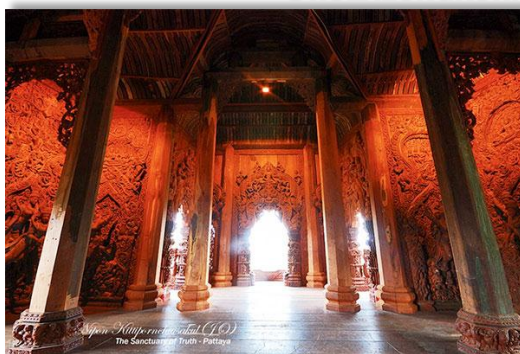
ภาพที่ 5. 5 ห้องโถงด้านทิศตะวันออกและตะวันตก

### ห้องโถงด้านทิศเหนือ การพัฒนาสังคมและจิตวิญญาณ

สื่อถึงประติมากรรมและจำหลักความเชื่อของลัทธิเต๋า-ขงจื้อ ที่แสดงถึงควมมีคุณธรรมสูงส่งของพระโพธิสัตว์ในลัทธิพุทธมหายานมนุษย์แม้ว่าจะมีชาติกำเนิดที่แตกต่างกัน แต่ถ้ามุ่งมั่นเป็นคนดีก็สามารถหลุดพ้นบ่วงกรรมโดยปลดปล่อยตัวจากสิ่งสมมติและกิเลส ตัณหา อุปทาน เรียนรู้การเสียสละการแบ่งปันกันด้วยความรักซึ่งกันและกัน

### ห้องโถงด้านทิศใต้ ดวงดาว-พระอาทิตย์-พระจันทร์

ภาพจำหลักแสดงถึงพระอาทิตย์ พระจันทร์ และประติมากรรมลอยตัวรูปเทพเจ้าประจำดาวพระเคราะห์ที่โคจรอยู่บนฟ้า ดวงดาวเหล่านี้มีอิทธิพลต่อสิ่งแวดล้อมและวิถีชีวิต ส่งผลต่อสรรพสิ่ง ทำให้เกิดการวิวัฒนาการและพฤติกรรมต่างๆ บนโลก



ภาพที่ 5. 6 ห้องโถงด้านทิศเหนือและทิศใต้

#### 5.1.4 สภาพภูมิอากาศ

จากข้อมูลสภาพภูมิอากาศรายปี ของสถานีพยากรณ์อุตุนิยมวิทยา พิกัดละติจูด 12.9200 องศาเหนือ ลองจิจูด 100.8694 องศาตะวันออก ซึ่งเป็นสถานีวัดสภาพภูมิอากาศใกล้เคียงกับที่ตั้งของอาคารไม้ที่ทำการศึกษามีอุณหภูมิช่วงกลางวันเฉลี่ย 32.6 องศาเซลเซียส และปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ราย 3 ชั่วโมงเฉลี่ย 73.2% [ภาคผนวก ข]



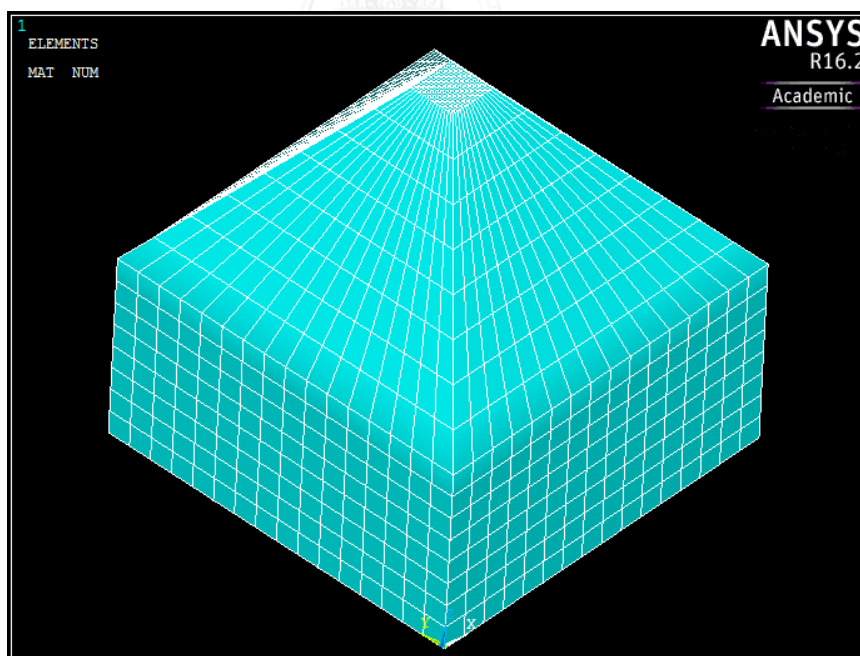
## 5.2 การสร้างแบบจำลองอย่างง่ายด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

### 5.2.1 ข้อมูลและตัวแปรสำคัญในการสร้างแบบจำลอง

ใช้ข้อมูลความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์ กำหนดใช้ตามข้อมูลสภาพอากาศของสถานีพญา คำนวณหาความชื้นของไม้ที่จุดสมดุล (Equilibrium Moisture Content, EMC) รวมถึงคุณสมบัติการนำความร้อน (Thermal Conductivity) ค่าความหนาแน่น (Density) และความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) เพื่อกำหนดเป็นคุณสมบัติเริ่มต้นในการสร้างแบบจำลองการกระจายตัวของอุณหภูมิ [ภาคผนวก ข]

### 5.2.2 ขนาดแบบจำลองและการแบ่งเอลิเมนต์

อาคารไม้ที่ทำการศึกษามีขนาด ความกว้าง 100 เมตร ความยาว 100 เมตร และสูง 105 เมตร ซึ่งนับเฉพาะตัวอาคารโดยตัดส่วนประดับตกแต่ง ทุ่นรูปปั้นแกะสลัก และยอดแหลม จะสามารถกำหนดขนาดแบบจำลองอาคารได้ที่ ความกว้าง 80 เมตร ความยาว 80 เมตร และสูง 75 เมตร แบ่งเอลิเมนต์ละ 5 เมตรในทุกๆด้าน ดังภาพที่ 5.7



ภาพที่ 5. 7 แบบจำลองการเคลื่อนที่อุณหภูมิที่ผิวอาคารไม้อย่างง่าย

### 5.2.3 เงื่อนไขการให้ความร้อน

ความร้อนที่ส่งเข้าสู่เอลิเมนต์ต่างๆในแบบจำลองตามช่วงเวลานั้น เป็นอุณหภูมิที่ตรวจวัดราย 3 ชั่วโมง จากสถานีพืษยา กรมอุตุนิยมวิทยา เงื่อนไขการให้ความร้อนดังนี้

ระนาบเอ (A) เริ่มให้ความร้อนเวลา 06:00-12:00 น.

ระนาบซี (C) เริ่มให้ความร้อนเวลา 09:00-15:00 น.

ระนาบบี (B) เริ่มให้ความร้อนเวลา 12:00-18:00 น.

ระนาบดี (D) เป็นผลกระทบจากการให้ความร้อนของระนาบเอ (A) และบี (B)

### 5.3 การเคลื่อนที่ของความร้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวอาคารไม้

แบบจำลองอุณหภูมิจะให้ความร้อน เรียงลำดับการส่งถ่ายความร้อนจากอุณหภูมิผิวอาคาร โดยอิงการโคจรของดวงอาทิตย์ จากทิศตะวันออกอ้อมใต้สู่ทิศตะวันตก เริ่มต้นทิศตะวันออกรังสีแผ่ลงสู่ระนาบ A ตั้งแต่เวลา 06:00-12:00 น. ดวงอาทิตย์โคจรอ้อมทางทิศใต้สู่ระนาบ C คาบเกี่ยวช่วงเวลารังสีตกกระทบอาคารไม้เวลา 09:00-15:00 น. เข้าสู่ระนาบ B ช่วงเวลา 12:00-18:00 น. ส่วนระนาบ D ช่วงเวลา 06:00-09:00 และ 15:00-18:00 น. จะได้รับผลกระทบจากพลังงานความร้อนเฉพาะส่วนขอบของอาคาร ให้ความร้อนตามเงื่อนไขหัวข้อ 5.2.3 จากข้อมูลสภาพภูมิอากาศราย 3 ชั่วโมง ผลการวิเคราะห์แบบจำลองการเคลื่อนที่ความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์[ภาคผนวก ค]

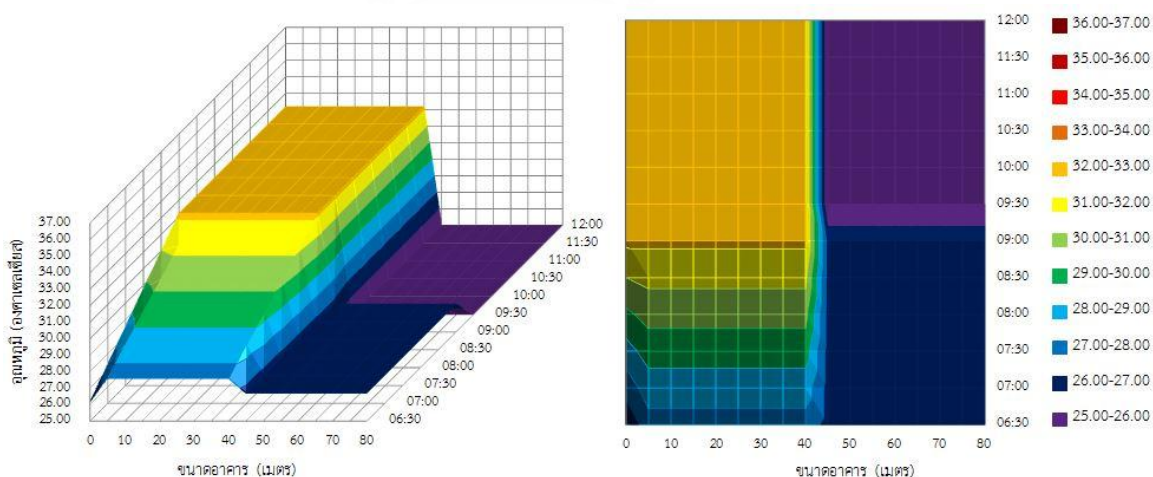
### 5.3.1 การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของความร้อนที่ผิวอาคารระนาบ A

ระนาบ A เลือกแสดงเฉพาะจุด(Node) ที่ผิวของอาคาร กำหนดแกน X [0-80], แกน Y [0-0], แกน Z [5] คือ แสดงการเคลื่อนที่ของความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวอาคารระนาบ A ตั้งแต่ 0 ถึง 80 เมตร ที่ความสูง 5 เมตร เนื่องจากให้ความร้อนเท่ากันแม้ระยะความสูงอาคารจะเปลี่ยนไป ให้ความร้อนช่วงเวลา 06:00-12:00 น. ลงในแบบจำลองที่เวลา 0-10800 วินาที และ 10800-21600 วินาที จากแบบจำลองให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากจุด(Node) ที่ 80 เมตร เวลา 06:30 น. ไปทางซ้ายเข้าหาจุด(Node) ที่ 0 เมตร

จำลองสภาพอากาศแยกเป็น 2 ช่วงเวลา

- ช่วงแรก 06:00-09:00 น. อุณหภูมิราย 3 ชั่วโมงเฉลี่ย 26.7 องศาเซลเซียส
- ช่วงหลัง 09:00-12:00 น. อุณหภูมิราย 3 ชั่วโมงเฉลี่ย 32.2 องศาเซลเซียส

ระนาบ A ได้รับผลกระทบการแผ่รังสีช่วงแรก (Node.80-Node.40) เวลา 06:00-09:00 น. สะสมความร้อนเนื่องจากดูดกลืนรังสีที่พลังงาน 18.2-265.5 วัตต์ต่อตารางเมตร ช่วงหลัง (Node.40-Node.0) เวลา 09:00-12:00 น. สะสมความร้อนจากการรับรังสีพลังงาน 423.6-594.3 วัตต์ต่อตารางเมตร เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อน ดังภาพที่ 5.8



ภาพที่ 5. 8 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาการเกิดความร้อนที่มีผลต่อพื้นที่ผิวอาคารระนาบ A แบบจำลองการเคลื่อนที่ของความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เวลา 06:00-12:00 น.

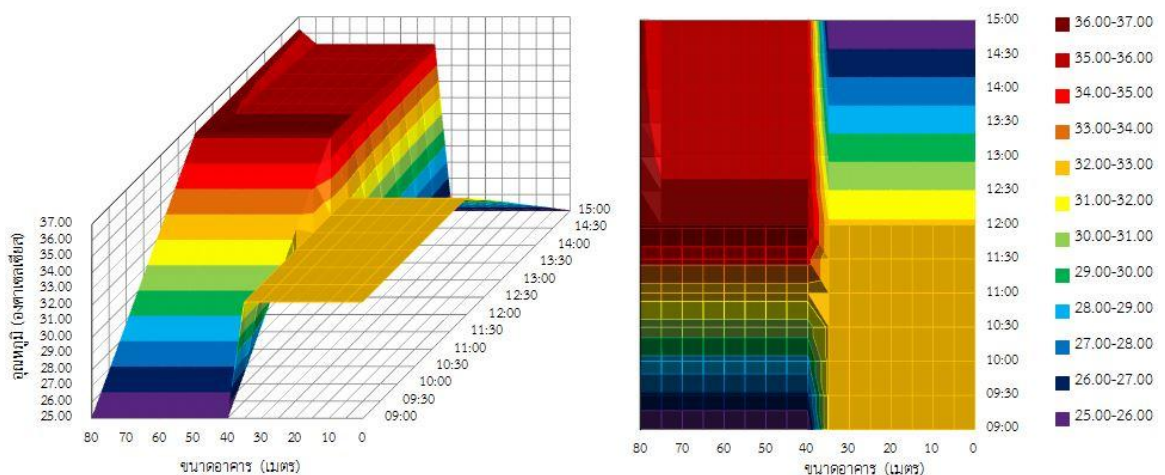
### 5.3.2 การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของความร้อนที่ผิวอาคารระนาบ C

ระนาบ C เลือกแสดงเฉพาะจุด(Node) ที่ผิวของอาคาร กำหนดแกน X [0-80], แกน Y [0-0], แกน Z [5] คือ แสดงการเคลื่อนที่ของความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวอาคารระนาบ C ตั้งแต่ 0 ถึง 80 เมตร ที่ความสูง 5 เมตร ให้ความร้อนช่วงเวลา 09:00-15:00 น. ลงในแบบจำลองที่เวลา 10800-21600 วินาที และ 21600-32400 วินาที จากแบบจำลองให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากจุด (Node) ที่ 0 เมตร เวลา 09:00 น. ไปทางซ้ายเข้าหาจุด(Node) ที่ 80 เมตร

จำลองสภาพอากาศแยกเป็น 2 ช่วงเวลา

- ช่วงแรก 09:00-12:00 น. อุณหภูมิราย 3 ชั่วโมงเฉลี่ย 32.2 องศาเซลเซียส
- ช่วงหลัง 12:00-15:00 น. อุณหภูมิราย 3 ชั่วโมงเฉลี่ย 36.2 องศาเซลเซียส

ระนาบ C ได้รับผลกระทบการแผ่รังสีช่วงแรก (Node.0-Node.40) เวลา 09:00-12:00 น. สะสมความร้อนเนื่องจากดูดกลืนรังสีที่พลังงาน 423.6-594.3 วัตต์ต่อตารางเมตร ช่วงหลัง (Node.40-Node.80) เวลา 12:00-15:00 น. สะสมความร้อนจากการรับรังสีพลังงาน 621.1-479.6 วัตต์ต่อตารางเมตร เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อน ดังภาพที่ 5.9



ภาพที่ 5. 9 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาการเกิดความร้อนที่มีผลต่อพื้นที่ผิวอาคารระนาบ C แบบจำลองการเคลื่อนที่ของความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เวลา 09:00-15:00 น.

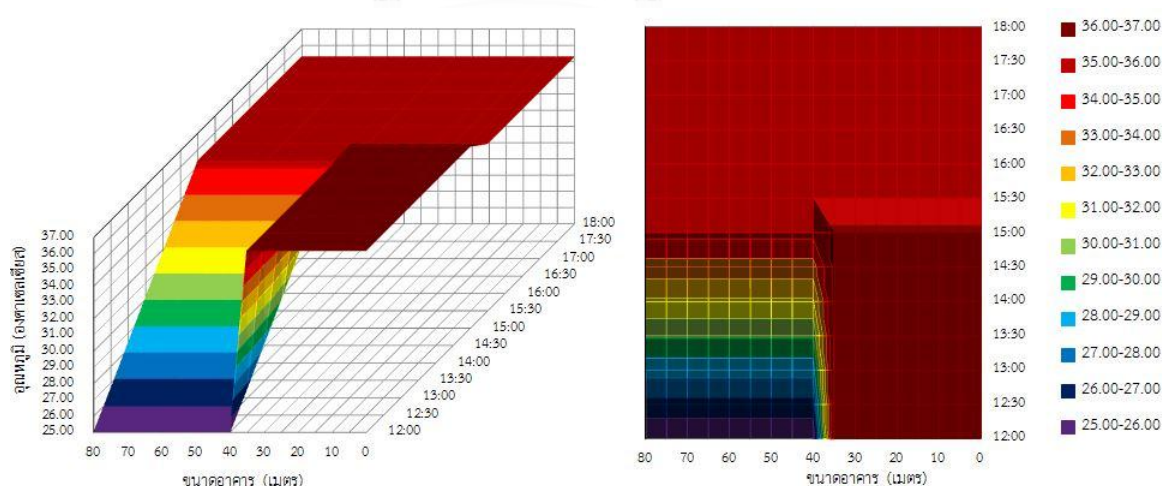
### 5.3.3 การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของความร้อนที่ผิวอาคารระนาบ B

ระนาบ B เลือกแสดงเฉพาะจุด(Node) ที่ผิวของอาคาร กำหนดแกน X [0-80], แกน Y [0-0], แกน Z [5] แสดงการเคลื่อนที่ของความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวอาคารระนาบ B ตั้งแต่ 0 ถึง 80 เมตร ที่ความสูง 5 เมตร ให้ความร้อนช่วงเวลา 12:00-18:00 น. ลงในแบบจำลองที่เวลา 21600-32400 วินาที และ 32400-43200 วินาที จากแบบจำลองให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากจุด(Node) ที่ 0 เมตร เวลา 12:00 น. ไปทางซ้ายเข้าหาจุด(Node) ที่ 80 เมตร

จำลองสภาพอากาศแยกเป็น 2 ช่วงเวลา

- ช่วงแรก 12:00-15:00 น. อุณหภูมิราย 3 ชั่วโมงเฉลี่ย 36.2 องศาเซลเซียส
- ช่วงหลัง 15:00-18:00 น. อุณหภูมิราย 3 ชั่วโมงเฉลี่ย 35.3 องศาเซลเซียส

ระนาบ B ได้รับผลกระทบการแผ่รังสีช่วงแรก (Node.0-Node.40) เวลา 12:00-15:00 น. สะสมความร้อนเนื่องจากดูดกลืนรังสีที่พลังงาน 621.1-479.6 วัตต์ต่อตารางเมตร ช่วงหลัง (Node.40-Node.80) เวลา 15:00-18:00 น. สะสมความร้อนจากการรับรังสีพลังงาน 327.7-50.1 วัตต์ต่อตารางเมตร เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อน ดังภาพที่ 5.10



ภาพที่ 5. 10 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาการเกิดความร้อนที่มีผลต่อพื้นที่ผิวอาคารระนาบ B แบบจำลองการเคลื่อนที่ของความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เวลา 12:00-18:00 น.

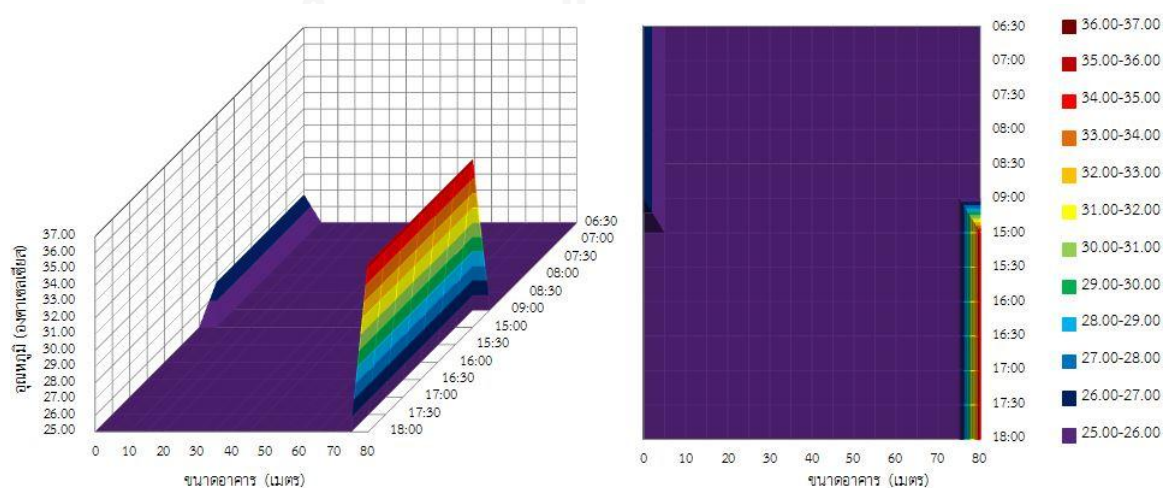
### 5.3.4 การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของความร้อนที่ผิวอาคารระนาบ D

ระนาบ D เลือกแสดงเฉพาะจุด(Node) ที่ผิวของอาคาร กำหนดแกน X [0-80], แกน Y [0-0], แกน Z [5] คือ แสดงการเคลื่อนที่ของความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวอาคารระนาบ D ตั้งแต่ 0 ถึง 80 เมตร ที่ความสูง 5 เมตร ที่เวลา 06:00-09:00 น. และ 15:00-18:00 น. ในแบบจำลองที่เวลา 0-10800 วินาที และ 32400-43200 วินาที เป็นผลกระทบของการส่งถ่ายความร้อนจุดต่อจุด(Node by Node) จากการให้ความร้อนระนาบ A และระนาบ B เพราะฉะนั้นระนาบ D จึงเกิดความร้อนเฉพาะขอบของแบบจำลองเท่านั้น

จำลองสภาพอากาศแยกเป็น 2 ช่วงเวลา

- ช่วงแรก 06:00-09:00 น. อุณหภูมิราย 3 ชั่วโมงเฉลี่ย 26.7 องศาเซลเซียส
- ช่วงหลัง 15:00-18:00 น. อุณหภูมิราย 3 ชั่วโมงเฉลี่ย 35.3 องศาเซลเซียส

ระนาบ D ได้รับผลกระทบจากการถ่ายเทความร้อนจากระนาบ A และการแผ่รังสีช่วงแรก (Node.0-Node.40) เวลา 06:00-09:00 น. สะสมความร้อนเนื่องจากดูดกลืนรังสีที่พลังงาน 18.0-423.6 วัตต์ต่อตารางเมตร ช่วงหลังได้รับผลกระทบจากการถ่ายเทความร้อนจากระนาบ B และการแผ่รังสี (Node.40-Node.80) เวลา 15:00-18:00 น. สะสมความร้อนจากการรับรังสีพลังงาน 327.7-50.1 วัตต์ต่อตารางเมตร เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อน ดังภาพที่ 5.11



ภาพที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาการเกิดความร้อนที่มีผลต่อพื้นที่ผิวอาคารระนาบ D แบบจำลองการเคลื่อนที่ของความร้อน เวลา 06:00-09:00 และ 15:00-18:00 น.



## 5.4 แนวทางการบำรุงรักษาอาคารไม้

การทดสอบขึ้นไม้โดยกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพของขึ้นทดสอบ ทั้งชุดไม้เคลือบสารและชุดเคลือบสาร625 จากผลการทดสอบทั้งคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลทำให้ทราบระยะเวลาการเสื่อมถอยของประสิทธิภาพการใช้งานของไม้ รวมถึงการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของความชื้นจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวอาคาร ความเข้มรังสีที่ส่งผลกระทบต่ออาคารในช่วงเวลากลางวันที่สัมพันธ์กับการสะสมอุณหภูมิเมื่อรังสีมีพลังงานสูง เนื่องจากอาคารไม้มีขนาดใหญ่ การบำรุงรักษาอาคารจึงอ้างอิงตามผลการศึกษาคัดสอบและการวิเคราะห์อุณหภูมิดังนี้

### 5.4.1 การคาดคะเนการเสื่อมถอยของอาคารจากผลการทดสอบทางกายภาพ

จากการสรุปข้อมูลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ การเปลี่ยนแปลงสี ปริมาณความชื้นคงเหลือ อัตราการดูดซึมน้ำ การหดขยายตัวเมื่อแช่น้ำ และกำลังต้านทานแรงดัด เมื่อผ่านการเร่งการเสื่อมสภาพ ที่ 600 ชั่วโมง ขึ้นทดสอบยังมีคุณสมบัติการใช้งานตามข้อกำหนดไม้เนื้อแข็ง ผ่านที่ 800 ชั่วโมง ขึ้นทดสอบเริ่มมีปริมาณความชื้น และอัตราการดูดซึมน้ำลดน้อยลง แสดงให้เห็นว่าเซลล์ในเนื้อไม้มีการเสื่อมสภาพลง ผ่านที่ 1000 ชั่วโมง การทดสอบทางกายภาพเริ่มมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ แต่ในส่วนของคุณสมบัติเชิงกลยังคงเป็นไปตามคุณสมบัติกำลังการรับแรง จากการทดสอบสรุปได้ว่าไม้เนื้อแข็งจะยังคงมีคุณสมบัติอยู่ในเกณฑ์กำหนดเมื่อผ่านการเร่งการเสื่อมสภาพ 4 ปี ด้วยเงื่อนไขการให้รังสีกลางแจ้ง ที่ตั้งอาคารและสภาพภูมิอากาศนี้ควรมีการบำรุงรักษาในระยะทุกๆ 3-5 ปี เพื่อให้อาคารไม้มีอายุการใช้งานได้ตามเกณฑ์ไม้เนื้อแข็ง UNIVERSITY

#### 5.4.2 การคาดคะเนการเสื่อมถอยของอาคารจากผลการวิเคราะห์ความร้อน

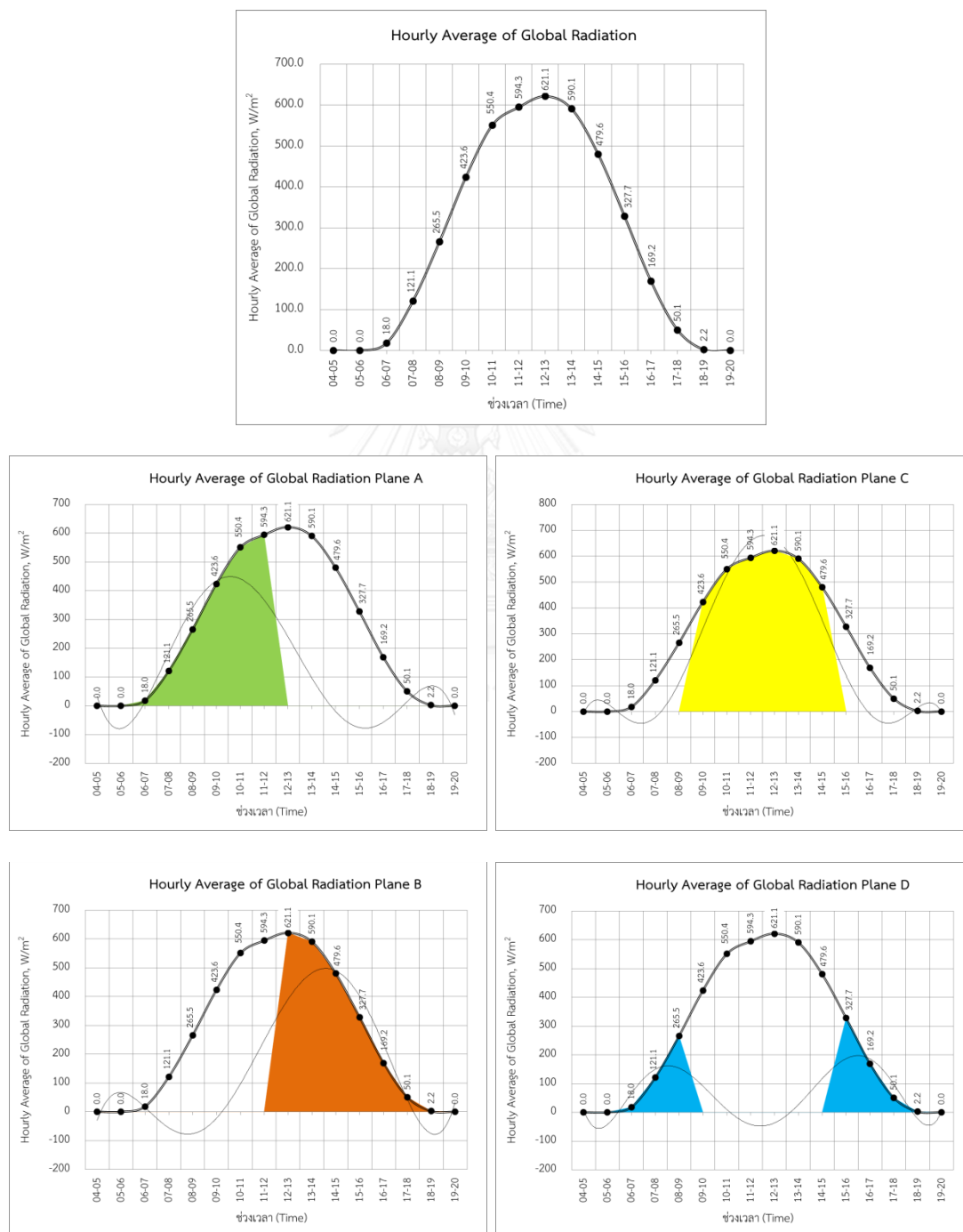
อุณหภูมิเกี่ยวข้องกับการแผ่รังสีและการดูดกลืนรังสี โดยวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าสิ่งแวดล้อม อัตราการแผ่รังสีจะมากกว่าอัตราการดูดกลืนรังสี วัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าสิ่งแวดล้อม อัตราการดูดกลืนรังสีจะมากกว่าอัตราการแผ่รังสี วัตถุที่มีอุณหภูมิเท่ากับสิ่งแวดล้อม อัตราการแผ่รังสีจะเท่ากับอัตราการดูดกลืนรังสี วัตถุจึงจะอยู่ในสมดุลความร้อน (Thermal Equilibrium) อาคารที่ทำจากวัสดุไม่มีความเป็นฉนวนและอุณหภูมิต่ำ จึงดูดกลืนรังสีจากสิ่งแวดล้อมจนถึงจุดสมดุลความร้อน

การทดสอบในงานวิจัยนี้ นำขึ้นทดสอบผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพโดยให้อุณหภูมิ ความชื้น และรังสีพลังงานสูง เจ็อนไซ UVB-313 ปริมาณรังสี 0.62 วัตต์ต่อตารางเมตรต่อนาโนเมตร ความยาวคลื่น 310 นาโนเมตร 192.2 วัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร ให้รังสีเป็นเวลา 20 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ปฏิกริยาควบแน่น 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาในการวิเคราะห์แบบจำลองคือ 06:00-18:00 น. เป็นช่วงที่มีรังสีที่ส่องตรงมายังโลกรวมถึงรังสีกระจาย ในท้องฟ้า การพิจารณาแบ่งออกเป็นราย 3 ชั่วโมง ตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิรอบอาคาร เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่มีความชื้น การสะสมอุณหภูมิสูงและปริมาณรังสีเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการเสื่อมประสิทธิภาพในการใช้งานของไม้ ความเข้มของพลังงานรังสีในช่วงเวลาที่มีผลกระทบต่ออาคาร แสดงดังตารางที่ 5.1 และ 5.2

ตารางที่ 5. 1 ปริมาณรังสีช่วงเวลาที่มิได้ผลกระทบต่ออาคาร

Station		Hourly Average of Global Radiation, W/m <sup>2</sup>												Country		Thailand			
Instrument		Bangkok ( Lat : 13 40' N, Long : 100 37' E, Elev. 60m )												Month Year		Jan-Dec		2014	
		Pyranometer (EKO MS-802)																	
Month/Time	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	Avg.		
JAN Global	0.0	0.0	4.3	94.1	253.6	423.0	608.7	687.4	711.8	653.8	506.2	326.5	153.6	28.7	0.0	0.0	0.0	715.9	
FEB Global	0.0	0.0	1.8	68.6	193.2	348.2	506.7	611.8	654.1	680.6	602.7	398.6	226.5	67.3	0.3	0.0	0.0	733.1	
MAR Global	0.0	0.0	7.5	103.8	239.5	404.9	575.5	658.0	716.4	716.8	617.2	426.5	230.4	67.4	2.8	0.0	0.0	763.2	
APR Global	0.1	0.0	17.7	121.7	256.0	421.1	594.4	684.5	761.3	723.5	621.6	432.2	229.4	74.4	4.9	0.1	0.1	784.5	
MAY Global	0.0	0.1	45.9	173.7	330.8	529.5	646.3	644.4	686.5	668.7	558.8	393.6	228.1	95.2	6.8	0.1	0.1	781.6	
JUN Global	0.0	0.0	34.8	143.3	280.6	403.1	482.0	547.4	557.2	528.0	457.1	346.4	206.8	76.0	4.5	0.4	0.4	667.9	
JUL Global	0.0	0.0	24.0	125.9	250.0	399.7	523.8	555.2	574.3	545.4	470.0	319.6	175.1	71.5	5.2	0.0	0.0	672.4	
AUG Global	0.0	0.1	16.5	106.3	256.1	393.6	498.0	526.2	571.4	569.2	398.2	286.7	157.4	53.7	1.5	0.0	0.0	689.8	
SEP Global	0.0	0.0	20.0	136.9	288.2	454.6	522.4	566.5	558.3	527.2	419.2	307.5	134.1	36.9	0.1	0.0	0.0	705.7	
OCT Global	0.0	0.0	22.0	148.3	305.5	468.9	523.8	515.0	479.1	452.8	344.3	201.4	92.2	12.5	0.0	0.0	0.0	665.3	
NOV Global	0.0	0.0	18.5	143.8	297.5	442.9	565.3	551.8	545.8	469.2	345.0	228.5	81.6	5.4	0.0	0.0	0.0	650.3	
DEC Global	0.0	0.0	3.0	86.4	234.4	393.5	558.2	582.9	637.1	546.6	415.5	264.8	114.6	12.3	0.0	0.0	0.0	652.6	
Avg.	0.0	0.0	18.0	121.1	265.5	423.6	550.4	594.3	621.1	590.1	479.6	327.7	169.2	50.1	2.2	0.0	0.0		
Avg. 3 hr			134.8			522.7			563.6			182.3							

ปริมาณรังสีในรอบ 1 ปี เริ่มช่วงเวลา พลังงานจะค่อยๆเพิ่มขึ้นจากช่วง 06:00-12:00 มีค่า 18.0-594.3 W/m<sup>2</sup> จะมีปริมาณความเข้มรังสีมากที่สุดอยู่ในช่วง 12:00-15:00 มีค่า 479.9-621.1 W/m<sup>2</sup> จากนั้นจึงค่อยๆลดลงตามช่วงเวลา ค่ามากที่สุดของปริมาณรังสีเฉลี่ยในรอบปีคือ 621.1 W/m<sup>2</sup> ช่วงเวลา 12:00-13:00 ดังภาพที่ 5.12



ภาพที่ 5. 12 ปริมาณรังสีช่วงเวลาที่มึผลกระทบต่อระนาบอาคารไม้เฉลี่ยรายชั่วโมง ในรอบ 1 ปี

ตารางที่ 5. 2 ช่วงเวลารังสีแสงสู่ระนาบต่างๆของอาคาร

Plane/Time	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20
Global	(วัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร, Wh/m <sup>2</sup> )															
Radiation Avg.	0.0	0.0	18.0	121.1	265.5	423.6	550.4	594.3	621.1	590.1	479.6	327.7	169.2	50.1	2.2	0.0
ระนาบเอ (A)			18.0	121.1	265.5	423.6	550.4	594.3								
อัตราเสื่อมสภาพ			0.09	0.63	1.38	2.20	2.86	3.09								
ระนาบซี (C)					423.6	550.4	594.3	590.1	621.1	590.1	479.6					
อัตราเสื่อมสภาพ					2.20	2.86	3.09	3.23	3.23	3.07	2.50					
ระนาบบี (B)									621.1	590.1	479.6	327.7	169.2	50.1		
อัตราเสื่อมสภาพ									3.23	3.07	2.50	1.70	0.88	0.26		
ระนาบดี (D)			18.0	121.1	265.5							327.7	169.2	50.1		
อัตราเสื่อมสภาพ			0.09	0.63	1.38							1.70	0.88	0.26		
ขึ้นทดสอบ UVB			192.2	192.2	192.2	192.2	192.2	192.2	192.2	192.2	192.2	192.2	192.2	192.2	192.2	192.2

การวิเคราะห์แบบจำลองอาคาร การเคลื่อนที่ของความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอาคารจริง กับขั้นตอนที่ผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพในเครื่องเร่งปฏิกิริยาจำลองสภาพอากาศ เงื่อนไข UVB-313 พบว่า การสะสมรังสีและความร้อน ณ เวลาต่างๆ เปรียบเทียบชุดทดสอบกับอาคารไม่จริงที่ระนาบ A C B D ชุดเคลือบสารป้องกันการเสื่อมสภาพ625 จะสามารถทนต่อปริมาณความชื้น อุณหภูมิ ความยาวนานแสงแดด ปริมาณรังสีได้ 0-800 ชั่วโมง ประมาณระยะเวลา 4 ปี ให้ระดับการเสื่อมสภาพและวิเคราะห์ผลจากตารางที่ 5.2 ได้ดังนี้

- ระดับ1 อัตราเสื่อมสภาพ 0-1 คือ มีการเสื่อมสภาพ 0-1 เท่าของขั้นตอน
  - ระดับ2 อัตราเสื่อมสภาพ 1-2 คือ มีการเสื่อมสภาพ 1-2 เท่าของขั้นตอน
  - ระดับ3 อัตราเสื่อมสภาพ 2-3 คือ มีการเสื่อมสภาพ 2-3 เท่าของขั้นตอน
  - ระดับ4 อัตราเสื่อมสภาพ 3-4 คือ มีการเสื่อมสภาพ 3-4 เท่าของขั้นตอน
1. ระนาบA พิจารณาเวลา 06:00-12:00 ค่าความยาวนานแสงแดดเฉลี่ย 3-4 ชั่วโมงต่อวัน สะสมปริมาณรังสี 18.0-594.3 วัดต่อตารางเมตรต่อวัน การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมง 26.7-32.2 องศาเซลเซียส การเสื่อมสภาพช่วงแรกที่ระดับ1 ช่วงหลังที่ระดับ2 และขอบของระนาบA อัตราการเสื่อมสภาพที่ระดับ3
  2. ระนาบC พิจารณาเวลา 09:00-15:00 ค่าความยาวนานแสงแดดเฉลี่ย 4 ชั่วโมงต่อวัน สะสมปริมาณรังสี 423.6-621.1 วัดต่อตารางเมตร การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมง 32.2-36.2 องศาเซลเซียส การเสื่อมสภาพช่วงแรกที่ระดับ3 ช่วงหลังที่ระดับ4
  3. ระนาบB พิจารณาเวลา 12:00-18:00 ค่าความยาวนานแสงแดดเฉลี่ย 4 ชั่วโมงต่อวัน สะสมปริมาณรังสี 50.1-621.1 วัดต่อตารางเมตร การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมง 35.3-36.2 องศาเซลเซียส การเสื่อมสภาพช่วงแรกที่ระดับ4 ช่วงหลังที่ระดับ2
  4. ระนาบD เวลาเกิดผลกระทบจากระนาบA เวลา 06:00-09:00 และจากระนาบB เวลา 15:00-18:00 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมง 24.3-31.0 องศาเซลเซียส ระนาบนี้ไม่ได้รับการสะสมปริมาณรังสี แต่เกิดการเสื่อมสภาพด้วยสภาพอากาศ อุณหภูมิ และความชื้นสูง เนื่องจากเป็นด้านติดทะเล คาดคะเนการเสื่อมสภาพที่ระดับ1

## บทที่ 6

### สรุปผลการวิจัย

#### 6.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก มุ่งหมายทางด้านค้นหาสาเหตุการเสื่อมสภาพของอาคาร โดยการทดสอบเร่งการเสื่อมสภาพให้กับชิ้นทดสอบด้วยการควบคุมรังสี อุณหภูมิ และความชื้น ตามมาตรฐาน ASTM G154[4] ศึกษาแนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพเพื่อยืดอายุการใช้งานของอาคารไม้ โดยใช้สารเคลือบชนิดนาโนที่คาดว่าจะรักษาและป้องกันการเสื่อมสภาพของเนื้อไม้ได้ระยะหนึ่ง แล้วนำตัวอย่างไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของความร้อนที่ผิวอาคารจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิด้วยวิธีไฟไนเอลิเมนต์ กำหนดคุณสมบัติการนำความร้อน ความหนาแน่น และความจุความร้อนจำเพาะของไม้ จากปริมาณความชื้น เป็นความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อคาดคะเนการเสื่อมสภาพของไม้และสารเคลือบ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงสีวัดค่าสีด้วยระบบ CIE Lab เป็นระบบการบรรยายสี 3 มิติ สีของเนื้อไม้กลุ่มไม้เคลือบสารและกลุ่มเคลือบสาร625 ผ่านการเร่งการเสื่อมสภาพที่ 200 ชั่วโมง โทนสีค่อนข้างไปทางแดงน้ำเงิน สีแดงของเนื้อไม้ยังคงอยู่ ผ่านเร่งการเสื่อมสภาพที่ 1000 ชั่วโมง แต่โทนสีค่อนข้างไปทางโทนเขียวน้ำเงิน เมื่อผสมสีตามระบบCIE แล้วแปลงค่าสีเป็น RGB สรุปได้ว่าการเร่งเสื่อมสภาพที่ 200 และ 1000 ชั่วโมง โดยไม่ผ่านกระบวนการชะล้าง ความสว่างลดลง 17.71%
2. ปริมาณความชื้นของไม้มีแนวโน้มลดลง 1-2% เมื่อผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพทุกๆ 200 ชั่วโมง ชุดไม้เคลือบสารเร่งการเสื่อมสภาพ 200 ชั่วโมง ความชื้นของผิวไม้ลดลงเหลือ 7.47% เกณฑ์การใช้งานได้ 0-400 ชั่วโมง ปริมาณความชื้นมีอัตราการลดลงจนกระทั่งคงสภาพที่ 6-7% เป็นช่วงความชื้นต่ำกว่าจุดใช้งานในเขตชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ส่วนชุดเคลือบสารเร่งการเสื่อมสภาพ 200 ชั่วโมง ความชื้นของผิวไม้ลดลงเหลือ 8.58% เกณฑ์การใช้งานได้ 0-600 ชั่วโมง ปริมาณความชื้นมีอัตราการลดลง

จนกระทั่งคงสภาพที่ 6-8% ช่วงความชื้นของไม้ที่ยอมรับได้ในการก่อสร้างเขตชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกคือ 7-15%

3. การดูดซึมน้ำเมื่อผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพที่ 200 ชั่วโมง สังเกตขึ้นทดสอบชุดไม้เคลือบสารกับชุดเคลือบสาร เนื้อเยื่อไม้บางส่วนเกิดการคายน้ำ เซลลูโลสที่เป็นส่วนของผนังเซลล์ และลิกนินที่อยู่ระหว่างเซลล์ต่อเซลล์ทำหน้าที่ประสานให้เซลลูโลสยึดติดกันเป็นเนื้อไม้ ถูกทำลายด้วยพลังงานความเข้มของรังสี ขึ้นทดสอบจึงมีอัตราการดูดซึมน้ำได้น้อยลง อัตราการดูดซึมน้ำของขึ้นทดสอบแปรผกผันกับชั่วโมงของการฉายรังสี มีแนวโน้มลดลง 2.5% เมื่อขึ้นทดสอบผ่านการฉายรังสีทุก 200 ชั่วโมง เนื่องจากเซลล์เนื้อเยื่อไม้ที่เกิดการเสื่อมสภาพจึงมีอัตราการดูดและคายน้ำได้น้อยลงตามไปด้วย ทั้งนี้ การทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำของไม้ ชุดที่ถูกเคลือบสารป้องกันการเสื่อมสภาพยังมีประสิทธิภาพและสามารถป้องกันการดูดซึมน้ำได้มากกว่าชุดไม้เคลือบสารในช่วง 0-800 ชั่วโมง
4. อัตราการขยายตัวของไม้ ชุดไม้เคลือบสาร ไม่ผ่านกระบวนการเร่งการเสื่อมสภาพ มีอัตราการขยายตัวเมื่อแช่น้ำน้อยกว่าชุดเคลือบสาร 2% อาจเป็นเพราะขึ้นทดสอบชุดนี้ เซลล์เนื้อเยื่อไม้ไม่ได้รับผลกระทบจากรังสี จึงยังสามารถดูดซึมน้ำและคายน้ำได้ดี เมื่อนำขึ้นทดสอบขึ้นจากน้ำแช่ให้แห้งแล้วทิ้งไว้ 5-10 นาที น้ำที่สะสมอยู่ภายในท่อและผนังเซลล์เกิดการคายน้ำได้โดยสะดวก อัตราการขยายตัวของขึ้นไม้จึงมีค่าค่อนข้างต่ำ ต่างจากชุดเคลือบสาร625 ด้วยการแช่น้ำในเวลาเท่ากัน แต่เนื่องจากการสารเคลือบป้องกันการเสื่อมสภาพนี้จะช่วยชะลอการคายน้ำของเนื้อไม้ได้ระดับหนึ่ง ขึ้นทดสอบชุดเคลือบสาร625 ยังมีน้ำอยู่เต็มท่อและผนังเซลล์อัตราการขยายตัวขณะวัดจึงมีค่าค่อนข้างสูง
5. กำลังต้านทานแรงดัดและโมดูลัสแตกหัก ชุดไม้เคลือบสาร มีช่วงค่าเฉลี่ยที่ 1174.23-1463.55 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สูงกว่าชุดเคลือบสาร625 คือ 1109.28-1239.45 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ เนื่องจากชุดไม้เคลือบสารมีอัตราการคายน้ำสูง จึงสูญเสียความชื้นภายในเซลล์เนื้อไม้ ทำให้ชุดไม้เคลือบสารมีความแข็งแรงสูงและกำลังต้านทานแรงดัดและโมดูลัสแตกหักจึงสูงตามไปด้วย ส่วนชุดเคลือบสาร625 ขึ้นทดสอบ



เมื่อผ่านกระบวนการเร่งการเชื่อมสภาพแล้วยังสามารถเก็บกักความชื้นไว้ในเนื้อไม้ได้ระดับหนึ่ง ทำให้ชุดทดสอบนี้มีกำลังต้านทานแรงดัดและโมดูลัสแตกหักลดน้อยลง

6. วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวอาคาร

อาคารระนาบA รับรังสีช่วง 06:00-12:00 น. การดูดกลืนรังสีและสะสมความร้อนของระนาบอยู่ในระดับปานกลาง ช่วง 09:00-15:00 น. รังสีแผ่ลงสู่อาคารระนาบC เริ่มมีพลังงานสูงในเวลาหลังเที่ยงเป็นต้นไป ระนาบC จึงดูดกลืนและสะสมความร้อนไว้ได้มาก ช่วง 12:00-18:00 น. ระนาบB เป็นด้านที่อยู่ติดชายฝั่งทะเล จึงดูดกลืนรังสีพลังงานสูงช่วงเวลาหลังเที่ยงและรังสีสะท้อนจากทิศทางที่ตั้งอาคาร เนื้อไม้โดนทำลายจากรังสีพลังงานสูง ทำให้เกิดการเชื่อมสภาพเร็วกว่าด้านอื่นๆ ส่วนระนาบD เป็นการเคลื่อนที่ของความร้อนจากผลกระทบของการแผ่รังสีจากระนาบข้างเคียง

7. การคาดคะเนการเชื่อมสภาพของอาคารไม้ขึ้นกับปัจจัยของสภาพแวดล้อม อาคารไม้ที่ทำการศึกษาดังอยู่ใกล้บริเวณชายฝั่งล้อมรอบด้วยทะเลทั้ง 3 ด้าน มีปริมาณความชื้นและอุณหภูมิสูง ถูกกระตุ้นปฏิกิริยาการเชื่อมสภาพด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต จึงทำให้อาคารไม้มีอัตราการเชื่อมสภาพเร็วกว่าอายุการใช้งานของไม้เนื้อแข็งโดยปกติ

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ไม้เป็นวัสดุทางธรรมชาติ เมื่อใช้งานจึงต้องคำนึงถึง ปริมาณความชื้นในเนื้อไม้ซึ่งส่งผลต่อกำลังการรับแรงของไม้ การดูดซึมและคายน้ำส่งผลต่อการหด ขยายตัวของไม้ ถ้าควบคุมปัจจัยเหล่านี้ได้ก็จะลดปัญหาการโก่งตัว การแตกหัก บิดงอ ป้องกันแมลง และไม้เอื้อต่อการเกิดเชื้อราในเนื้อไม้
2. แนวทางการบำรุงรักษาอาคารไม้ จากการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของความร้อนสะสมจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ พบว่า อาคารไม้กลางแจ้ง ระนาบC และระนาบB มีการสะสมความร้อนและผลกระทบจากรังสีค่อนข้างมาก จึงควรบำรุงรักษาในระยะ 3 ปี เช่น ทาสารเคลือบป้องกันการเสื่อมสภาพ ตรวจสอบความชื้นเพื่อป้องกันเชื้อรา ทาน้ำยากันแมลง ส่วนระนาบA และระนาบD ความร้อนสะสมอยู่ในเกณฑ์ต่ำถึงปานกลาง สามารถบำรุงรักษาได้ในระยะ 5 ปี การดูแลทุกปัจจัยทำให้อาคารไม้มีคุณสมบัติทนทานต่อสภาพแวดล้อมและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

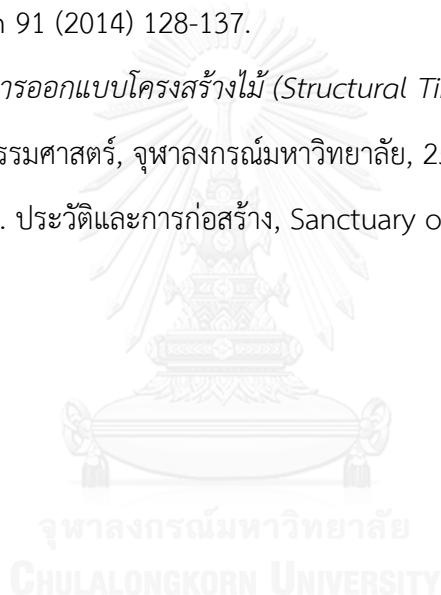
## รายการอ้างอิง


1. พงศ์ โสโน. *ผลิตผลป่าไม้*. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ, 3 (2530).
2. อำนวย คอวนิช. *การทำไม้*. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ, 3 (2530).
3. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.), 2532. *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นใยไม้อัดแข็ง*. มอก.180-2532.
4. American Society for Testing and Material (ASTM), ASTM G154-12a, *Standard Practice for Operating Fluorescent Ultraviolet Lamp Apparatus for Exposure of Nonmetallic Materials* 2006: West Conshohocken, United State.
5. American Society for Testing and Material (ASTM), ASTM G155, *Standard Practice for Operating Xenon Arc Light Apparatus for Exposure of Non-Metallic Materials* 2000: West Conshohocken, United State.
6. บางรักษ์ เชษฐสิงห์. *การใช้ประโยชน์ไม้ชั้นพื้นฐาน*. สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้, กรมป่าไม้, 2547.
7. *ข้อกำหนดเกี่ยวกับไม้ที่ใช้ในการก่อสร้างในส่วนราชการกรมป่าไม้*. กองวิจัยผลิตผลป่าไม้, กรมป่าไม้, 2517.
8. ปรมะขันธ์ ปัญญาเหล็ก. *การปรับปรุงคุณภาพไม้จันทน์โดยการอัดด้วยเมทิลเมทาคริเลตและโพลีเมอไรซ์ด้วยรังสีแกมมา*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2533.
9. วิรัช ชื่นวาริน. *สมบัติทางฟิสิกส์ของเนื้อไม้*. ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2533.
10. ชีระ วิณิน, ทรงกลด จารุสมบัติ. *ไม้ โครงสร้าง คุณสมบัติ*. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, [ออนไลน์], 2549.

แหล่งที่มา : <http://www.baannatura.com/th/mat/content/detail/116.html>

11. มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ.), 2551. *มาตรฐานการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของไม้ (Standard Test Methods for Specific Gravity of Wood)*. มยผ. 1227-51.
12. American Society for Testing and Material (ASTM), ASTM D2395, *Standard Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Based Materials*: West Conshohocken, United State.
13. มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ.), 2551. *มาตรฐานการทดสอบหาค่าความชื้นของไม้ (Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood)*. มยผ.1223-51.
14. American Society for Testing and Material (ASTM), ASTM D4442, *Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Based Materials*: West Conshohocken, United State.
15. สิทธิชัย แสงอาทิตย์. *ตารางคุณสมบัติของไม้ในประเทศไทย : การทดสอบวัสดุ*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, [ออนไลน์], 2552.
16. อนุรักษ์ ศรีวีระกุล. *การถ่ายโอนความร้อน*. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, [ออนไลน์], 2556.
17. สื่อการเรียนรู้. *ความร้อน*, บทเรียนฟิสิกส์. [ออนไลน์], แหล่งที่มา : [http://www.myfirstbrain.com/student\\_view.aspx?id=74869](http://www.myfirstbrain.com/student_view.aspx?id=74869)
18. William Simpson, Anton TenWolde. *Physical Properties and Moisture Relations of Wood*, Wood Handbook, Chapter3, 1999.
19. สุรียน ศิริธรรมปิติ. *ปัจจัยที่มีผลต่อการควบแน่นในโบราณสถาน : กรณีศึกษา พระอุโบสถวัดกำแพง*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
20. David W.Green, Jerrold E.Winandy, David E.Kretschmann. *Mechanical Properties of Wood*, Wood Handbook, Chapter4, 1999.
21. K.M Bhat, P.K Thulasidas, K.H Hussain. *A Handbook of Lesser Known Timbers*, Kerala Forest Research Institute, India, 2007.

22. Q-PANEL Lab Products. *QUV&Q-SUN Technical bulletin LU-8009*.
23. ชาวสวน กาญจน์น้อม. *อุปกรณ์วัดความเครียด*, Mechanical Engineering Lab1. [ออนไลน์], 2553.
24. มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ.), 2551. *มาตรฐานการทดสอบกำลังต้านทานแรงค้ำของไม้*. มยผ.1224-51.
25. Apisit K, Vichai R., et al, *Anti-fungal performance and mechanical-morphological properties of PVC and wood/PVC composites under YU-weathering aging and soil-burial exposure*. *International Biodeterioration & Biodegradation* 91 (2014) 128-137.
26. วินิต ช่อวิเชียร. *การออกแบบโครงสร้างไม้ (Structural Timber Design)*. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557.
27. ปราสาทสังขธรรม. *ประวัติและการก่อสร้าง, Sanctuary of Truth* [ออนไลน์] ,2558





ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้

1. ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไม้

1.1 ผลการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไม้กลุ่มที่ 1

ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไม้ กลุ่มที่ 1 เวลา 200 ชั่วโมง								
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก								
วันที่ทดสอบ		5 พฤศจิกายน 2558						
เวลาทดสอบ								
ผู้ทำการทดสอบ		ศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยา						
ชั่วโมง	ชั้นทดสอบ	L*	a*	b*	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E^*$
200 hrs.	1-1-N	53.29	15.13	25.78	-22.61	4.12	-6.79	23.96
	1-2-N	53.98	13.47	26.40	-22.63	5.94	-4.30	23.97
	1-3-N	45.76	15.07	25.49	-16.05	2.15	-7393.00	18.03
	1-4-N	45.55	15.24	25.48	-16.49	2.06	-8.80	18.80
	1-5-N	53.13	16.58	28.34	-21.29	4.28	-10.69	24.20
	1-6-N	49.03	13.17	24.15	-23.97	2.19	-9.29	25.80
	1-1-C	48.41	17.08	29.56	-15.25	2.41	-8.23	17.49
	1-2-C	50.23	13.92	30.25	-15.33	6.66	-5.96	17.74
	1-3-C	50.35	15.02	30.41	-14.25	6.24	-2.71	15.79
	1-4-C	49.27	15.46	28.55	-15.05	5.78	-4.69	16.79
	1-5-C	47.68	15.57	25.60	-15.02	4.75	-3.24	16.08
	1-6-C	46.18	14.72	29.30	-14.61	3.90	-7.43	16.84

## 1.2 ผลการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไม้กลุ่มที่ 3

ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไม้ กลุ่มที่ 3 เวลา 600 ชั่วโมง								
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก								
วันที่ทดสอบ		5 พฤศจิกายน 2558						
เวลาทดสอบ								
ผู้ทำการทดสอบ		ศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยา						
ชั่วโมง	ชั้นทดสอบ	L*	a*	b*	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E^*$
600 hrs.	4-1-N	50.80	14.94	25.41	-23.26	-0.93	-14.09	27.21
	4-2-N	50.58	16.15	26.61	-26.28	-3.73	-17.29	31.67
	4-3-N	57.07	11.55	29.21	-25.66	3.29	-13.50	29.18
	4-4-N	43.75	15.44	23.63	-17.81	-1.19	-13.93	22.64
	4-5-N	54.08	11.78	27.52	-23.78	3.71	-14.70	23.20
	4-6-N	46.78	11.82	20.85	-20.34	-1.35	-12.80	24.07
	4-1-C	37.49	12.65	16.99	-8.24	2.17	-2.66	8.92
	4-2-C	47.72	13.23	30.52	-16.79	3.28	-11.87	20.82
	4-3-C	51.01	13.78	29.78	-16.76	5.27	-7.26	19.00
	4-4-C	48.61	16.67	27.54	-15.10	0.43	-8.89	17.52
	4-5-C	49.09	14.23	32.70	-17.29	1.86	-13.95	22.29
	4-6-C	43.59	13.91	22.95	-13.88	1.27	-6.67	15.45



## 1.3 ผลการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไม้กลุ่มที่ 5

ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไม้ กลุ่มที่ 5 เวลา 1000 ชั่วโมง								
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก								
วันที่ทดสอบ		5 พฤศจิกายน 2558						
เวลาทดสอบ								
ผู้ทำการทดสอบ		ศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยา						
ชั่วโมง	ชั้นทดสอบ	L*	a*	b*	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E^*$
1000 hrs.	5-1-N	52.18	15.02	25.56	-19.68	-3.59	-15.54	25.33
	5-2-N	52.13	15.81	27.48	-20.36	-3.54	-17.35	26.98
	5-3-N	51.13	13.71	27.86	-24.03	-2.80	-18.06	30.19
	5-4-N	54.67	12.35	24.79	-22.50	2.42	-9.04	24.36
	5-5-N	52.37	14.42	26.09	-17.23	-2.20	-1.08	22.35
	5-6-N	47.52	16.37	28.85	-19.57	-5.02	-17.03	26.42
	5-1-C	50.28	13.59	29.15	-15.18	-2.72	-16.87	22.85
	5-2-C	44.42	14.06	25.21	-16.80	-2.81	-14.08	22.09
	5-3-C	43.48	19.07	29.27	-12.83	-4.95	-16.39	21.39
	5-4-C	47.00	13.11	24.36	-11.33	-2.84	-13.39	17.76
	5-5-C	48.85	16.79	27.56	-15.37	-5.27	-16.35	23.05
	5-6-C	45.21	16.32	26.94	-18.34	-6.45	-17.78	26.34

## 2. ปริมาณความชื้นที่ผิวไม้

### 2.1 การทดสอบหาปริมาณความชื้นของไม้ กลุ่มที่ 0 เวลา 0 ชั่วโมง

การทดสอบหาปริมาณความชื้นของไม้ กลุ่มที่ 0 เวลา 0 ชั่วโมง							
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก							
วันที่ทดสอบ	21 มกราคม 2559						
เวลาทดสอบ	17:00 น.						
ผู้ทำการทดสอบ	นิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์						
รายละเอียด		ชนิดสารเคลือบ					
		ไม้เคลือบ			เคลือบ 625		
		0hr-1N	0hr-2N	0hr-3N	0hr-1C	0hr-2C	0hr-3C
1	ปริมาณความชื้น ก่อนเร่งการเสื่อมสภาพ	12.90	13.80	13.78	14.63	16.00	14.60
	เฉลี่ย	13.49			15.08		
2	ปริมาณความชื้น ไม่ผ่านการเร่งเสื่อมสภาพ	8.94	9.62	10.27	10.85	12.48	11.13
	เฉลี่ย	9.61			11.49		
3	ปริมาณความชื้นเปลี่ยนแปลง	-3.96	-4.18	-3.51	-3.78	-3.52	-3.47
หมายเหตุ :							

### 2.2 การทดสอบหาปริมาณความชื้นของไม้ กลุ่มที่ 1 เวลา 200 ชั่วโมง

การทดสอบหาปริมาณความชื้นของไม้ กลุ่มที่ 1 เวลา 200 ชั่วโมง							
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก							
วันที่ทดสอบ	21 มกราคม 2559						
เวลาทดสอบ	17:00 น.						
ผู้ทำการทดสอบ	นิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์						
รายละเอียด		ชนิดสารเคลือบ					
		ไม้เคลือบ			เคลือบ 625		
		200hr-1N	200hr-2N	200hr-3N	200hr-1C	200hr-2C	200hr-3C
1	ปริมาณความชื้น ก่อนเร่งการเสื่อมสภาพ	11.75	13.98	13.40	14.13	17.03	16.48
	เฉลี่ย	13.04			15.88		
2	ปริมาณความชื้น หลังเร่งการเสื่อมสภาพ 200 ชั่วโมง	6.80	8.43	7.18	7.42	9.75	8.56
	เฉลี่ย	7.47			8.58		
3	ปริมาณความชื้นเปลี่ยนแปลง	-4.95	-5.55	-6.22	-6.71	-7.28	-7.92
หมายเหตุ :							

## 2.3 การทดสอบหาปริมาณความชื้นของไม้ กลุ่มที่ 2 เวลา 400 ชั่วโมง

การทดสอบหาปริมาณความชื้นของไม้ กลุ่มที่ 2 เวลา 400 ชั่วโมง							
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก							
วันที่ทดสอบ	7 มีนาคม 2559						
เวลาทดสอบ	16:00 น.						
ผู้ทำการทดสอบ	นิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์						
รายละเอียด		ชนิดสารเคลือบ					
		ไม้เคลือบ			เคลือบ 625		
		400hr-1N	400hr-2N	400hr-3N	400hr-1C	400hr-2C	400hr-3C
1	ปริมาณความชื้น ก่อนเร่งการเสื่อมสภาพ	11.93	12.05	11.85	12.73	14.53	16.05
	เฉลี่ย	11.94			14.44		
2	ปริมาณความชื้น หลังเร่งการเสื่อมสภาพ 400 ชั่วโมง	7.21	6.85	8.02	8.95	8.80	9.10
	เฉลี่ย	7.36			8.95		
3	ปริมาณความชื้นเปลี่ยนแปลง	-4.72	-5.20	-3.83	-3.78	-5.73	-6.95
หมายเหตุ :							

## 2.4 การทดสอบหาปริมาณความชื้นของไม้ กลุ่มที่ 3 เวลา 600 ชั่วโมง

การทดสอบหาปริมาณความชื้นของไม้ กลุ่มที่ 3 เวลา 600 ชั่วโมง							
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก							
วันที่ทดสอบ	7 มีนาคม 2559						
เวลาทดสอบ	16:00 น.						
ผู้ทำการทดสอบ	นิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์						
รายละเอียด		ชนิดสารเคลือบ					
		ไม้เคลือบ			เคลือบ 625		
		600hr-1N	600hr-2N	600hr-3N	600hr-1C	600hr-2C	600hr-3C
1	ปริมาณความชื้น ก่อนเร่งการเสื่อมสภาพ	11.30	12.18	-	12.25	15.15	-
	เฉลี่ย	11.74			13.70		
2	ปริมาณความชื้น หลังเร่งการเสื่อมสภาพ 600 ชั่วโมง	6.70	6.70	-	6.93	7.25	-
	เฉลี่ย	6.70			7.09		
3	ปริมาณความชื้นเปลี่ยนแปลง	-4.60	-5.48	-	-5.32	-7.90	-
หมายเหตุ :							

## 2.5 การทดสอบหาปริมาณความชื้นของไม้ กลุ่มที่ 4 เวลา 800 ชั่วโมง

การทดสอบหาปริมาณความชื้นของไม้ กลุ่มที่ 4 เวลา 800 ชั่วโมง							
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก							
วันที่ทดสอบ	7 มีนาคม 2559						
เวลาทดสอบ	16:00 น.						
ผู้ทำการทดสอบ	นิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์						
รายละเอียด	ชนิดสารเคลือบ						
	ไม้เคลือบ			เคลือบ 625			
	800hr-1N	800hr-2N	800hr-3N	800hr-1C	800hr-2C	800hr-3C	
1	ปริมาณความชื้น ก่อนเร่งการเสื่อมสภาพ	12.10	13.28	12.48	12.75	12.80	14.53
	เฉลี่ย	12.62			13.36		
2	ปริมาณความชื้น หลังเร่งการเสื่อมสภาพ 800 ชั่วโมง	6.88	6.75	6.05	6.82	6.33	6.70
	เฉลี่ย	6.56			6.62		
3	ปริมาณความชื้นเปลี่ยนแปลง	-5.22	-6.53	-6.43	-5.93	-6.47	-7.83
หมายเหตุ :							

## 2.6 การทดสอบหาปริมาณความชื้นของไม้ กลุ่มที่ 5 เวลา 1000 ชั่วโมง

การทดสอบหาปริมาณความชื้นของไม้ กลุ่มที่ 5 เวลา 1000 ชั่วโมง							
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก							
วันที่ทดสอบ	7 มีนาคม 2559						
เวลาทดสอบ	16:00 น.						
ผู้ทำการทดสอบ	นิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์						
รายละเอียด	ชนิดสารเคลือบ						
	ไม้เคลือบ			เคลือบ 625			
	1000hr-1N	1000hr-2N	1000hr-3N	1000hr-1C	1000hr-2C	1000hr-3C	
1	ปริมาณความชื้น ก่อนเร่งการเสื่อมสภาพ	11.63	-	12.93	14.73	13.98	15.50
	เฉลี่ย	12.28			14.74		
2	ปริมาณความชื้น หลังเร่งการเสื่อมสภาพ 1000 ชั่วโมง	6.53	-	7.18	7.35	6.38	6.40
	เฉลี่ย	6.86			6.71		
3	ปริมาณความชื้นเปลี่ยนแปลง	-5.10	-	-5.75	-7.38	-7.60	-9.10
หมายเหตุ :							

### 3. การดูดซับน้ำ การหดยายตัวเมื่อแช่น้ำ

#### 3.1 การทดสอบการดูดซึมน้ำและการหดยายตัวเมื่อแช่น้ำ กลุ่มที่ 0 เวลา 0 ชั่วโมง

การทดสอบการดูดซึมน้ำและการหดยายตัวเมื่อแช่น้ำ กลุ่มที่ 0 เวลา 0 ชั่วโมง								
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก								
วันที่ทดสอบ		22 มกราคม 2559						
เวลาทดสอบ		17:30 น.						
ผู้ทำการทดสอบ		นิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์						
รายละเอียด			ชนิดสารเคลือบ					
			ไม้เคลือบ			เคลือบ 625		
			0-4N	0-5N	0-6N	0-4C	0-5C	0-6C
1	ขนาดของชิ้นไม้ทดสอบ	ความยาว (มม.)	250.65	251.25	249.95	251.70	250.45	251.35
		ความกว้าง (มม.)	54.20	52.70	53.80	49.80	48.45	48.15
		ความหนา (มม.)	11.40	10.65	10.20	11.10	11.25	11.20
2	น้ำหนักของชิ้นไม้ทดสอบก่อนแช่น้ำ (A)	(กรัม)	109.04	122.89	104.69	135.56	119.46	114.69
3	น้ำหนักของชิ้นไม้ทดสอบหลังแช่น้ำ (B)	(กรัม)	146.02	164.39	143.15	160.93	152.49	159.85
4	การดูดซึมน้ำ (Absorption)	(ร้อยละ)	33.91	33.77	36.74	18.71	27.65	39.38
Absorption = $\{(B-A)/A\} * 100$								
5	ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ย	(ร้อยละ)	34.81			28.58		
6	ความหนาของชิ้นไม้ทดสอบก่อนแช่น้ำ (C)	(มม.)	11.40	10.65	10.20	11.10	11.25	11.20
7	ความหนาของชิ้นไม้ทดสอบหลังแช่น้ำ (D)	(มม.)	11.65	11.00	10.60	11.85	11.70	11.65
8	การพองตัวเมื่อแช่น้ำ (Swelling)	(ร้อยละ)	2.19	3.29	3.92	6.76	4.00	4.02
swelling = $\{(D-C)/C\} * 100$								
9	ค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำเฉลี่ย	(ร้อยละ)	3.13			4.92		
หมายเหตุ :		ชิ้นทดสอบ ไม่ผ่านกระบวนการเร่งเสื่อมสภาพ						

## 3.2 การทดสอบการดูดซึมน้ำและการหดยายตัวเมื่อแช่น้ำ กลุ่มที่ 1 เวลา 200 ชั่วโมง

การทดสอบการดูดซึมน้ำและการหดยายตัวเมื่อแช่น้ำ กลุ่มที่ 1 เวลา 200 ชั่วโมง								
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก								
วันที่ทดสอบ		22 มกราคม 2559						
เวลาทดสอบ		17:30 น.						
ผู้ทำการทดสอบ		นิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์						
รายละเอียด			ชนิดสารเคลือบ					
			ไม้เคลือบ			เคลือบ 625		
			200-4N	200-5N	200-6N	200-4C	200-5C	200-6C
1	ขนาดของชิ้นไม้ทดสอบ	ความยาว (มม.)	252.15	251.80	250.50	250.20	252.10	250.45
		ความกว้าง (มม.)	48.65	47.90	47.90	51.95	47.70	52.35
		ความหนา (มม.)	10.85	11.20	10.85	11.35	11.70	11.10
2	น้ำหนักของชิ้นไม้ทดสอบก่อนแช่น้ำ (A)	(กรัม)	116.19	114.24	110.18	127.31	123.00	117.61
3	น้ำหนักของชิ้นไม้ทดสอบหลังแช่น้ำ (B)	(กรัม)	155.46	152.43	143.83	168.83	160.51	153.36
4	การดูดซึมน้ำ (Absorption)	(ร้อยละ)	33.80	33.43	30.54	32.61	30.50	30.40
Absorption = $\{(B-A)/A\} * 100$								
5	ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ย	(ร้อยละ)	32.59			31.17		
6	ความหนาของชิ้นไม้ทดสอบก่อนแช่น้ำ (C)	(มม.)	10.85	11.20	10.85	11.35	11.70	11.10
7	ความหนาของชิ้นไม้ทดสอบหลังแช่น้ำ (D)	(มม.)	11.00	11.35	11.30	12.00	12.15	11.70
8	การพองตัวเมื่อแช่น้ำ (Swelling)	(ร้อยละ)	1.38	1.34	4.15	5.73	3.85	5.41
swelling = $\{(D-C)/C\} * 100$								
9	ค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำเฉลี่ย	(ร้อยละ)	2.29			4.99		
หมายเหตุ :		ชิ้นทดสอบ เมื่อผ่านกระบวนการเร่งเสื่อมสภาพ จำนวน 200 ชั่วโมง						

### 3.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำและการหดยายตัวเมื่อแช่น้ำ กลุ่มที่ 2 เวลา 400 ชั่วโมง

การทดสอบการดูดซึมน้ำและการหดยายตัวเมื่อแช่น้ำ กลุ่มที่ 2 เวลา 400 ชั่วโมง								
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก								
วันที่ทดสอบ		8 มีนาคม 2559						
เวลาทดสอบ		16:00 น.						
ผู้ทำการทดสอบ		นิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์						
รายละเอียด			ชนิดสารเคลือบ					
			ไม้เคลือบ			เคลือบ 625		
			400-4N	400-5N	400-6N	400-4C	400-5C	400-6C
1	ขนาดของชิ้นไม้ทดสอบ	ความยาว (มม.)	249.40	251.85	251.20	249.45	250.40	251.20
		ความกว้าง (มม.)	52.00	49.95	49.80	48.45	48.75	52.00
		ความหนา (มม.)	10.70	11.15	11.60	10.45	11.10	10.85
2	น้ำหนักของชิ้นไม้ทดสอบก่อนแช่น้ำ (A)	(กรัม)	117.27	111.61	115.05	115.80	100.15	106.01
3	น้ำหนักของชิ้นไม้ทดสอบหลังแช่น้ำ (B)	(กรัม)	144.26	142.53	152.44	146.53	122.74	132.42
4	การดูดซึมน้ำ (Absorption)	(ร้อยละ)	23.02	27.70	32.50	26.54	22.56	24.91
	Absorption = $\{(B-A)/A\} * 100$							
5	ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ย	(ร้อยละ)	27.74			24.67		
6	ความหนาของชิ้นไม้ทดสอบก่อนแช่น้ำ (C)	(มม.)	10.70	11.15	11.60	10.45	11.10	10.85
7	ความหนาของชิ้นไม้ทดสอบหลังแช่น้ำ (D)	(มม.)	10.95	11.40	11.85	11.00	11.60	11.20
8	การพองตัวเมื่อแช่น้ำ (Swelling)	(ร้อยละ)	2.34	2.24	2.16	5.26	4.50	3.23
	swelling = $\{(D-C)/C\} * 100$							
9	ค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำเฉลี่ย	(ร้อยละ)	2.24			4.33		
หมายเหตุ :		ชิ้นทดสอบ เมื่อผ่านกระบวนการเร่งเสื่อมสภาพ จำนวน 400 ชั่วโมง						

## 3.4 การทดสอบการดูดซึมน้ำและการหดยายตัวเมื่อแช่น้ำ กลุ่มที่ 3 เวลา 600 ชั่วโมง

การทดสอบการดูดซึมน้ำและการหดยายตัวเมื่อแช่น้ำ กลุ่มที่ 3 เวลา 600 ชั่วโมง								
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก								
วันที่ทดสอบ		8 มีนาคม 2559						
เวลาทดสอบ		16:00 น.						
ผู้ทำการทดสอบ		นิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์						
รายละเอียด			ชนิดสารเคลือบ					
			ไม้เคลือบ			เคลือบ 625		
			600-4N	600-5N	600-6N	600-4C	600-5C	600-6C
1	ขนาดของชิ้นไม้ทดสอบ	ความยาว (มม.)	250.15	250.00	250.25	254.70	249.40	250.80
		ความกว้าง (มม.)	52.40	51.95	49.65	49.50	53.00	49.00
		ความหนา (มม.)	11.40	11.10	11.70	10.30	10.60	11.40
2	น้ำหนักของชิ้นไม้ทดสอบก่อนแช่น้ำ (A)	(กรัม)	118.32	99.51	102.75	104.57	100.18	106.92
3	น้ำหนักของชิ้นไม้ทดสอบหลังแช่น้ำ (B)	(กรัม)	145.12	132.89	121.32	124.59	127.45	130.28
4	การดูดซึมน้ำ (Absorption)	(ร้อยละ)	22.65	33.54	18.07	19.15	27.22	21.85
	Absorption = $\{(B-A)/A\} * 100$							
5	ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ย	(ร้อยละ)	24.76			22.74		
6	ความหนาของชิ้นไม้ทดสอบก่อนแช่น้ำ (C)	(มม.)	11.40	11.10	11.70	10.30	10.60	11.40
7	ความหนาของชิ้นไม้ทดสอบหลังแช่น้ำ (D)	(มม.)	11.50	11.30	12.00	10.75	11.10	11.65
8	การพองตัวเมื่อแช่น้ำ (Swelling)	(ร้อยละ)	0.88	1.80	2.56	4.37	4.72	2.19
	swelling = $\{(D-C)/C\} * 100$							
9	ค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำเฉลี่ย	(ร้อยละ)	1.75			3.76		
หมายเหตุ :		ชิ้นทดสอบ เมื่อผ่านกระบวนการเร่งเสื่อมสภาพ จำนวน 600 ชั่วโมง						



## 3.5 การทดสอบการดูดซึมน้ำและการหดยายตัวเมื่อแช่น้ำ กลุ่มที่ 4 เวลา 800 ชั่วโมง

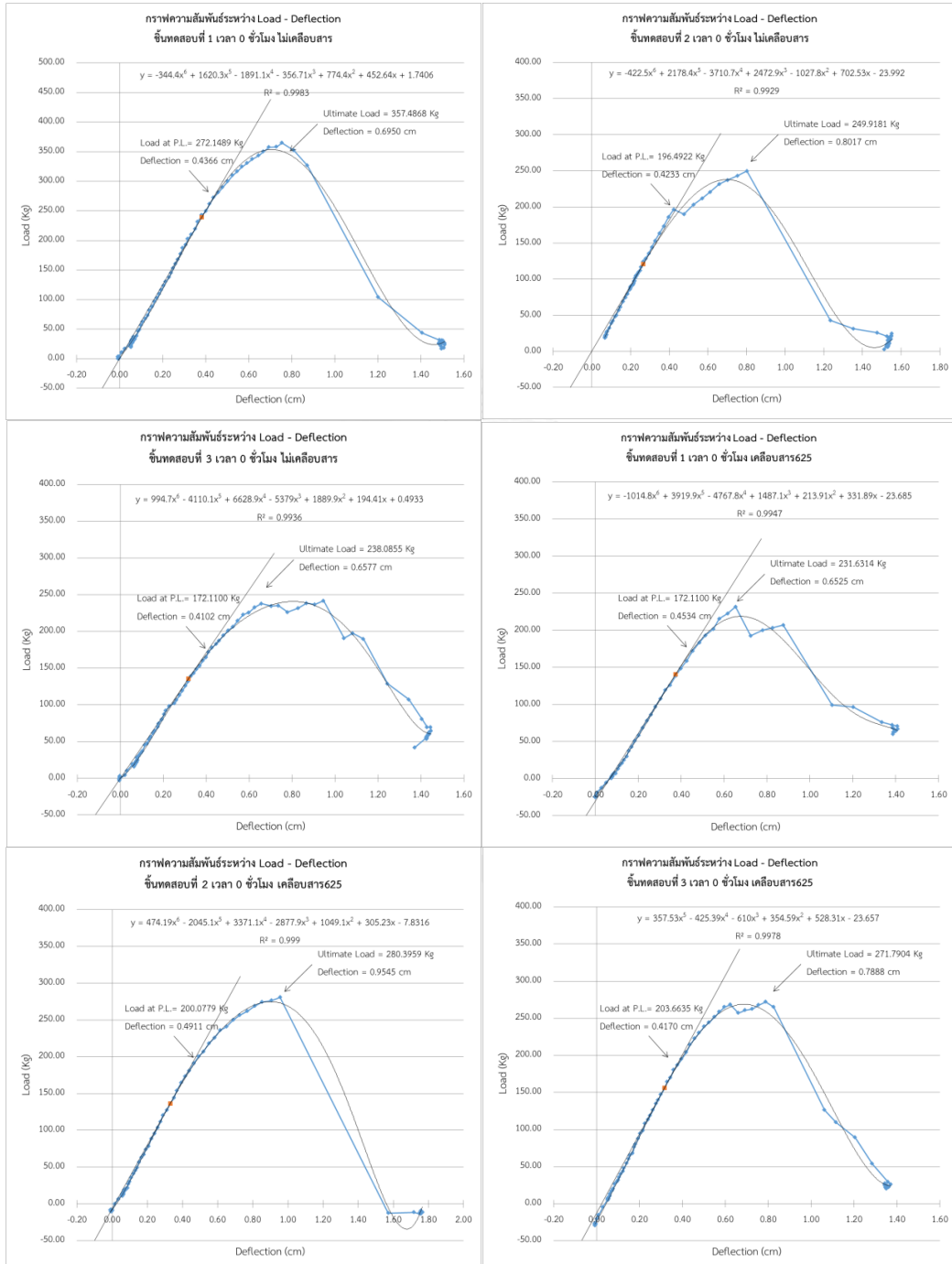
การทดสอบการดูดซึมน้ำและการหดยายตัวเมื่อแช่น้ำ กลุ่มที่ 4 เวลา 800 ชั่วโมง								
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก								
วันที่ทดสอบ		8 มีนาคม 2559						
เวลาทดสอบ		16:00 น.						
ผู้ทำการทดสอบ		นิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์						
รายละเอียด			ชนิดสารเคลือบ					
			ไม้เคลือบ			เคลือบ 625		
			800-4N	800-5N	800-6N	800-4C	800-5C	800-6C
1	ขนาดของชิ้นไม้ทดสอบ	ความยาว (มม.)	250.15	250.70	250.95	251.05	250.95	251.10
		ความกว้าง (มม.)	52.65	48.80	52.80	51.75	48.80	51.85
		ความหนา (มม.)	11.15	11.05	11.55	10.85	10.75	10.05
2	น้ำหนักของชิ้นไม้ทดสอบก่อนแช่น้ำ (A)	(กรัม)	126.00	114.34	101.61	101.27	117.34	98.50
3	น้ำหนักของชิ้นไม้ทดสอบหลังแช่น้ำ (B)	(กรัม)	148.86	139.45	131.20	121.67	137.42	119.28
4	การดูดซึมน้ำ (Absorption)	(ร้อยละ)	18.14	21.96	29.12	20.14	17.11	21.10
	Absorption = $\{(B-A)/A\} * 100$							
5	ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ย	(ร้อยละ)	23.07			19.45		
6	ความหนาของชิ้นไม้ทดสอบก่อนแช่น้ำ (C)	(มม.)	11.15	11.05	11.55	10.85	10.75	10.05
7	ความหนาของชิ้นไม้ทดสอบหลังแช่น้ำ (D)	(มม.)	-	11.30	11.70	11.20	11.10	10.50
8	การพองตัวเมื่อแช่น้ำ (Swelling)	(ร้อยละ)	-	2.26	1.30	3.23	3.26	4.48
	swelling = $\{(D-C)/C\} * 100$							
9	ค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำเฉลี่ย	(ร้อยละ)	1.78			3.65		
หมายเหตุ :		ชิ้นทดสอบ เมื่อผ่านกระบวนการเร่งเสื่อมสภาพ จำนวน 800 ชั่วโมง						

### 3.6 การทดสอบการดูดซึมน้ำและการหดยายตัวเมื่อแช่น้ำ กลุ่มที่ 5 เวลา 1000 ชั่วโมง

การทดสอบการดูดซึมน้ำและการหดยายตัวเมื่อแช่น้ำ กลุ่มที่ 5 เวลา 1000 ชั่วโมง								
โครงการวิจัย แนวทางป้องกันการเสื่อมสภาพของอาคารไม้บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก								
วันที่ทดสอบ		8 มีนาคม 2559						
เวลาทดสอบ		16:00 น.						
ผู้ทำการทดสอบ		นิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์						
รายละเอียด			ชนิดสารเคลือบ					
			ไม้เคลือบ			เคลือบ 625		
			1000-4N	1000-5N	1000-6N	1000-4C	1000-5C	1000-6C
1	ขนาดของชิ้นไม้ทดสอบ	ความยาว (มม.)	250.70	251.30	249.70	250.65	252.60	250.95
		ความกว้าง (มม.)	52.70	47.55	53.30	52.50	48.05	49.00
		ความหนา (มม.)	10.50	10.20	10.25	10.80	11.50	11.70
2	น้ำหนักของชิ้นไม้ทดสอบก่อนแช่น้ำ (A)	(กรัม)	128.74	101.07	98.95	106.24	-	112.22
3	น้ำหนักของชิ้นไม้ทดสอบหลังแช่น้ำ (B)	(กรัม)	151.23	123.47	119.45	128.92	-	134.56
4	การดูดซึมน้ำ (Absorption)	(ร้อยละ)	17.47	22.16	20.72	21.35	-	19.91
	Absorption = $\{(B-A)/A\} * 100$							
5	ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ย	(ร้อยละ)	20.12			20.63		
6	ความหนาของชิ้นไม้ทดสอบก่อนแช่น้ำ (C)	(มม.)	10.50	10.20	10.25	10.80	11.50	11.70
7	ความหนาของชิ้นไม้ทดสอบหลังแช่น้ำ (D)	(มม.)	10.80	10.20	10.50	11.30	-	11.75
8	การพองตัวเมื่อแช่น้ำ (Swelling)	(ร้อยละ)	2.86	0.00	2.44	4.63	-	0.43
	swelling = $\{(D-C)/C\} * 100$							
9	ค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำเฉลี่ย	(ร้อยละ)	1.77			2.53		
หมายเหตุ :		ชิ้นทดสอบ เมื่อผ่านกระบวนการเร่งเสื่อมสภาพ จำนวน 1000 ชั่วโมง						

#### 4. กำลังต้านทานแรงดัดของไม้

##### 4.1 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดกลุ่มที่ 0



กราฟความสัมพันธ์ Load-Deflection  
 ชิ้นทดสอบที่ 1-6 จำนวน 0 ชั่วโมง ไม่เคลือบสารและเคลือบสาร625

### 4.2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดกลุ่มที่ 1



กราฟความสัมพันธ์ Load-Deflection

ชั้นทดสอบที่ 1-6 จำนวน 200 ชั่วโมง ไม่เคลือบสารและเคลือบสาร625

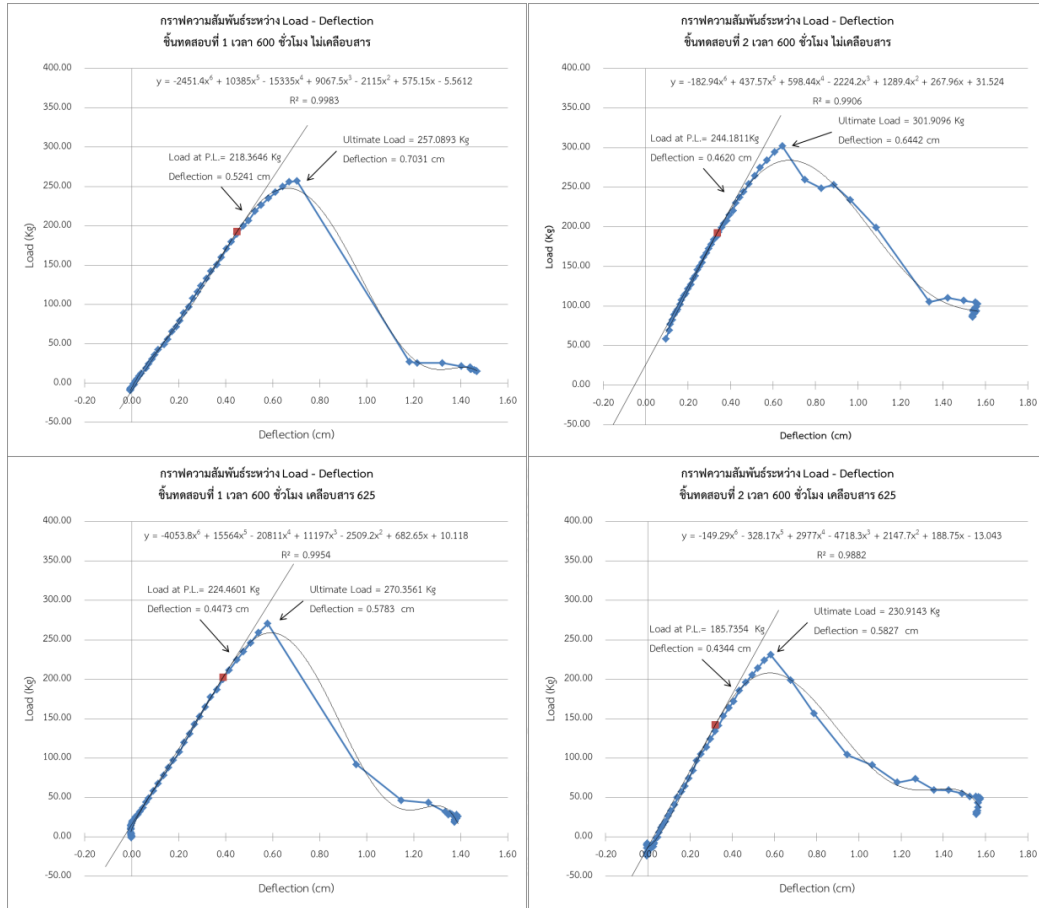
### 4.3 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดกลุ่มที่ 2



กราฟความสัมพันธ์ Load-Deflection

ขั้นตอนทดสอบที่ 1-6 จำนวน 400 ชั่วโมง ไม่เคลือบสารและเคลือบสาร625

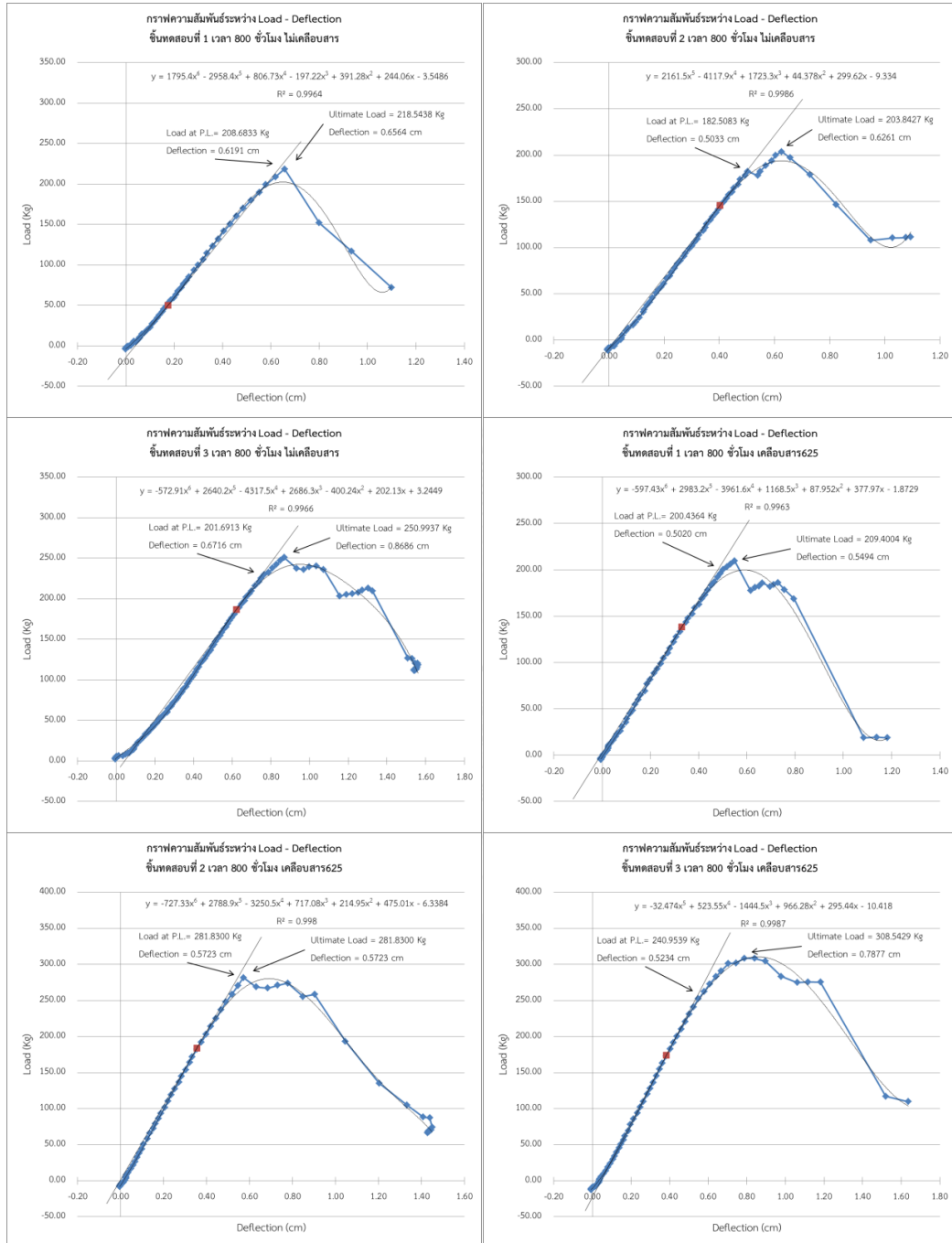
#### 4.4 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดกลุ่มที่ 3



กราฟความสัมพันธ์ Load-Deflection

ชั้นทดสอบที่ 1-4 จำนวน 600 ชั่วโมง ไม่เคลือบสารและเคลือบสาร 625

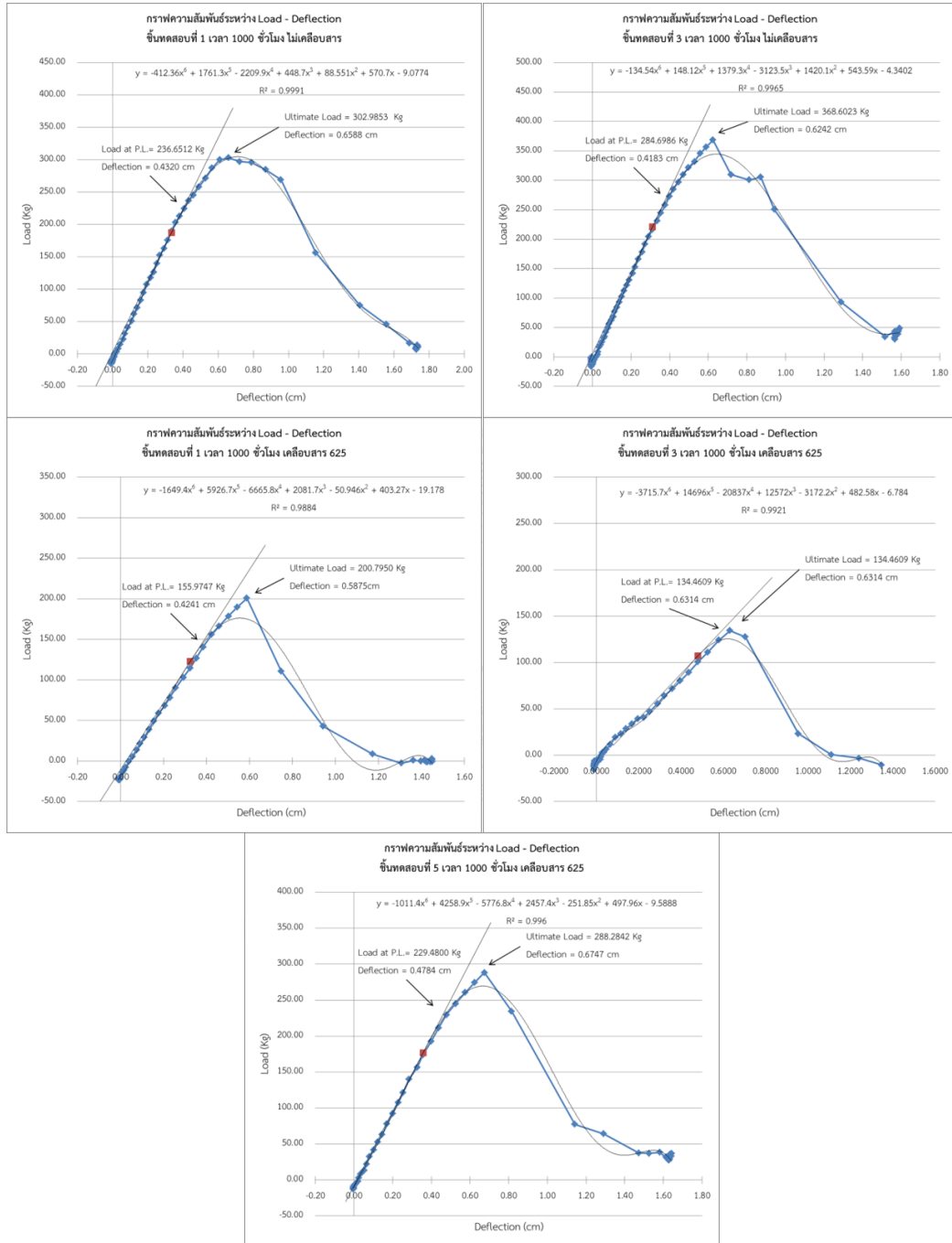
4.5 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดกลุ่มที่ 4



กราฟความสัมพันธ์ Load-Deflection

ชั้นทดสอบที่ 1-6 จำนวน 800 ชั่วโมง ไม่เคลือบสารและเคลือบสาร625

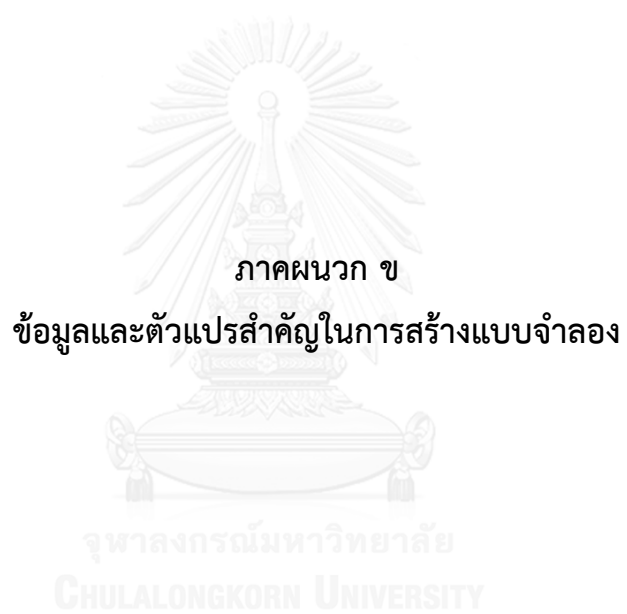
4.6 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดกลุ่มที่ 5



กราฟความสัมพันธ์ Load-Deflection

ชิ้นทดสอบที่ 1-5 จำนวน 1000 ชั่วโมง ไม่เคลือบสารและเคลือบสาร625





## ข้อมูลและตัวแปรสำคัญในการสร้างแบบจำลอง

## 1. อุณหภูมิราย 3 ชั่วโมง สถานีพญา

อุณหภูมิราย 3 ชั่วโมง (เซลเซียส, C°)										
ที่	เดือน	เวลาทำการตรวจ								เฉลี่ย
		1:00	4:00	7:00	10:00	13:00	16:00	19:00	22:00	
1	JAN	23.0	22.2	21.7	28.3	33.5	32.6	28.4	24.1	26.7
2	FEB	24.7	24.3	24.2	30.3	34.6	33.8	29.3	25.3	28.3
3	MAR	26.6	26.3	26.1	32.2	36.5	35.6	31.1	27.1	30.2
4	APR	28.1	27.8	27.6	33.4	37.5	37.1	32.8	28.6	31.6
5	MAY	28.9	28.4	28.5	34.2	38.2	37.0	33.2	29.4	32.2
6	JUN	28.9	28.4	28.6	33.2	37.2	36.4	32.3	29.1	31.8
7	JUL	28.4	28.1	28.2	32.7	36.4	35.8	32.0	28.6	31.3
8	AUG	27.7	27.3	27.2	32.5	36.1	35.3	31.6	28.0	30.7
9	SEP	27.2	27.0	27.0	32.1	35.6	34.7	31.3	27.4	30.3
10	OCT	25.8	25.5	25.5	31.5	34.9	33.9	30.0	26.2	29.2
11	NOV	26.5	26.1	25.9	31.9	36.1	34.9	31.0	27.1	29.9
12	DEC	25.8	25.0	24.3	29.8	34.8	33.9	30.4	26.4	28.8
	เฉลี่ย	27.2	26.8	26.7	32.2	36.2	35.3	31.4	27.6	30.4
	อุณหภูมิสูงสุด	30.3	30.0	30.5	35.8	40.6	40.1	35.0	30.7	34.1
	อุณหภูมิต่ำสุด	22.6	22.0	21.5	26.0	28.5	29.0	26.0	22.7	24.8
		อุณหภูมิ เฉลี่ยช่วงกลางวัน เวลา 06:00-18:00 น.								32.6



## 2. ความชื้นสัมพัทธ์ราย 3 ชั่วโมง สถานีพัทยา

ความชื้นสัมพัทธ์ราย 3 ชั่วโมง(เปอร์เซ็นต์, %)										
ที่	เดือน	เวลาทำการตรวจ								เฉลี่ย
		1:00	4:00	7:00	10:00	13:00	16:00	19:00	22:00	
1	JAN	76.9	78.5	79.1	66.7	64.1	66.6	73.7	75.0	72.6
2	FEB	88.1	89.6	89.9	72.6	68.3	69.6	80.3	85.9	80.5
3	MAR	86.5	87.4	88.4	71.5	66.7	67.5	79.3	84.0	78.9
4	APR	85.0	86.3	86.9	70.9	68.0	67.3	74.7	82.1	77.7
5	MAY	83.0	85.4	84.1	69.6	68.4	69.3	75.6	80.9	77.0
6	JUN	79.4	81.1	80.0	72.6	69.1	69.8	79.6	80.6	76.5
7	JUL	76.7	78.1	77.7	70.3	67.8	68.6	77.5	78.8	74.4
8	AUG	81.7	84.0	83.6	70.9	68.5	68.4	77.5	82.2	77.1
9	SEP	83.1	83.7	82.3	72.6	69.1	70.7	78.0	83.7	77.9
10	OCT	89.5	90.5	90.7	77.8	75.6	78.4	84.7	87.9	84.4
11	NOV	83.3	84.5	85.7	73.5	69.1	71.2	78.3	81.8	78.4
12	DEC	71.3	73.4	74.1	62.5	60.5	61.4	67.9	70.7	67.7
	เฉลี่ย	82.5	84.0	83.9	71.3	68.3	69.3	77.5	81.6	77.3
	อุณหภูมิสูงสุด	97.0	98.0	97.0	97.0	96.0	96.0	97.0	98.0	97.0
	อุณหภูมิต่ำสุด	52.0	54.0	51.0	35.0	33.0	36.0	45.0	51.0	44.6
		อุณหภูมิ เฉลี่ยช่วงกลางวัน เวลา 06:00-18:00 น.								73.2

### 3. ความชื้นของไม้ที่จุดสมดุล ณ อุณหภูมิต่างๆ

Moisture content										
temp (T)	humidity	h (%)	W	K	K1	K2	Kh	K <sub>1</sub> Kh	K <sub>1</sub> K <sub>2</sub> K <sup>2</sup> h <sup>2</sup>	M (%)
20.00	73.20	0.732	380.200	0.819	5.961	2.607	0.599	3.572	5.580	13.95
22.00	73.20	0.732	383.914	0.820	5.917	2.664	0.600	3.551	5.676	13.87
24.00	73.20	0.732	387.736	0.821	5.870	2.718	0.601	3.528	5.764	13.78
26.00	73.20	0.732	391.666	0.822	5.821	2.770	0.602	3.504	5.842	13.70
28.00	73.20	0.732	395.704	0.823	5.770	2.820	0.603	3.478	5.912	13.60
30.00	73.20	0.732	399.850	0.825	5.716	2.867	0.604	3.450	5.972	13.50
32.00	73.20	0.732	404.104	0.826	5.660	2.912	0.604	3.421	6.022	13.40
34.00	73.20	0.732	408.466	0.827	5.601	2.955	0.605	3.390	6.063	13.30
36.00	73.20	0.732	412.936	0.828	5.540	2.995	0.606	3.357	6.095	13.19
38.00	73.20	0.732	417.514	0.829	5.476	3.034	0.607	3.323	6.117	13.08
40.00	73.20	0.732	422.200	0.830	5.410	3.069	0.608	3.287	6.130	12.96
42.00	73.20	0.732	426.994	0.831	5.342	3.103	0.608	3.250	6.134	12.85
44.00	73.20	0.732	431.896	0.832	5.271	3.134	0.609	3.210	6.127	12.73
46.00	73.20	0.732	436.906	0.833	5.197	3.162	0.610	3.169	6.112	12.61
48.00	73.20	0.732	442.024	0.834	5.122	3.189	0.611	3.127	6.087	12.48
50.00	73.20	0.732	447.250	0.835	5.044	3.213	0.611	3.083	6.053	12.36
52.00	73.20	0.732	452.584	0.836	4.963	3.234	0.612	3.037	6.009	12.23
54.00	73.20	0.732	458.026	0.837	4.880	3.253	0.613	2.989	5.957	12.10
56.00	73.20	0.732	463.576	0.838	4.795	3.270	0.613	2.940	5.895	11.97
58.00	73.20	0.732	469.234	0.839	4.707	3.285	0.614	2.889	5.825	11.84
60.00	73.20	0.732	475.000	0.839	4.616	3.297	0.614	2.836	5.746	11.70
62.00	73.20	0.732	480.874	0.840	4.524	3.307	0.615	2.782	5.658	11.57
64.00	73.20	0.732	486.856	0.841	4.429	3.315	0.616	2.726	5.562	11.43
66.00	73.20	0.732	492.946	0.842	4.331	3.320	0.616	2.668	5.458	11.30
68.00	73.20	0.732	499.144	0.842	4.231	3.323	0.617	2.609	5.346	11.16
70.00	73.20	0.732	505.450	0.843	4.129	3.323	0.617	2.548	5.226	11.02
72.00	73.20	0.732	511.864	0.844	4.024	3.321	0.618	2.486	5.099	10.88
74.00	73.20	0.732	518.386	0.845	3.917	3.317	0.618	2.421	4.965	10.74
76.00	73.20	0.732	525.016	0.845	3.807	3.311	0.619	2.355	4.824	10.59
78.00	73.20	0.732	531.754	0.846	3.695	3.302	0.619	2.288	4.677	10.45
80.00	73.20	0.732	538.600	0.846	3.580	3.291	0.620	2.218	4.523	10.31

## 4. ความร้อนจำเพาะ

Specific heat capacity									
temp (t)	M (%)	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	A <sub>c</sub>	C <sub>pw</sub>	C <sub>p0</sub>	C <sub>p</sub>	Cp
293.00	13.95	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	7.508E-02	4.190	1.236	1.67282	1672.82
295.00	13.87	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	8.135E-02	4.190	1.244	1.67779	1677.79
297.00	13.78	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	8.751E-02	4.190	1.252	1.68267	1682.67
299.00	13.70	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	9.358E-02	4.190	1.259	1.68744	1687.44
301.00	13.60	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	9.953E-02	4.190	1.267	1.69213	1692.13
303.00	13.50	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	1.054E-01	4.190	1.275	1.69673	1696.73
305.00	13.40	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	1.111E-01	4.190	1.283	1.70126	1701.26
307.00	13.30	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	1.167E-01	4.190	1.290	1.70571	1705.71
309.00	13.19	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	1.221E-01	4.190	1.298	1.71010	1710.10
311.00	13.08	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	1.275E-01	4.190	1.306	1.71442	1714.42
313.00	12.96	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	1.327E-01	4.190	1.313	1.71869	1718.69
315.00	12.85	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	1.377E-01	4.190	1.321	1.72291	1722.91
317.00	12.73	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	1.427E-01	4.190	1.329	1.72708	1727.08
319.00	12.61	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	1.475E-01	4.190	1.337	1.73121	1731.21
321.00	12.48	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	1.521E-01	4.190	1.344	1.73530	1735.30
323.00	12.36	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	1.566E-01	4.190	1.352	1.73935	1739.35
325.00	12.23	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	1.610E-01	4.190	1.360	1.74337	1743.37
327.00	12.10	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	1.652E-01	4.190	1.368	1.74736	1747.36
329.00	11.97	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	1.693E-01	4.190	1.375	1.75133	1751.33
331.00	11.84	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	1.732E-01	4.190	1.383	1.75527	1755.27
333.00	11.70	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	1.770E-01	4.190	1.391	1.75919	1759.19
335.00	11.57	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	1.806E-01	4.190	1.399	1.76309	1763.09
337.00	11.43	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	1.841E-01	4.190	1.406	1.76697	1766.97
339.00	11.30	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	1.874E-01	4.190	1.414	1.77084	1770.84
341.00	11.16	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	1.906E-01	4.190	1.422	1.77469	1774.69
343.00	11.02	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	1.936E-01	4.190	1.429	1.77853	1778.53
345.00	10.88	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	1.965E-01	4.190	1.437	1.78236	1782.36
347.00	10.74	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	1.992E-01	4.190	1.445	1.78617	1786.17
349.00	10.59	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	2.018E-01	4.190	1.453	1.78997	1789.97
351.00	10.45	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	2.042E-01	4.190	1.460	1.79376	1793.76
353.00	10.31	-6.191E-02	2.360E-04	-1.330E-04	2.064E-01	4.190	1.468	1.79753	1797.53

## 5. ความหนาแน่นและสภาพการนำความร้อน

M (%)	Density				Conductivity			
	a	Spacific gravity base on green ( $G_b$ )	Specific gravity (Xylia) ( $G_m$ )	$\rho$	A	B	C	k
13.95	0.535	0.779	0.876	997.88	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.238
13.87	0.538	0.779	0.876	997.80	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.238
13.78	0.541	0.779	0.877	997.71	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.238
13.70	0.543	0.779	0.877	997.61	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.238
13.60	0.547	0.779	0.878	997.52	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.238
13.50	0.550	0.779	0.879	997.41	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.237
13.40	0.553	0.779	0.879	997.31	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.237
13.30	0.557	0.779	0.880	997.20	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.237
13.19	0.560	0.779	0.881	997.09	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.237
13.08	0.564	0.779	0.882	996.97	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.237
12.96	0.568	0.779	0.882	996.85	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.236
12.85	0.572	0.779	0.883	996.73	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.236
12.73	0.576	0.779	0.884	996.60	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.236
12.61	0.580	0.779	0.885	996.47	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.236
12.48	0.584	0.779	0.886	996.34	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.236
12.36	0.588	0.779	0.887	996.21	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.235
12.23	0.592	0.779	0.888	996.07	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.235
12.10	0.597	0.779	0.888	995.93	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.235
11.97	0.601	0.779	0.889	995.79	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.235
11.84	0.605	0.779	0.890	995.65	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.234
11.70	0.610	0.779	0.891	995.51	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.234
11.57	0.614	0.779	0.892	995.36	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.234
11.43	0.619	0.779	0.893	995.21	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.233
11.30	0.623	0.779	0.894	995.07	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.233
11.16	0.628	0.779	0.895	994.92	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.233
11.02	0.633	0.779	0.896	994.76	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.233
10.88	0.637	0.779	0.897	994.61	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.232
10.74	0.642	0.779	0.898	994.46	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.232
10.59	0.647	0.779	0.899	994.30	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.232
10.45	0.652	0.779	0.900	994.14	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.232
10.31	0.656	0.779	0.901	993.99	1.86E-02	1.94E-01	4.06E-03	0.231

ภาคผนวก ค  
ผลการวิเคราะห์แบบจำลองการเคลื่อนที่ของความร้อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY





## 2. ผลการวิเคราะห์แบบจำลองระนาบ C

NODE	DIMENSION			Time Plane:C													
	X	Y	Z	10800	12600	14400	16200	18000	19800	21600	23400	25200	27000	28800	30600	32400	
NODE	sub6	sub7	sub8	sub9	sub10	sub11	sub12	sub13	sub14	sub15	sub16	sub17	sub18				
104	09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00				
289	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	27.41	26.21	25.00	
296	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	27.41	26.21	25.00	
303	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	27.41	26.21	25.00	
310	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	27.41	26.21	25.00	
317	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	27.41	26.21	25.00	
324	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	27.41	26.21	25.00	
331	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	27.41	26.21	25.00	
232	25.00	26.82	28.69	30.57	32.45	34.32	36.20	36.05	35.90	35.75	35.60	35.45	35.30				
2161	25.00	26.82	28.69	30.57	32.45	34.32	36.20	36.05	35.90	35.75	35.60	35.45	35.30				
2168	25.00	26.82	28.69	30.57	32.45	34.32	36.20	36.05	35.90	35.75	35.60	35.45	35.30				
2175	25.00	26.82	28.69	30.57	32.45	34.32	36.20	36.05	35.90	35.75	35.60	35.45	35.30				
2182	25.00	26.82	28.69	30.57	32.45	34.32	36.20	36.05	35.90	35.75	35.60	35.45	35.30				
2189	25.00	26.82	28.69	30.57	32.45	34.32	36.20	36.05	35.90	35.75	35.60	35.45	35.30				
2196	25.00	26.82	28.69	30.57	32.45	34.32	36.20	36.05	35.90	35.75	35.60	35.45	35.30				
2203	25.00	26.82	28.69	30.57	32.45	34.32	36.20	36.05	35.90	35.75	35.60	35.45	35.30				
2104	25.00	26.82	28.69	30.57	32.45	34.32	36.20	36.05	35.90	35.75	35.60	35.45	35.30	36.20	36.20	36.20	





### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชลธิชา ชินพัชรธรรม เกิดเมื่อวันที่ 22 ธันวาคม พ.ศ. 2528 จังหวัดเพชรบูรณ์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2551 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2555 จนถึงปัจจุบัน



