



ปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์จากพาร์ติเคิลบอร์ด

ทศดาว พาหาทรัพย์อนันต์

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



EMISSION OF FORMALDEHYDE FROM PARTICLEBOARDS

TADDAO PAHASUP - ANAN

**AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PERTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING**

MAJOR IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

YEAR 2011

COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY



ใบรับรองการค้นคว้าอิสระ
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง ปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์จากพาร์ติเคิลบอร์ด

ผู้วิจัย นางสาวทัศนาว พาหาทรัพย์อนันต์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาดา สมองราษฎร์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมภพ สมองราษฎร์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ขำวิจิตร)

..... คณบดี
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นท แสงเทียน)

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี รับรองแล้ว

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุทิศ อินทร์ประสิทธิ์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนอธิการบดี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2554

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาดา สอนองราษฎร์ อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี จำวิจิตร และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมภพ สอนองราษฎร์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อติชม และข้อคิดเห็นต่างๆ ของการศึกษาค้นคว้าอิสระในครั้งนี้มาโดยตลอด กลุ่มวิจัยการใช้ประโยชน์จากของเสีย ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ในการเอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการ เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษารวมทั้งเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมเคมีและกระบวนการ และ ห้องปฏิบัติการไม้และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ในความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกต่างๆ ขณะทำการศึกษา ตลอดจนโรงงานผู้ผลิตไม้อัดทั้งสองแห่ง ในการสนับสนุนด้านวัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษา จึงขอขอบคุณผู้มีส่วนร่วมในการสนับสนุนและการดำเนินการศึกษารั้งนี้มา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ขอขอบคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัว ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ทศดาอ พาทะพจน์ อนันต์

(นางสาวทศดา พาทะพจน์อนันต์)

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : ปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์จากพาร์ติเคิลบอร์ด
 โดย : ทศดาว พาหาทรัพย์อนันต์
 ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
 สาขาวิชา : วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
 ประธานกรรมการที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาดา สอนองราชบุรี

ศัพท์สำคัญ : JIS A 1460 การปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ ไม้พาร์ติเคิลบอร์ด เรซิน

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์จากพาร์ติเคิลบอร์ดโดยพิจารณาปัจจัยดังต่อไปนี้ อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ชนิดของกาวเรซิน และความหนาของพาร์ติเคิลบอร์ด โดยในการหาปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์จากตัวอย่างชิ้นไม้พาร์ติเคิลบอร์ดใช้วิธี JIS A 1460 ซึ่งการศึกษาแบ่งออกเป็นสามชุดทดลอง เพื่อศึกษาผลกระทบดังกล่าวต่อการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ สำหรับผลกระทบของอากาศภายในอาคาร ตัวอย่างชิ้นไม้ถูกนำไปใส่ในตู้อบที่อุณหภูมิ 20 35 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 2 3 5 และ 7 วัน สำหรับผลกระทบของชนิดของกาวเรซิน ได้เปรียบเทียบการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์เมื่อใช้กาวประเภทยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ชนิด 10L617A (UF:E1) 10L686 (UF:E2) และกาวเมลามีนยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ชนิด 10L631 (MUF:E2) เป็นตัวประสานในการผลิตพาร์ติเคิลบอร์ด การทดลองชุดสุดท้ายพิจารณาผลกระทบจากความหนาของพาร์ติเคิลบอร์ด ผลจากการศึกษาพบว่า ที่อุณหภูมิในการอบไม้ที่ 20 องศาเซลเซียส มีปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์สูงที่สุด รองลงมาคือที่อุณหภูมิ 35 และ 40 องศาเซลเซียสตามลำดับ สอดคล้องกับหลักการ Bake – Out และเมื่อระยะเวลาในการทดสอบเพิ่มมากขึ้น ปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ออกจากวัสดุมีค่าลดลง ผลจากการทดลองชุดที่สองพบว่า พาร์ติเคิลบอร์ดที่ผลิตจากกาวประเภท 10L617A (UF:E1) ปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ในปริมาณที่น้อยที่สุด ในขณะที่พาร์ติเคิลบอร์ดที่ผลิตจากกาว 10L631 (MUF:E2) มีปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์น้อยกว่ากาวประเภท 10L686 (UF:E2) ผลการศึกษาจากการทดลองชุดสุดท้ายชี้ให้เห็นว่าความหนาของพาร์ติเคิลบอร์ดไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์

ABSTRACT

TITLE : EMISSION OF FORMALDEHYDE FROM PARTICLEBOARDS
 BY : TADDAO PAHASUP – ANAN
 DEGREE : MASTER OF ENGINEERING
 MAJOR : MAJOR OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
 CHAIR : ASST. PROF. WIPADA SANONGRAJ, Ph. D

KEYWORDS : JIS A 1460 METHOD / FORMALDEHYDE EMISSION / PARTICLE
 BOARD / RESIN

The objective of this study was to determine formaldehyde emission considering the following factors; indoor air temperature, type of resin, and thickness of particleboard. Formaldehyde emissions from particleboards were analyzed using the JIS A 1460 method. Three sets of experiments were conducted to investigate these effects on formaldehyde emission. For the effect of indoor air temperature, test specimens were conditioned in a dry oven at 20, 35, and 40 °C for a period of 1, 2, 3, 5, and 7 days. For the effect of type of resin, formaldehyde emissions were compared when using the UF resins type 10L617A (UF:E1), the 10L686 (UF:E2), and the MUF resin type 10L631 (MUF:E2) as an adhesive in particleboard manufacture. The last set of experiment considered the effect of particleboard thickness. From the results, the highest formaldehyde emission was obtained at the condition time of 20 °C followed by the emissions at the condition times of 35 °C and 40 °C, respectively. The results confirm the necessity of bake-out. In addition, formaldehyde emissions decreased as the time increased. Particleboards with the 10L617A (UF:E1) resin emitted the lowest amount of formaldehyde. While particleboards with the 10L631 (MUF:E2) resin emitted the lower amount of formaldehyde as compared to the particleboards with the 10L686 (UF:E2) resin. Results from the last set of experiment indicated that the thickness of particleboard has no significant effect on formaldehyde emission.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ณ
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของการทำโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
1.4 สมมุติฐาน	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.6 สถานที่ทำการศึกษาวิจัย	4
1.7 ระยะเวลาการทำวิจัย	5
1.8 งบประมาณโครงการวิจัย	6
2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ไม้อัด	7
2.1.1 การทำไม้อัด	7
2.1.2 ชนิดของไม้อัด	8
2.1.3 วิธีการปิดผิวของผลิตภัณฑ์ไม้อัด	13
2.2 กาวที่ใช้ในกระบวนการผลิตไม้อัด	16
2.2.1 กาวเรซินชนิดแข็งตัวเมื่อร้อน (Thermo-Setting Resins)	16
2.2.2 กาวเรซินชนิดอ่อนตัวเมื่อร้อน (Thermo-Plastic Resins)	22
2.2.3 กาวระบบร้อนเหลว (Hot-Melt Systems)	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 มลภาวะอากาศภายในอาคาร (Indoor air pollution)	25
2.3.1 ฟอรั่มัลดีไฮด์ (Formaldehyde)	25
2.4 ปริมาณและการระเหยของฟอรั่มัลดีไฮด์จากผลิตภัณฑ์ไม้อัด	25
2.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการระเหย และการตกค้าง ของฟอรั่มัลดีไฮด์ในไม้อัด	27
2.4.2 มาตรฐานและวิธีทดสอบ	29
2.4.3 วิธีตรวจวัดปริมาณฟอรั่มัลดีไฮด์	30
2.4.4 การคำนวณหาความเข้มข้นของฟอรั่มัลดีไฮด์	32
2.5 การศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	34
3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 การสร้างกราฟ Formaldehyde calibration curve	36
3.2 การหาปริมาณฟอรั่มัลดีไฮด์ที่ระเหยจากตัวอย่างชิ้นไม้อัด	38
3.2.1 วัสดุ อุปกรณ์	39
3.2.2 ศึกษาผลกระทบจากอุณหภูมิ ที่มีต่อปริมาณ การปลดปล่อยฟอรั่มัลดีไฮด์	40
3.2.3 ศึกษาผลกระทบจากชนิดของเรซิน ที่มีต่อปริมาณ การปลดปล่อยฟอรั่มัลดีไฮด์	40
3.2.4 การหาปริมาณฟอรั่มัลดีไฮด์ที่ปลดปล่อยออกจาก ไม้อัดที่ความหนาแตกต่างกัน	46
4 ผลการศึกษา	
4.1 ผลกระทบจากอุณหภูมิ ที่มีต่อปริมาณการปลดปล่อย ฟอรั่มัลดีไฮด์	48
4.2 ปริมาณฟอรั่มัลดีไฮด์ที่ปลดปล่อยจากไม้อัดที่ความหนา แตกต่างกัน	51
4.3 ผลกระทบจากชนิดของเรซิน ที่มีปริมาณการปลดปล่อย ฟอรั่มัลดีไฮด์	51

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.1 การทดสอบการพองตัวของความหนา	52
4.3.2 การทดสอบการดูดซึมน้ำ	53
4.3.3 การหาความชื้นในหินไม้อัด	53
4.3.4 การทดสอบความต้านทานแรงกด	53
4.3.5 การหาปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์	54
5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการศึกษา	57
5.2 ข้อเสนอแนะ	59
เอกสารอ้างอิง	61
ภาคผนวก	
ก มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.876-2547	66
ข ผลการทดลอง	70
ประวัติผู้วิจัย	95

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินโครงการวิจัย	5
2.1 ชนิดของความหนาแน่นของแผ่นพาร์ติเกิลบอร์ด	10
2.2 ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ตามสัดส่วน โมลของฟอร์มาลดีไฮด์	28
2.3 ANSI Standards for formaldehyde emission	29
2.4 JAS for MDF และ PB	30
2.5 JAS for plywood, LVL, and Flooring products	30
4.1 ค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ระเหยจากไม้อัด ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	49
4.2 ปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์จากไม้อัดพาร์ติเกิล ที่มีความหนา 12, 15 และ 18 มิลลิเมตร	51
4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การพองตัวทางความหนา ความชื้น และการดูดซึมน้ำของตัวอย่าง ชิ้นไม้อัดพาร์ติเกิล	52
4.4 ค่าความต้านทานแรงกด	54
4.5 ค่าปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ของไม้อัดที่ขึ้นรูปเอง	54
4.6 การปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ตามมาตรฐาน Japan Industrial Standard for MDF and PB	55
5.1 ตารางสรุปผลการทดสอบคุณสมบัติทางกล	58

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 เชื้อไม้ผานบาง (วีเนียร์)	9
2.2 ไม้อัดพาร์ติเคิล (Particle board)	10
2.3 การทดสอบการต้านทานแรงกด	16
2.4 โครงสร้างของยูเรีย ฟอर्मัลดีไฮด์	17
2.5 กาวยูเรีย ฟอर्मัลดีไฮด์	18
2.6 โครงสร้างของกาวเมลามีนฟอर्मัลดีไฮด์	19
2.7 กาวฟีนอล ฟอर्मัลดีไฮด์	19
2.8 กาวไอโซไซยาเนต (Isocyanate Resins)	21
2.9 กาวเรซินอีพ็อกซี (Epoxy Resins)	22
2.10 กาวเรซินโพลีไวนิลอะซิเตต (PVAc resin)	23
2.11 กาวร้อนเหลวชนิด EVA (EVA Hot-Melts)	24
2.12 โครงสร้างของฟอर्मัลดีไฮด์ (Wikipedia)	26
2.13 เฟอร์นิเจอร์ที่ผลิตจากไม้อัด	27
2.14 ชุดเครื่องมือ Perforator test	31
2.15 วิธีการทดสอบแบบ Desiccator มาตรฐาน JIS และ JAS	32
3.1 สารละลาย Formaldehyde ที่ความเข้มข้น 0, 0.5, 1, 2, 5 และ 10 mg/l	37
3.2 แผนภาพขั้นตอนการศึกษาหาปริมาณการปลดปล่อยฟอर्मัลดีไฮด์จากไม้อัด	38
3.3 แผนภาพขั้นตอนการทำไม้อัดพาร์ติเคิล	42
3.4 การทดสอบการพองตัวของตัวอย่างชิ้นไม้อัด	43
3.5 การทดสอบแรงกดของตัวอย่างชิ้นไม้อัด	44
3.6 การทดสอบความชื้นในตัวอย่างชิ้นไม้อัด (Moisture content)	45
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการปลดปล่อยฟอर्मัลดีไฮด์ กับ ระยะเวลาที่อุณหภูมิ 20, 35 และ 40 องศาเซลเซียส	50
4.2 ปฏิกริยาการสังเคราะห์ MF Resin และ MF Chemical Structure	56

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

คำย่อ

PB	Particleboard
MDF	Medium density fiberboard
UF	Urea formaldehyde
UF(E1)	Urea formaldehyde type E1
UF(E2)	Urea formaldehyde type E2
MF	Melamine formaldehyde
MUF	Melamine urea formaldehyde
MUF(E2)	Melamine urea formaldehyde type E2

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการทำโครงการวิจัย

ปัจจุบันปัญหาการเจ็บป่วยเรื้อรังที่เกิดจากมลภาวะภายในอาคารที่อยู่อาศัย (Sick house syndrome) กำลังได้รับความสนใจในการหาแนวทางป้องกันในหลายประเทศ ซึ่งสาเหตุเกิดจากมลภาวะทางอากาศภายในอาคาร (Indoor air pollution) เช่น ฝุ่นละออง คาร์บอนมอนอกไซด์ สารเคมี ก๊าซหรือสารระเหยต่างๆ ที่มีอยู่ภายในบ้านหรือในอาคารทั่วไป มลภาวะภายในอาคารมีมากมายหลายชนิด แต่ที่สำคัญ ได้แก่ เรดอน (Radon) แอสเบสตอส (Asbestos) และฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde) เนื่องจากสารทั้ง 3 ชนิดนี้เป็นสารที่ International Agency of Research on Cancer: IARC ได้รับรองแล้วว่าเป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ (สถาบันมะเร็งแห่งชาติ, 2554) แหล่งกำเนิดของมลพิษเหล่านี้ล้วนมาจากวัสดุก่อสร้าง และตกแต่งอาคารบ้านเรือน เช่น เมื่อมนุษย์นำดิน หิน หรือทรายที่มีแร่เรเดียมเจือปนมาก่อสร้างอาคาร วัสดุเหล่านี้จะปล่อยก๊าซเรดอนออกมาตามปริมาณแร่เรเดียมที่ปะปนอยู่ หรือ การระเหยของสารระเหยและสารประกอบจำพวกฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde) จากวัสดุก่อสร้างและตกแต่งที่ผลิตจากไม้อัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟอร์มาลดีไฮด์ซึ่งเป็นสารเคมีกลั่นนูนรุนแรงที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรมเครื่องใช้ในอาคาร เครื่องเรือน และเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ เนื่องจากเป็นสารประกอบสำคัญในการผลิตไม้อัด ซึ่งในปัจจุบันไม่อาจปฏิเสธได้ว่าบ้าน ออฟฟิศ อพาร์ทเมนต์ ที่อยู่อาศัยทุกประเภทล้วนต้องมีเฟอร์นิเจอร์และของตกแต่ง แต่สภาพปริมาณป่าไม้ในประเทศไทยลดลงอย่างมาก ทำให้ปัจจุบันผลิตภัณฑ์จากไม้ที่ใช้ในอาคารโดยส่วนใหญ่ทำมาจากไม้อัด (pressed wood) โดยในขั้นตอนการผลิตไม้อัดที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งคือการนำไม้บางๆ มาเรียงกันและใช้กาวเป็นตัวประสาน ซึ่งกาวที่ใช้มีส่วนประกอบของ urea-formaldehyde (UF) และ melamine-formaldehyde (MF) resins ทำให้ผลิตภัณฑ์จากไม้อัดดังกล่าวเป็นแหล่งสำคัญในการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ ออกสู่อากาศภายในอาคาร จัดเป็นมลพิษชนิดหนึ่ง เนื่องจากฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ได้แก่ การระคายเคืองตา จมูก และคอ เวียนศีรษะ หายใจติดขัด ไอ ผื่นตามผิวหนัง อ่อนเพลีย อาจกระตุ้นอาการหอบหืดและภูมิแพ้ และอาจก่อให้เกิดมะเร็ง โดยประเภทของไม้อัดที่นิยมนำมาผลิตเป็นเฟอร์นิเจอร์ใช้ในอาคาร ได้แก่ พาร์ติเคิลบอร์ด (particle board) ใช้ทำเฟอร์นิเจอร์และตู้เก็บของ (build-in cabinets) และไฟเบอร์บอร์ดที่มีความหนาแน่นปานกลาง (medium density fiberboard) ใช้เป็นตัวปิดหน้าหรือปิดด้านหลังของตู้ลิ้นชัก ตู้

เก็บของและเฟอร์นิเจอร์ต่าง ๆ นอกจากนี้ยังรวมไปถึง hardwood plywood paneling ที่ใช้ในการตกแต่งผนังและเคลือบผิวหน้าตู้เก็บของและเฟอร์นิเจอร์

ประเทศในสหภาพยุโรป อเมริกา หรือญี่ปุ่น จะเข้มงวดในเรื่องของปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ไม้ เนื่องจากเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ในบางประเทศสามารถยอมรับสินค้าประเภทที่มีการตกแต่งการระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์ ภายใต้มาตรฐานการควบคุม เช่น ในสหภาพยุโรป ใช้มาตรฐาน ENV717 - 1 ซึ่งผลิตภัณฑ์ไม้ที่สามารถผ่านมาตรฐานระดับ E1 คือมีการระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.1 ppm ในญี่ปุ่นมี 2 มาตรฐานคือ JIS (Japan Industrial Standard) จะใช้กับ พาร์ทิเคิลบอร์ด (Particle board: PB) หรือ ไฟเบอร์บอร์ดที่มีความหนาแน่นปานกลาง (Medium density fiberboard: MDF) แต่ถ้าเป็น JAS (Japan Agricultural Standard) ซึ่งจะใช้กับผลิตภัณฑ์ไม้ขัด Parquet ไม้ขัดประดาน ทั้งผลิตภัณฑ์ที่เป็น Structural Grade และ Non - Structural Grade ในสหรัฐอเมริกา ใช้มาตรฐาน ANSI (American National Standard Institute) การวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์ไม้จะนิยมวัดอยู่ 2 วิธีคือ วัดหาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ไม้ หรือวัดหาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่ระเหยออกมา ซึ่งจะมีวิธีการทดสอบแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับแต่ละมาตรฐาน (นราکانต์ พัวพันธ์, 2545)

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ออกสู่อากาศภายในอาคารของเฟอร์นิเจอร์จากไม้อัด มีอยู่หลายปัจจัย เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ชนิดของเรซิน (Myers, 1985) ที่ใช้ในการทำไม้อัดแต่ละประเภท และปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่ตกค้างในชิ้นไม้ ในกรณีที่อุณหภูมิและความชื้นเหมาะสมจะเพิ่มการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ในปริมาณที่สูงยิ่งขึ้น ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการทำการตรวจสอบปริมาณการระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์ในบ้านที่ก่อสร้างด้วยวัสดุจากไม้ พบว่ามีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำกว่า 0.1 ppm แต่ในบ้านที่มีเฟอร์นิเจอร์ใหม่ที่ทำจากไม้จะมีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์มากกว่า 0.3 ppm การได้รับฟอร์มาลดีไฮด์มากกว่า 0.1 ppm จะทำให้เกิดอาการระคายเคืองตา ระคายเคืองเนื้อเยื่อทางเดินหายใจส่วนบน ทำให้เกิดอาการภูมิแพ้และหอบหืด และการได้รับฟอร์มาลดีไฮด์ในระยะยาวจะทำให้เกิดโรคมะเร็งอีกด้วย (สถาบันมะเร็งแห่งชาติ, 2554) ดังนั้นการทราบปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ไม้อัดจึงมีความจำเป็น เพื่อใช้เป็นแนวทางในการป้องกันปัญหาจากมลภาวะอากาศภายในอาคาร ซึ่งมีสาเหตุมาจากวัสดุดังกล่าว และเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ในการศึกษาปริมาณและอัตราการปลดปล่อย ฟอร์มาลดีไฮด์จากชิ้นไม้อัด โดยทำการศึกษาในสภาวะอุณหภูมิที่ปกคลุมชิ้นไม้ที่แตกต่างกัน ชนิดของกาว (เรซิน) ที่ใช้ในการผลิตชิ้นไม้อัดที่แตกต่างกัน และ ความหนาของชิ้นไม้ที่แตกต่างกัน โดยผลจากการศึกษาวิจัยสามารถนำไปเผยแพร่ให้แก่โรงงานอุตสาหกรรมผลิตเฟอร์นิเจอร์จากไม้อัด เพื่อเลือกใช้วัสดุที่มีแนวโน้มในการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ในปริมาณต่ำ หรือ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อคอย

ควบคุมดูแลผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ รวมถึงให้ความรู้กับประชาชนในการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์เพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาอัตราการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์จากตัวอย่างชิ้นไม้อัดประเภทไม้อัดพาร์ติเคิล (Particle board: PB) ในสภาวะอุณหภูมิในการอบชิ้นไม้ที่แตกต่างกัน

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์จากตัวอย่างชิ้นไม้อัดพาร์ติเคิลที่ผลิตจากกาวประเภท ยูเรีย ฟอรัลดีไฮด์ (Urea – Formaldehyde: UF) และ เมลามีน ยูเรียฟอรัลดีไฮด์ (Melamine Urea – Formaldehyde: MUF)

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์จากตัวอย่างชิ้นไม้อัดพาร์ติเคิลที่มีความหนาแตกต่างกัน

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ตัวอย่างชิ้นไม้อัดพาร์ติเคิลที่ใช้ในการศึกษาแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ตัวอย่างชิ้นไม้อัดที่ได้จากโรงงานผู้ผลิตไม้อัดในเขตจังหวัดภาคใต้ตอนบน (โรงงานที่ 1) จำนวน 1 โรงงาน และตัวอย่างชิ้นไม้ที่ขึ้นรูปเองในห้องปฏิบัติการโดยใช้กาว (เรซิน) จากโรงงานผู้ผลิตไม้อัดในเขตภาคใต้ตอนบน (โรงงานที่ 2) จำนวน 1 โรงงาน

1.3.2 มลภาวะอากาศภายในอาคารที่เลือกศึกษา ได้แก่ ฟอรัลดีไฮด์

1.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ที่ทำการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศภายในอาคาร ชนิดของเรซินที่ใช้ในการผลิตชิ้นไม้อัด และความหนาของตัวอย่างชิ้นไม้อัด

1.3.4 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกลของตัวอย่างชิ้นไม้อัดที่ขึ้นรูปเอง ได้แก่ ค่า Thickness Swelling ค่า Water adsorption ค่า Moisture content ค่า Modulus of Rupture และค่า Modulus of Elasticity

1.3.5 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ใช้วิธีการ Desicator test (JIS A 1460)

1.4 สมมุติฐาน

1.4.1 ประเภทของกาว (เรซิน) ที่ใช้ในการผลิตไม้อัดมีผลต่อปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์จากชิ้นไม้อัด

1.4.2 สภาวะอากาศภายในอาคาร เช่น อุณหภูมิของอากาศภายในอาคารมีผลต่อปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์จากไม้อัด

1.4.3 ความหนาของชิ้นไม้อัดที่แตกต่างกันมีผลต่อปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบอัตราการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์จากชิ้นไม้อัดภายใต้สภาวะอากาศภายในอาคารที่แตกต่างกัน

1.5.2 สามารถเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์จากชนิดของกาวที่ใช้ผลิตและความหนาที่แตกต่างกัน เพื่อเป็นทางเลือกในการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวให้ไม่เกิดอันตราย

1.5.3 โรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไม้อัดได้รับทราบข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อให้สอดคล้องกับหลักการควบคุมมลพิษที่จะเกิด

1.5.4 หน่วยงานของรัฐบาลและเอกชนที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมมลภาวะอากาศภายในอาคาร ได้รับทราบข้อมูลเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับการทำงาน

1.6 สถานที่ทำการศึกษาวิจัย

1.6.1 ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช

1.6.2 ห้องปฏิบัติการวัสดุไม้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช

1.6.3 ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี

1.8 งบประมาณโครงการวิจัย

ใช้งบประมาณสนับสนุนโครงการวิจัยของนักศึกษาบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.8.1 ค่าวัสดุ อุปกรณ์		
1.8.1.1 ค่าตัวอย่างชิ้นงาน	10,000	บาท
1.8.1.2 ค่าสารเคมี	10,000	บาท
1.8.1.3 ค่าวัสดุสำนักงานและเข้าเล่มรายงาน	3,000	บาท
1.8.2 ค่าใช้สอย	5,000	บาท
รวมทั้งสิ้น	28,000	บาท

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไม้อัด

ไม้อัด เกิดจากการรวมไม้หลาย ๆ ชนิดเข้าด้วยกันหรือทำจากไม้ชนิดเดียวกัน โดยการตัดท่อนซุงให้มีความยาวตามที่ต้องการ แล้วกลึงปอกท่อนซุง หรือฝานให้ได้แผ่นไม้เป็นแผ่นบาง ๆ มีความหนาตั้งแต่ 1 ถึง 4 มิลลิเมตร แล้วนำมาอัดติดกันโดยใช้กาวเป็นตัวประสานโดยให้แต่ละแผ่นมีแนวเสี้ยน ตั้งฉากกัน แผ่นไม้จะถูกอบแห้งในเตาอบ ไม้อัดมีขนาด กว้าง 4 ฟุต ยาว 8 ฟุต หนา 4, 6, 8, 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2553)

ไม้อัดอาจแบ่งออกได้เป็น ไม้อัดภายใน และ ไม้อัดภายนอก ตามประเภทของกาวที่ใช้ กาวที่ใช้ในอุตสาหกรรมไม้อัดสำคัญของโลกปัจจุบัน ได้แก่ กาวยูเรียฟอर्मัลดีไฮด์ ทนน้ำได้ดีพอควร ใช้สำหรับทำไม้อัดภายใน กาวรีซอสซินอล และฟีนอลฟอर्मัลดีไฮด์ สามารถทนน้ำและความร้อนได้ดี แม้แช่ในน้ำหรือต้ม ไม้อัดก็ไม่หลุดลอกออกจากกัน จึงใช้ทำไม้อัดภายนอก (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, 2553)

2.1.1 การทำไม้อัด มีวิธีการทำตามขั้นตอนดังต่อไปนี้ (ใบความรู้วิชาการช่างพื้นฐาน 2553)

2.1.1.1 ปอก ชั้นแรกนำท่อนซุงมาตัดส่วนหัวส่วนท้ายให้ยาวพอเหมาะที่จะเข้าเครื่องปอก เมื่อเอาเปลือกออกแล้วก็นำเข้าเครื่องปอกไปตามส่วนกลมของต้นไม้ และจะได้ไม้ออกเป็นแผ่นบางๆขนาดกบวรอบปีของไม้ เรียกว่า การตัดแบบเวอร์เนีย (Veneer cutting) การปอกวิธีนี้จะได้ไม้ออกมาบาง และความยาวเท่ากับความยาวของท่อนซุงนั้นๆ

2.1.1.2 ฝาน เมื่อปอกไม้ออกมาเป็นแผ่นบางแล้ว ซึ่งจะได้ขนาดความหนาหรือบางโดยการปรับเครื่องปอกให้ได้ขนาดตามความต้องการ หรือนำมาตัดฝานให้ได้ขนาดใกล้เคียงกับแผ่นไม้อัดที่ผลิตออกจำหน่าย โดยมากจะมีขนาดความกว้าง 4 ฟุต ยาว 8 ฟุต ขนาดความหนาของไม้ที่ฝานออกประมาณ 8-1.5 มิลลิเมตร

2.1.1.3 อบ เมื่อฝานเรียบร้อยแล้วนำไม้แผ่นบางๆนี้ไปเข้าเครื่องอบเพื่อไล่ความชื้นออกจากเนื้อไม้ด้วยอุณหภูมิสูงเมื่ออบเรียบร้อยแล้วจึงส่งออกเตรียมงานสำหรับตากาวต่อไป

2.1.1.4 ทากาว ทากาวไม้อัดก่อนนำเข้าเครื่องอัด ไม้ที่นำมาอัดจะต้องให้เสี้ยนสลับกัน กาวที่ใช้ อัดจะเป็นเครื่องบ่งคุณภาพของไม้อัดด้วย ซึ่งไม้อัดที่ใช้ภายนอกสามารถใช้กาวน้ำใช้ทำเรือได้ แต่จะต้องใช้กาวที่มีคุณสมบัติทนน้ำได้ กาวที่ใช้ชนิด ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ สำหรับไม้อัดที่ใช้ภายในหรือในที่ที่ไม่ถูกน้ำและความชื้น โดยมากจะใช้กาวชนิด ยูเรีย เฟอรัลดีไฮด์ ราคาจะถูกกว่าไม้อัดทั่วไปที่ทำออกจำหน่าย ไม้อัดชนิดไม้ท่อนน้ำจะมี ปริมาตรร้อยละ 90 ของไม้อัดทั้งหมดที่ผลิตออกมาจะใช้กาวชนิด ยูเรียเฟอรัลดีไฮด์ นอกจากนี้ยังมีกาวชนิดอื่นที่ใช้ผลิตไม้อัด เช่น กาวเคมี ซึ่งเป็นกาวที่ทำมาจากน้ำมัน เช่น นมวัว กาวโปรตีนจากพืช ซึ่งเป็นกาวที่ได้จากเมล็ดพืช เช่น พวกลั่วต่างๆ และกาวจาก สัตว์ ซึ่งเป็นกาวที่ทำมาจากหนังสัตว์ เขาสัตว์ และกระดูกสัตว์

2.1.1.5 อัด เมื่อทากาวแล้วส่งไปเข้าเครื่องอัด เพราะแรงอัดช่วยอัดให้ไม้แผ่นบางกับกาวที่ทาไว้แห้งแนบสนิทติดกันเป็นแผ่นเดียว โดยใช้แรงอัดประมาณ 150-200 ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิประมาณ 220-230 องศาฟาเรนไฮต์ แล้วทิ้งไว้จนกาวแข็งตัวแล้วจึงนำออกจากเครื่องอัด

2.1.1.6 ตัดริม หลังจากอัดแล้วนำมาตัดริมให้เรียบร้อยให้ได้ขนาดมาตรฐาน เช่น ขนาด 4.4 ฟุต และ 122 x 244 เซนติเมตร

2.1.1.7 ขัด โดยเอาเข้าเครื่องขัดด้วยกระดาษทรายเพื่อให้ผิวเรียบพร้อมที่จะใช้งาน

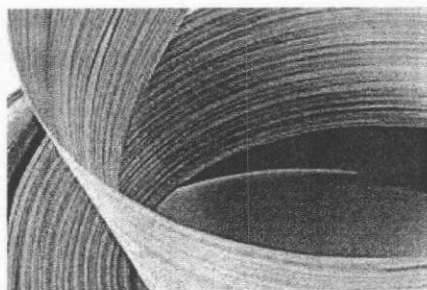
2.1.2 ชนิดของไม้อัด

2.1.2.1 ไม้อัดประสาน

ไม้อัดประสาน คือ ไม้จริงที่ผ่านกระบวนการกรรมวิธีการอัดประสานเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มขนาดของไม้ที่เหลือเพียงท่อนเล็ก ๆ ให้ใหญ่ และยาวขึ้นได้

2.1.2.1 เยื่อไม้ผ่านบาง (วีเนียร์)

เยื่อไม้ผ่านบาง คือ ไม้ ที่ผ่านออกมาเป็นแผ่น ๆ ความหนาประมาณ 0.3-0.8 มิลลิเมตร ผลิตโดยการนำซุงลงไปต้มในน้ำเดือด จนนิ่มแล้วใช้เครื่องคัดัดผ่านเป็นแผ่นออกมา เยื่อไม้ผ่านบางนิยมนำมาปิดผิวหน้าทับไม้ที่มีราคาถูกลงกว่า เพื่อสามารถนำมาผลิตเป็นสินค้าที่มีผิวหน้าสวยงามลวดลายผิวหน้าเหมือนไม้ที่ทรงคุณค่าจนแยกไม่ออก



ภาพที่ 2.1 เชื้อไม้ผานบาง (วีเนียร์)

2.1.2.3 Particle Board (PB)

หรือไม้อัดพาร์ติเคิล เป็นแผ่นวัสดุที่ทำจากไม้หรือวัสดุอื่น ที่มี ลิกนิน และเซลลูโลส (ส่วนประกอบพอลิเมอร์ที่อยู่ในเส้นใยของไม้เนื้อแข็ง) เป็นส่วนประกอบใน ลักษณะที่ถูกตัดเป็นชิ้นเล็กๆ และนำมารวมกันเป็นแผ่น โดยใช้กาวประสานอินทรีย์ร่วมกับความร้อน แรงอัด ความชื้น และตัวเร่ง

วัตถุดิบ วัตถุดิบสำคัญที่ใช้ในการผลิตไม้อัดพาร์ติเคิล ได้แก่

- (1) ไม้หรือวัสดุที่มีลิกนิน หรือเซลลูโลส เช่น ชานอ้อย
- (2) ไม้ยางพารา
- (3) ไม้ยูคาลิปตัส
- (4) เศษไม้
- (5) กาวที่ใช้เป็นตัวประสานให้ชิ้นไม้ประสานกัน เช่น

กาวยูเรียฟอรัลดีไฮด์ หรือ กาวสังเคราะห์ชนิดอื่น

วิธีการผลิต

- (1) เริ่มจากการเตรียมชิ้นไม้ ซึ่งท่อนไม้จะถูกส่งเข้าเครื่องตัดเป็นชิ้นเล็กๆ
- (2) นำชิ้นไม้ที่ตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ แล้วเข้าเครื่องอบไม้เพื่อไล่ความชื้นจน

เหลือความชื้นประมาณร้อยละ 2 - 3

- (3) ชิ้นไม้แห้งจะถูกนำไปแยกขนาดด้วยเครื่องคัดขนาด (Air separator)

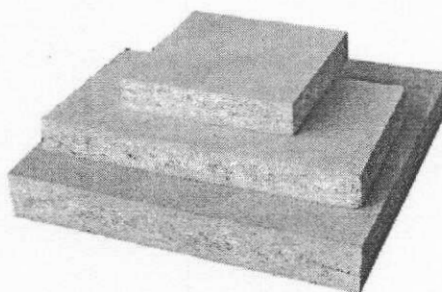
ชิ้นไม้ที่ขนาดใหญ่เกินไปจะถูกส่งไปยังเครื่องย่อยชิ้นไม้ เพื่อให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ

- (4) นำไม้ที่ได้ขนาดมาผสมกับกาว ก่อนผ่านเข้าเครื่องทำแผ่น

- (5) แผ่นไม้จะถูกถลำเลียงผ่านสายพานไปยังเครื่องอัด ซึ่งแผ่นไม้จะถูกอัด

ระหว่างถูกกลิ้งร้อนตัวใหญ่ (Heated press drum) กับถูกกลิ้งตัวเล็ก (Pressure rolls) ต่อเนื่องกันไป ที่อุณหภูมิ 140 - 200 องศาเซลเซียส ซึ่งจะได้แผ่นพาร์ติเคิลที่มีความยาวต่อเนื่อง

- (6) ตัดให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ



ภาพที่ 2.2 ไม้อัดพาร์ติเคิล (Particle board)

พาร์ติเคิลบอร์ดสามารถแบ่งออกได้หลายชนิด และถูกเรียกชื่อแตกต่างกันไป ตามลักษณะชนิดที่แบ่ง ซึ่งสามารถแบ่งได้โดยทั่วไปดังนี้

1) ลักษณะความหนาแน่นของแผ่น ความหนาแน่นของแผ่นที่ใช้เป็นหลักเกณฑ์ในจำแนกชนิดของแผ่นพาร์ติเคิล สามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ชนิดของความหนาแน่นของแผ่นพาร์ติเคิลบอร์ด

ชนิดของแผ่นพาร์ติเคิลบอร์ด	ความหนาแน่น (kg / m ³)		
	FAO 1976	CS 236-66	TIS 876-2532
ความหนาแน่นต่ำ (Low density)	250-400	< 590	-
ความหนาแน่นปานกลาง (Medium density)	400 – 800	590 – 800	500 – 800
ความหนาแน่นสูง (High density)	810 – 1200	> 800	-

2) ลักษณะของชิ้นไม้ที่ใช้ผลิต ชิ้นไม้ที่นำมาใช้ผลิตแผ่นพาร์ติเคิลบอร์ด มีลักษณะต่าง ๆ กัน และถูกย่อยด้วยเครื่องจักรต่างกันด้วย เช่น ชิปหรือชิ้นไม้สับ เก็ดัด เก็ดัดใหญ่ แกลบ จี๊กบ แท่งและฝอยไม้ เป็นต้น แผ่นพาร์ติเคิลบอร์ดที่ผลิตจากชิ้นไม้ลักษณะใดลักษณะหนึ่ง มักจะถูกเรียกเป็นแผ่นชิ้นไม้ลักษณะนั้น ๆ เช่น Chip board, Flak board, Wafer board, Strand board และ Shaving board เป็นต้น

3) ลักษณะโครงสร้างของแผ่น ลักษณะโครงสร้างของแผ่นพาร์ติเคิลบอร์ด สามารถแบ่งตามการกระจายตัวของขนาดชิ้นไม้ทางด้านความหนามืออยู่ 3 ชนิด คือ แผ่นพาร์ติเคิลบอร์ดชั้นเดียว แผ่นพาร์ติเคิลบอร์ดสามชั้น และแผ่นพาร์ติเคิลบอร์ดลดหลั่น

4) ลักษณะการนำไปใช้ประโยชน์ ลักษณะการใช้ประโยชน์ของแผ่นพาร์ติเคิลบอร์ด ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ ได้ดังนี้

(1) แผ่นพาร์ติเคิลบอร์ดชนิดเพื่อการใช้งานภายในอาคาร เป็นแผ่นพาร์ติเคิลบอร์ดที่มีการผลิตเป็นส่วนใหญ่ ใช้กาวยูเรีย ฟอรัมาลดีไฮด์ เรซิน และกาวยูเรีย เมลามีน ฟอรัมาลดีไฮด์ เรซิน เป็นตัวประสาน มักถูกนำไปใช้งานในที่ ที่มีความคงทนต่อสภาวะแวดล้อมปานกลาง เช่น ใช้ทำเป็นฝ้าเพดาน ผนังห้อง หรือชิ้นส่วนของเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น

(2) แผ่นพาร์ติเคิลบอร์ดชนิดเพื่อการใช้งานภายนอกอาคาร ผลิตเพื่อใช้งานในที่ที่มีความคงทนต่อสภาวะแวดล้อมสูง ใช้กาวยีนอลฟอรัมาลดีไฮด์ เรซิน กาวเมลามีน ฟอรัมาลดีไฮด์ เรซิน ที่ใช้เป็นตัวประสาน เป็นต้น

(3) แผ่นพาร์ติเคิลบอร์ดสำหรับใช้ปูรองพื้น ใช้สำหรับทำชั้นลาดฟ้าของบ้านเคลื่อนที่ เป็นผลิตภัณฑ์แผ่นพาร์ติเคิลบอร์ด ที่ผลิตเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมและขัดกระดาษทรายให้ได้ความหนาสม่ำเสมอ เพื่อให้สามารถใช้วัตถุอื่นปูพื้นได้ระดับและเรียบสม่ำเสมอ

(4) แผ่นพาร์ติเคิลบอร์ดสำหรับเก็บเสียง เป็นแผ่นพาร์ติเคิลบอร์ดที่ใช้กรุผนังหรือเพดาน เพื่อลดการสะท้อนเสียงในห้องลง โดยทำการปรูหรือเจาะร่องเป็นแบบต่าง ๆ เช่น Acoustic board เป็นต้น

2.1.2.4 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสมบัติของแผ่นพาร์ติเคิลบอร์ด

1) ชนิดของไม้ (Wood species)

(1) ความหนาแน่นของไม้ (density of wood) ชนิดไม้ที่มีความหนาแน่นต่ำเมื่อนำมาผลิตเป็นแผ่นพาร์ติเคิลบอร์ดที่มีความถ่วงจำเพาะของแผ่นระดับเดียวกัน จะมีความแข็งแรงของแผ่นสูงกว่าแผ่นที่ผลิตจากชนิดไม้ที่มีความหนาแน่นสูงกว่า เนื่องจากชิ้นไม้อัดที่หนาแน่นสูงวาก็ย่อมมีปริมาตรน้อยกว่า ทำให้ชิ้นไม้ที่มีสารยึดติดสัมผัสกันน้อยกว่าด้วย จึงส่งผลให้แผ่นมีความแข็งแรงต่ำกว่า

(2) ความเป็นกรดของไม้ (acidity) เป็นปัจจัยสำคัญกระทบโดยตรงต่ออัตราความเร็วในปฏิกิริยาแข็งตัวของสารยึดติดในระหว่างการอัดร้อน สภาพความเป็นกรดสูง ทำให้สารสารยึดติดยูเรียฟอรัมาลดีไฮด์เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแข็งตัวได้เร็วขึ้น

(3) ความสามารถในการเปียก (wet ability) ของไม้เป็นปัจจัยที่สำคัญมากในการเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารยึดติดกับชิ้นไม้ ผิวหน้าของชิ้นไม้ชนิดใดมีความสามารถในการเปียกที่สูง แสดงว่าสารยึดติดสามารถซึมเข้าไปในผิวไม้ได้ดี

2) ลักษณะรูปร่างของชิ้นไม้ (Morphology of particle) ชิ้นเกล็ดไม้ที่บางและยาว จะให้ความแข็งแรง ด้านแรงอัดของแผ่นที่สูงขึ้น เนื่องจากชิ้นเกล็ดไม้ที่บางกว่า

ทำให้แผ่นมีช่องว่างน้อยลงจึงสามารถกระจายความเค้นที่เกิดจากการตัดไม้สม่ำเสมอไปตลอดทั้งแผ่น อีกทั้งยังส่งผลให้ค่าการกด และแรงดึงขนานกับผิวหน้าแผ่นสูงขึ้น และมีค่าการพองตัวทางความหนา การดูดซึมน้ำ การขยายตัวทางความยาวลดลง และขึ้นเกล็ดไม้ที่มีขนาดความยาวกลับทำให้ผลด้านความแข็งแรงยึดเหนี่ยวภายในลดลง สำหรับขึ้นเกล็ดไม้ที่หนาและสั้นจะให้ผลตรงกันข้ามกับขึ้นเกล็ดไม้ข้างต้น ซึ่งไม่สามารถต้านทานแรงคดได้สูงนัก

3) การใช้สารยึดติดและสารเติมแต่ง (Resin and Additive application) ชนิดของสารยึดติดและสารเติมแต่ง มีการใช้สารยึดติดเป็นตัวแทนอยู่ 3 ชนิด ได้แก่ สารยึดติดฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ สารยึดติดยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ และสารยึดติดยูเรีย สารเติมแต่งที่ใช้ส่วนใหญ่ใช้ขี้ผึ้งอีพัลชันและขี้ผึ้งเหลวเพื่อเป็นสารกั้นน้ำ ลดการขยายตัว และการดูดซึมน้ำของแผ่นพาร์ติเคิลบอร์ด

4) ปริมาณความชื้น (Moisture content) ในกรณีที่มีความชื้นของขึ้นไม้ในแผ่นเตรียมอัดเป็นปริมาณสูง เมื่อทำการอัดร้อนไอน้ำจะมีปริมาณมากเกินไป มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันลดลง และต้องใช้เวลาในการแข็งตัวของสารยึดติดนานขึ้น จึงต้องใช้ระยะเวลาในการอัดร้อนนานขึ้น และเกิดปัญหาการระเบิดจากความดันไอน้ำภายในแผ่นที่มากเกินไป ทำให้แผ่นโป่งพองขึ้นได้

5) การเรียงตัวของขึ้นไม้ (Particle alignment) การผลิตแผ่นพาร์ติเคิลบอร์ดโดยให้มีขึ้นไม้เรียงตัวขนานในแนวราบไปในทางเดียวกันมากที่สุด จะทำให้สมบัติของแผ่นด้านที่ขึ้นไม้เรียงตัวขนานกัน มีสมบัติความแข็งแรงสูงกว่าแผ่นที่มีขึ้นไม้เรียงตัวกันแบบไม่แน่นอน จึงนิยมใช้ขึ้นไม้แบบเกล็ดไม้ (flakes) มากกว่าขี้กบขนาดเล็กเนื่องจากขี้กบจะเรียงตัวให้ขนานกันยาก

6) การควบคุมการอัดร้อน (Hot pressing control) การใช้ระยะเวลาที่ช้า ในช่วงแทนอัดบีบแผ่นจนถึงความหนาที่กำหนด จะสามารถปรับปรุงสมบัติแรงยึดเหนี่ยวภายในที่สูงขึ้นได้และส่งผลให้ความหนาแน่นมีการกระจายตัวจากชั้นไส้ถึงชั้นผิวได้สม่ำเสมอว่าการใช้ระยะเวลาในการปิดแทนอัดที่เร็ว

7) ความหนาแน่นของแผ่น (Board density) การเพิ่มความหนาแน่นของแผ่นไม้ให้สูงขึ้น จะสามารถปรับปรุงสมบัติความแข็งแรงทางกลให้ดีขึ้นได้ แต่สมบัติความคงเมื่อถูกนำไปแช่น้ำ หรือในที่มีความชื้นสูงลดต่ำลง

8) การปรับสภาพแผ่นก่อนการใช้งาน (Conditioning) โดยปกติแผ่นที่ผ่านการอัดร้อนแล้วจะนำมาไว้ในที่อุณหภูมิ 50 – 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ถึง 4 วัน เพื่อ

ช่วยปรับปรุงให้เกิดการดูดซึมน้ำน้อยลงความชื้นที่แตกต่างกัน เพื่อให้มีความสม่ำเสมอได้มากขึ้น และช่วยลดความเครียดภายในแผ่นที่อาจทำให้บิดงอได้

9) สารเติมแต่ง (Additive) สารเติมแต่งเป็นวัตถุดิบที่สำคัญอีกตัวหนึ่ง ที่ใช้ในการผลิตแผ่นพาร์ติเคิลบอร์ด แต่ก็มีการใช้สารเติมแต่งอื่นๆ นอกเหนือจากสารเร่งแข็ง (Hardener) แล้ว ยังมีสารเคลือบผิวกันซึม (Sizing agent) และสารทำให้เกิดฟอง (Blowing agent)

2.1.2.4 MDF (Medium Density Fiber Board)

MDF (Medium Density Fiber Board) หรือ แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ประเภท Composite Panel ชนิดหนึ่งที่ได้จากการนำเส้นใยของไม้หรือพืชที่มีเส้นใย หรือ เส้นใยของวัสดุลิกโนเซลลูโลส (Lignocelluloses Material) เช่น ยูคาลิปตัส ยางพารา ฯลฯ นำมาผสมกับกาวสังเคราะห์ แล้วจึงอัดเป็นแผ่นโดยกรรมวิธีแห้ง คืออัดด้วยความร้อน (Dry Process) เพื่อให้เกิดความยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยจนเป็นเนื้อเดียวกัน โดยมีกาวเป็นตัวช่วยประสาน มีความหนาแน่นสูง

วิธีการผลิต

- (1) นำวัตถุดิบ เช่น ไม้ยูคาลิปตัส ต้นสน ต้นยางพารา เศษเยื่อไม้ และกากขี้เลื่อย ฯลฯ เข้าเครื่องบดให้เป็นผงละเอียด
- (2) นำผงไม้ที่บดแล้วใส่ลงในถังกวน (Rotary drum mixer) ผสมกับกาวจนได้ที่
- (3) ถ้าเรียงผงไม้ที่ผสมกับกาวจากถังผสมมาโรยบนแท่นอัด
- (4) รีดด้วยความร้อนออกมาเป็นแผ่น
- (5) นำมาตัดให้ได้ขนาดที่ต้องการ

2.1.3 วิธีการปิดผิวของผลิตภัณฑ์ไม้อัด

2.1.3.1 การปิดผิว (Lamination)

- 1) การปิดด้วยกระดาษความหนาต่างๆ ตั้งแต่ 30, 40, 60 และ 70 แกรม ด้วยกาวลาเท็กซ์
- 2) การปิดผิวด้วยพีวีซี และกาวปิดพลาสติก นำไปใช้ในงานเฟอร์นิเจอร์บานหน้าต่าง โตะ เพื่อให้กันน้ำได้ดี
- 3) OPP เป็นการปิดผิวแบบกระดาษ หรือ พีวีซี แต่จะบางกว่าใช้กาวประเภทเดียวกับพีวีซี

- 4) การปิดผิวแบบ Membrane เป็นการห่อหุ้มชิ้นงาน เข้าในชอกหรือ ร่องชิ้นงาน โดยการดูดอากาศออกจากชิ้นงาน ใช้ในงานเฟอร์นิเจอร์ และการตกแต่งภายใน
- 5) การปิดผิวด้วย Veneer ใช้เป็นส่วนประกอบ ประดู หน้าต่าง หรือ ตัว เฟอร์นิเจอร์ ซึ่งดูภายนอกแล้วสวยงามเหมือนเป็นไม้จริง
- 6) การปิดผิวด้วย Melamine paper สามารถป้องกันน้ำได้ ป้องกันรอย จีดข่วน ผลิตภัณฑ์มีความทนทานต่อกรด
- 7) HPL (High Pressure Laminate) ที่นิยมเรียกกันว่าฟอร์เมกา ทำให้ ผลิตภัณฑ์กันน้ำได้ ใช้ประกอบในการผลิตเครื่องครัวได้เป็นอย่างดี

2.1.3.2 การพ่นสี

- 1) การพ่นสีน้ำมัน ให้สีติดแน่นลดยาก ใช้ในการทำตกแต่ง เฟอร์นิเจอร์การทำสีด้วยแล็กเกอร์ ทำได้ทั้งสีโปรง และสีทึบ สามารถพ่นทับด้วย Polyurethane นิยม ใช้กับเฟอร์นิเจอร์เด็ก
- 2) การทำสีด้วย Polyurethane ทำให้ได้ความมันวาว เพื่อตกแต่ง ภายในครัว และพวกตู้ติดตั้งถาวร (Build in) จะมีการทำสีที่หลายขั้นตอน และสุดท้ายพ่นด้วย อะคริลิก แล็กเกอร์เพื่อเคลือบหน้าเงา

2.1.4 วิธีการทดสอบคุณสมบัติของไม้อัด

การทดสอบทำได้โดยการตรวจพิจารณาตามลักษณะตามมาตรฐานอุตสาหกรรม เช่น มาตรฐานอุตสาหกรรมการทดสอบแผ่นขึ้น ไม้อัดแบบราบ มอก. 876 – 2547 ของไทย หรือ ตามมาตรฐาน Japanese Industrial Standard: JIS A 5908 – 2003 ของญี่ปุ่น เป็นต้น

2.1.4.1 ความหนาแน่น (Density)

ตัดแผ่นไม้อัดที่ต้องการทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 5908 – 2003 ขนาด 100 x 100 มิลลิเมตร จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด (m_1) วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของชิ้นทดสอบเพื่อหาปริมาตร (V) และคำนวณค่าความหนาแน่นของชิ้น ไม้อัดจากสมการที่ (2.1)

$$\text{ความหนาแน่น (g/cm}^3\text{)} = m_1/V \quad (2.1)$$

เมื่อ	m_1	น้ำหนักของชิ้นทดสอบ (g)
	V	ปริมาตร (cm ³)

2.1.4.2 ความชื้นในแผ่นไม้ (Moisture content)

ตัดแผ่นไม้อัดที่ต้องการทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 5908 – 2003 ขนาด 100 x 100 มิลลิเมตร นำไปชั่งน้ำหนัก (m_1) จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักของชิ้นทดสอบเมื่อน้ำหนักเริ่มคงที่ (m_0) และคำนวณค่าความชื้นภายในแผ่นไม้อัดจากสมการที่ (2.2)

$$\text{ความชื้นในแผ่นไม้ (\%)} = [(m_1 - m_0)/m_0] \times 100 \quad (2.2)$$

เมื่อ	m_0	น้ำหนักหลังผ่านการอบ (g)
	m_1	น้ำหนักก่อนอบ (g)

2.1.4.3 การพองตัวทางความหนา (Thickness swelling)

ตัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 5908 – 2003 ขนาด 50 x 50 มิลลิเมตร วัดความหนาในบริเวณกลางชิ้นทดสอบ จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำในภาชนะที่อุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส โดยให้ชิ้นทดสอบจมอยู่ใต้ผิวน้ำประมาณ 3 เซนติเมตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำขึ้นจากน้ำซับให้แห้งและวัดความหนาตามตำแหน่งเดิม คำนวณค่าการพองตัวทางความหนาจากสมการที่ (2.3)

$$\text{การพองตัวทางความหนา (\%)} = [(t_2 - t_1)/t_1] \times 100 \quad (2.3)$$

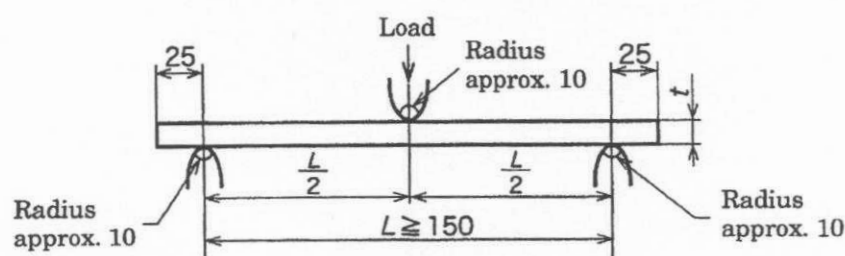
เมื่อ	t_1	ความหนาก่อนแช่น้ำ (mm)
	t_2	ความหนาหลังแช่น้ำ (mm)

2.1.4.4 การต้านทานแรงกด (Bending strength)

เป็นการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นไม้อัด หาค่ามอดูลัสการแตกหักและมอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Rupture: MOR and Modulus of Elasticity: MOE) ตัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 5908 – 2003 คือ ความกว้าง 50 มิลลิเมตร ความยาวต้องไม่น้อยกว่า 15 เท่าของความหนาของแผ่นไม้ บวก 50 มิลลิเมตร วางชิ้นทดสอบลงบนแท่นรองรับของเครื่องทดสอบการต้านทานแรงกด ดังรูปที่ 2.3 ใช้แรงกดประมาณ 10 mm/min ให้แรงกดลงบนจุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ วัดค่าแรงกดสูงสุด (Maximum load: P) และคำนวณค่าการต้านทานแรงกดจากสมการที่ (2.4)

$$\text{การต้านทานแรงกด (N/mm}^2\text{)} = 3PL/2bt^2 \quad (2.4)$$

เมื่อ	P	แรงกดสูงสุด (N)
	L	ความยาวของชิ้นทดสอบ (mm)
	b	ความกว้างของชิ้นทดสอบ (mm)
	t	ความหนาของชิ้นทดสอบ (mm)



ภาพที่ 2.3 การทดสอบการต้านทานแรงกด

2.2 กาวที่ใช้ในกระบวนการผลิตไม้อัด

2.2.1 กาวเรซินชนิดแข็งตัวเมื่อร้อน (Thermo-Setting Resins)

เป็นกาวเรซินที่แข็งตัวโดยการทำปฏิกิริยาทางเคมี เกิดเป็น โมเลกุลที่มีโครงสร้างสามมิติ กลายสภาพเป็นของแข็งในเวลาเดียวกันกับเกิดการยึดติดกับไม้กาวชนิดนี้แบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม (Thermo setting resin, 2553)

(1) กาวเรซินชนิดที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์กับยูเรีย เมลามีน ฟีนอลหรือสารอื่น

(2) กาวชนิดที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาแทนนินกับฟีนอลหรือฟอร์มัลดีไฮด์

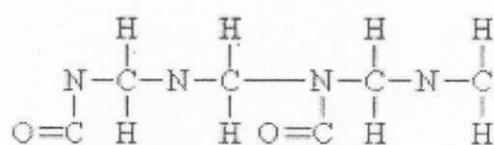
(3) กาวเรซินชนิดไอโซไซยานต

(4) กาวอีพ็อกซี

2.2.1.1 กาวยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ (UF, Urea Formaldehyde)

กาวชนิดแรกที่มีการพัฒนาอย่างกว้างขวาง และเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมารวม 60 กว่าปีแล้ว เริ่มจากใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ผสมกับยูเรียให้ความร้อนในส่วนผสมที่เป็นด่างทำให้เกิดเมธิลอลยูเรีย แต่ยังไม่เป็นกาว แล้วทำปฏิกิริยาในส่วนผสมที่เป็นกรด จึงหยุดปฏิกิริยาโดยเติมด่างให้มีสภาพเป็นกลาง แล้วกำจัดน้ำออกจากส่วนผสมที่มากขึ้นจากการ

เกิดปฏิกิริยาควบแน่น จนได้ส่วนผสมกาวที่เข้มข้นหรือจะระเหยน้ำต่อไปจนได้เป็นผงโดยนำกาวเข้มข้นไปพ่นผ่านรูเล็กๆ ในปล่องความร้อนที่ให้ความร้อนสูงถึง 200 องศาเซลเซียส กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ มีการจำหน่ายกันทั้งในสภาพของเหลว และเป็นผง เป็นผงก็จะเป็นทั้ง ถุงเดี่ยวและชนิด 2 ถุง โดยถุงเดี่ยวก็จะมีสารผสมเร่งแห้งด้วย หากชนิด 2 ถุง ก็จะแยกเป็นถุงกาวผงยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ 1 ถุง อีกถุงหนึ่งก็จะเป็นสารเร่งแห้งที่อาจจะผสมสารเพิ่มอื่นได้ด้วย เช่น แป้งสาลี แป้งอื่นๆ หรือ ผงดินขาว (Kaolin) หรือแคลเซียมซัลเฟต การเตรียมกาวโดยนำกาวผงหลักหรือกาวน้ำ มาผสมกับน้ำ แล้วผสมกับสารช่วยให้กาวแข็งตัว (Hardener) เมื่อเข้ากันได้ดีแล้ว จึงนำไปทาบนผิวไม้ที่จะทำการยึดติด สารช่วยให้กาวแข็งตัวจะมีสภาพเป็นกรด ซึ่งจะไปกระตุ้นให้ปฏิกิริยาทางเคมีเชื่อมตัวทางขวาง ที่หยุดปฏิกิริยาไว้ขณะทำการสังเคราะห์กาวเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ขึ้น โดยมีการให้ความร้อนกับแนวกาวเป็นตัวเร่งให้แข็งตัวยิ่งขึ้น สารช่วยให้กาวแข็งตัวที่ใช้กับกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ควรเป็นชนิดกรดอ่อนมากๆ เนื่องจากหากใช้กรดแก่จะทำให้ผิวไม้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเป็นผลให้แนวกาวเสียหาย การลดการปลดปล่อยสารฟอร์มาลดีไฮด์จากผลิตภัณฑ์ไม้ที่ใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ ควรลดสัดส่วนโมล F:U ในการสังเคราะห์กาวเรซินจาก 1.8:1 หรือ 2.0:1 ให้ต่ำกว่า 1.6:1 หรือในบางกรณีต่ำถึง 1.2:1 การใช้สัดส่วนโมล F:U ต่ำๆ นอกจากจะทำให้ต้องเพิ่มระยะเวลาในการสังเคราะห์เรซินแล้ว กาวที่ได้จะต้องใช้ระยะเวลาในการทำให้แข็งตัวนานขึ้นด้วย และยังทำให้ความแข็งแรงของการยึดติดมีแนวโน้มต่ำลง ความต้านทานความชื้นลดลง ระยะเวลาการเก็บรักษา (ความเสถียร) ลดลง การลดสารฟอร์มาลดีไฮด์ของกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ในการปฏิบัติงานนั้นสามารถทำได้โดยเติมสารเพิ่มอื่น เช่น ยูเรีย เมลามีน แทนนิน โซเดียมไดซัลไฟด์ และกรดอินทรีย์อย่างอ่อนๆ แต่ก็จะทำให้การคงทนต่อน้ำและอุณหภูมิที่สูงขึ้นต่ำลง ซึ่งก็จะไม่แนะนำให้ใช้ในการต่อไม้ที่ต้องใช้ในที่ๆ มีความชื้นและความร้อน



Urea Formaldehyde

ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของยูเรีย ฟอร์มาลดีไฮด์

กาวเรซินยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ พบมีการใช้โดยทั่วไปในการผลิตแผ่นไม้อัด แผ่นปาร์ติเกิล แผ่น MDF แผ่นไม้ไผ่ระแนง และนิยมใช้กันมากในการปิดผิวไม้บางบนงานเครื่อง

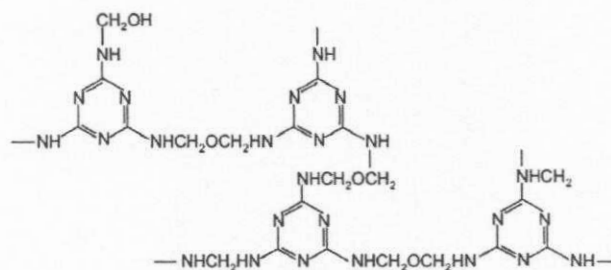
เรื่อน แต่ก็ต้องระมัดระวังว่าเป็นกาวที่เหมาะสมต่อการใช้งานเพียงพอนทนทานต่อความชื้นแต่ไม่ต้านทานน้ำ (รายงานการศึกษาแนวคิดผลิตภัณฑ์ใหม่, 2552)



ภาพที่ 2.5 กาวยูเรียฟอรัลดีไฮด์

2.2.1.2 กาวเมลามีน-ฟอรัลดีไฮด์ (MF, Melamine Formaldehyde)

เป็นกาวที่คล้ายคลึงกับกาว UF มีการนำมาใช้หลังกาว UF ประมาณ 20 กว่าปี กาว UF และ MF จะเกิดจากการทำปฏิกิริยาของส่วนอะมิโน (amino) กับสารฟอรัลดีไฮด์ ภายใต้อุณหภูมิและความร้อนกับสารละลายผสมที่เหมือนกัน แต่ฟอรัลดีไฮด์จะทำปฏิกิริยารวดเร็วกว่า MF มากกว่า UF ด้วยเหตุนี้การทำกาว MF จึงมีการปลดปล่อยสารระเหยฟอรัลดีไฮด์ที่น้อยกว่ากาว UF กาว UF และ MF ใช้สารช่วยให้แข็งตัวที่เหมือนกัน แม้แต่สารเดิมและสารเพิ่มก็จะใช้สารเหมือนกัน ลักษณะของกาว จะเป็นกาวขาวใส เหมือนกัน ซึ่งก็จะทำให้แนวกาวที่ใสกาว MF จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิที่ทำให้แข็งตัวที่สูงกว่า UF แต่มีความต้านทานน้ำและอุณหภูมิที่สูงได้ดีกว่า ข้อเสียคือราคา MF สูง ซึ่งสูงกว่าราคา UF ถึง 4-5 เท่า จึงมีการนำมาผสมกับกาว UF เพื่อลดต้นทุนราคาลง เรียกว่า MUF glues ซึ่งคุณสมบัติของกาว MUF ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของการผสมระหว่าง MF และ UF ยกตัวอย่างเช่น สัดส่วนการผสมของกาว MF ต่อ UF = 40:60 ก็จะช่วยปรับปรุงความต้านทานต่อสถานะแรงในการบ่มรุนแรงได้อย่างเห็นได้ชัด กาวเมลามีนมักนิยมใช้ในการผลิตแผ่น PB ที่มีคุณสมบัติพิเศษ โดยเฉพาะการต้านทานต่อความชื้นและสภาพฝนฟ้าอากาศร้อนของแผ่น MDF กาวเมลามีน ยังมีการใช้ในการต่อไม้ที่ต้องการใช้ในงานในสภาพที่เปียกชื้นด้วย (วิศนีย์ ยิ่งประเสริฐ, 2548)

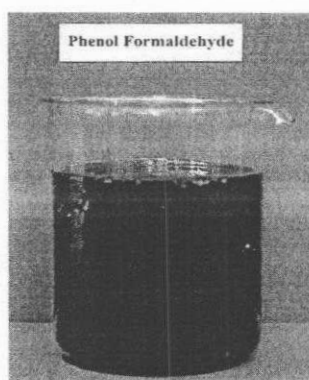


ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของกาวเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ (Rishole – Sundman and Wallin, 1999)

2.2.1.3 กาวฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ (PF, Phenol Formaldehyde)

A.Von Bayer ค้นพบครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1872 มีการพัฒนามาตลอดจนกระทั่งปี ค.ศ. 1907 Leo H. Baekeland ได้พัฒนากระบวนการผลิตเพื่อการค้าขึ้น โดยโรงงานผลิตกาวแห่งแรกเปิดทำการในเยอรมัน เมื่อปี ค.ศ. 1910 ใช้ชื่อกาวทางการค้าว่า “Bakelite” ในกลางปี ค.ศ. 1930 ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมไม้ เพื่อผลิตแผ่นขึ้นไม้อัด (Particleboard) และไม้อัด (Plywood) กลางปี ค.ศ. 1970 มีการนำมาใช้ในกระบวนการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดเรียงเส้น

กาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ เกิดจากปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันของฟีนอลกับฟอร์มัลดีไฮด์ โดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ กาวโนโวแลก (Novolaks) และ กาวรีโซล (Resoles) แต่ที่นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตไม้ประกอบ มักเป็นกาวรีโซลที่อยู่ในรูปกาวเหลว (วิศนีย์ ชิงประเสริฐ, 2548)



ภาพที่ 2.7 กาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์

กาวโนโวแลก เกิดจากปฏิกิริยาของฟีนอลกับฟอร์มัลดีไฮด์ ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด (pH 1 – 6) สัดส่วนฟีนอลต่อ ฟอร์มัลดีไฮด์ ประมาณ 1 : 0.70 – 0.85 เมื่อให้

ความร้อน ไม่สามารถแข็งตัวได้ เนื่องจากมีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์น้อยกว่า จึงไม่เกิดหมู่เมธิลอล (Methylol) อยู่ในโมเลกุลของกาว ต้องใช้สารช่วยให้กาวแข็งตัว (Curing agent) เช่น เฮกซะเมธิลีนเตตระมิน (Hexa methylenetetramine) นั่นคือ กาว PF ชนิด โนโวแลก สังเคราะห์ขึ้นในสถานะที่เป็นกรดและมีสัดส่วนของ F ที่ต่ำ หากจะต้องทำให้เป็นกาวอัดร้อนจะใช้ Hexamethylene Tetramine ผสม ส่วนใหญ่ใช้ในงานประดิษฐ์กรรมไม้เพื่อผลิตชิ้นงานที่พิเศษ ใช้ผลิต Wafer board ชนิดพิเศษ โดยใช้ Novolacs และใช้ในการผลิต Densified wood (Densified wood ผลิตโดยการนำไม้บางคล้ายกับการทำไม้อัด แต่แทนที่จะตากกาวบนไม้บางระหว่างชั้นไม้บางก็ใช้ไม้บางแช่ Impregnate อัดกาวในสารละลายกาว แล้วปล่อยให้ไหลกาวออก แล้วนำมาเรียงประกบกันตามความหนาที่ต้องการ แล้วอัดด้วยแรงดันสูงมาก เพื่อลดความหนาและได้ไม้เพิ่มความแน่นที่มีสมบัติทนทานต่อการสึกหรอได้ดีมาก)

กาวรีโซล ถูกสังเคราะห์จากปฏิกิริยาของฟอร์มาลดีไฮด์ที่มากเกินไปกับ ฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ ภายใต้สภาวะที่เป็นเบส (pH 8 – 13) มีน้ำเป็นตัวทำละลาย โดยทั่วไป ใช้สัดส่วนฟีนอลต่อฟอร์มาลดีไฮด์ 1 : 1 ถึง 1: 3 เมื่อให้ความร้อนเกิดการควบแน่นได้ขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้น ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่มากเกินไปทำให้เกิดหมู่เมธิลอล (Methylol) อยู่ในโมเลกุลของกาวแข็งตัว นั่นคือ รีโซล ต้องใช้อุณหภูมิในการแข็งตัวที่สูงและได้แนวกาวที่มีความต้านทานน้ำและความร้อนและเชื้อรา ชนิด รีโซล เป็นชนิดที่ใช้ในการผลิตแผ่นบอร์ดเช่น ไม้อัด PB, MDF

2.2.1.4 กาวฟีนอล-เรซอร์ซินอล ฟอร์มาลดีไฮด์ (P-RF, Phenol-Resorcinol

Formaldehyde)

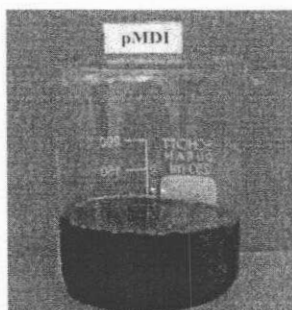
P-RF resins ผลิตโดยการเติม Resorcinol ผสมในกาว Resole ที่ระยะสุดท้ายของการสังเคราะห์ เป็นกาวสีน้ำตาลเข้มใช้ในการผลิตคานไม้ประสาน (Laminated beams) โดยมีข้อดี 2 ลักษณะ คือ มีความต้านทานน้ำ และมีความไวในการทำปฏิกิริยาซึ่งหมายความว่าสามารถใช้เป็นกาวที่อุณหภูมิต่ำมากๆ ซึ่งบางครั้งต่ำถึง 5 องศาเซลเซียส ใช้ Para formaldehyde เป็นสารเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) และรอยต่อไม้จะแข็งตัวที่อุณหภูมิได้ถึง 70 องศาเซลเซียส และมีมักนิยมใช้ผงไม้ผสมในกาวเพื่อ ปรับปรุงคุณสมบัติการอุดช่องว่างไม้ในการติดไม้แปรรูป

2.2.1.5 แทนนิน (Tannin Resins)

สารแทนนินเป็นสารฟีนอลประเภทหนึ่งตามธรรมชาติเกิดอยู่ใน เนื้อไม้ และเปลือกไม้ในปริมาณมาก โดยเฉพาะในเปลือกไม้โอ๊ก และวอดเดิล แทนนินทำปฏิกิริยากับ PF- resin หลังจากกำจัดสารอื่นแล้ว เช่น น้ำตาล และ Gums จากการสกัด การใช้งานกาวแทนนินยังไม่แพร่หลายนัก แต่ก็มีกาวนำไปใช้ในบางประเทศเพื่อผลิต PB และ MDF ซึ่งจะทำให้มีความต้านทานความชื้นได้ดี

2.2.1.6 กาวไอโซไซยานต (Isocyanate Resins)

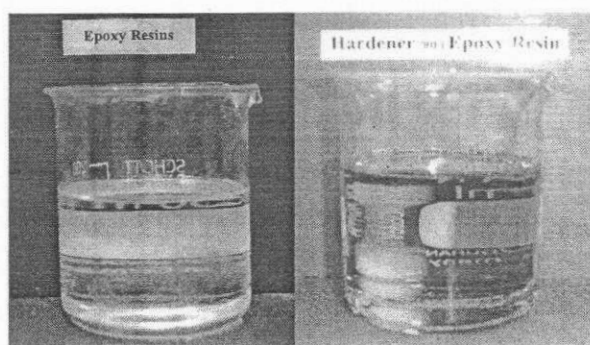
แม้ว่า จะถูกใช้เป็น Casting resins และตัวกลางของสี (Paint media) ตั้งแต่ราวปี ค.ศ.1950 แต่ทางด้านงานไม้กลับมีการใช้กันน้อยหรือไม่ได้รับความสนใจในการนำมาใช้เลย จนถึงปี ค.ศ.1975 ปัจจุบันถูกใช้ในการผลิต PB,MDF และ OSB เมื่อต้องการชิ้นงานที่มีความทนทานสูง โดยกาวจะเกิดการยึดเหนี่ยวทางเคมีกับ ลิกนิน และเซลลูโลสในไม้ มีราคาสูงแต่เมื่อเทียบปริมาณการใช้ในการผลิต PB แล้วใช้ในปริมาณที่ต่ำและถูกพิสูจน์ว่าคุ้มค่า เช่น เนื่องจาก การยึดเหนี่ยวแบบธรรมชาตินี้จะช่วยลดการใช้ไม้วัตถุดิบได้ถึง 15% โดยจะให้ความแข็งแรงทางกลที่ระดับเดียวกัน



ภาพที่ 2.8 กาวไอโซไซยานต (Isocyanate Resins)

2.4.1.7 กาวเรซินอีพ็อกซี (Epoxy Resins)

อีพ็อกซีเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง Bisphenol-A กับ Epichlorhydrin ได้เป็น Resin ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่าง ๆ กัน จึงมีคุณสมบัติต่างกันไป สารหลายชนิดสามารถนำมาใช้เป็นสารเร่งแข็ง (สารทำให้แข็งตัว) แต่ที่ใช้กันมากแพร่หลายในขณะนี้คือ Polyamides อีพ็อกซีเรซิน (Epoxy Resins) จะแข็งตัวที่อุณหภูมิห้องโดยใช้แรงดันอัดข้อต่อไม้เล็กน้อย มีคุณสมบัติในการอุดช่องว่างได้ดี โดยหากใช้ในงานไม้จะใช้ อีพ็อกซีเรซิน ที่เป็นของเหลวมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและไม่ใส่ตัวทำละลายอื่นซึ่งจะแข็งตัวโดยปฏิกิริยาแบบรวมตัว (Addition reaction) ซึ่งไม่มีการสูญเสียผลผลิตจากปฏิกิริยาจึงมีการสูญเสียปริมาณเพียงเล็กน้อย ขณะที่มันแข็งตัว



ภาพที่ 2.9 กาวเรซินอีพ็อกซี (Epoxy Resins)

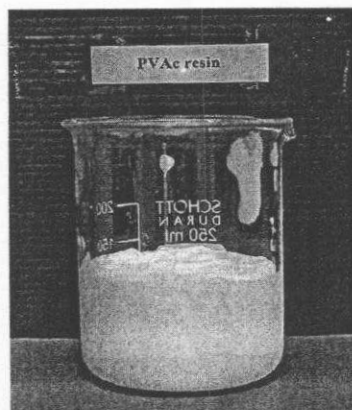
2.2.2 กาวเรซินชนิดอ่อนตัวเมื่อร้อน (Thermo-Plastic Resins)

2.2.2.1 กาวเรซินโพลีไวนิลอะซิเตต (PVAc resin)

PVAc นี้โดยปกติใช้อยู่ในรูปอิมัลชัน แม้ว่าจะแข็งตัวโดยใช้ความร้อนบ้าง แต่ก็ยังคงอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูงๆ มันสามารถถูกปรับปรุงให้มีความหนืดสูงหรือต่ำ แข็งหรืออ่อนหยุ่นได้ (Rigidify or flexibility) และย้อมสีหรือใส่รงควัตถุเพื่อให้เกิดสีอะไรก็ได้ กาวชนิดนี้ที่ใช้ในงานไม้มี 2 แบบ คือ

- 1) แบบโฮโมโพลีเมอร์ ซึ่งจะอ่อนตัวทันทีเมื่อได้รับความร้อน
- 2) แบบโค-โพลีเมอร์ ซึ่งจะมีการใช้สารเร่ง (Catalyst) เพื่อการยึดเหนี่ยว ทำให้มีความต้านทานน้ำและความร้อนดีขึ้น

แป้งข้าวโพดหรือแป้งชนิดอื่น สามารถเติมลงไปผสมเพื่อเพิ่มความหนืด และป้องกันให้กาวเอนออกจากข้อต่อหรือ ผ่านทะลุรูพรุนของไม้บางชนิดออกมา สารเติมจำพวกแร่ธาตุ (Mineral fillers) ก็อาจใช้กันแต่ต้องระมัดระวังอย่าให้โดนหรือใช้กับวัสดุที่มีฤทธิ์เป็นด่าง ซึ่งมันจะลดการแข็งตัวของกาวไป การผสมเกลือโลหะ (Metallic salts) เช่น โครเมียมหรืออลูมิเนียมไนเตรท จะปรับปรุงให้การต้านทานน้ำดีขึ้น แต่ก็ทำให้อายุการใช้งานของกาว (pot life) สั้นลง การเติม UF และ MF และ ไอโซไซยาเนตเรซิน ก็จะช่วยปรับปรุงสมบัติของกาวได้ กาว PVAc ใช้กันแพร่หลายสำหรับการติดไม้บาง การติดกระดาษ และ PVC foils กับ แผ่น PB, Hardboard และ MDF และสำหรับการประกอบตู้โต๊ะ เป็นต้น



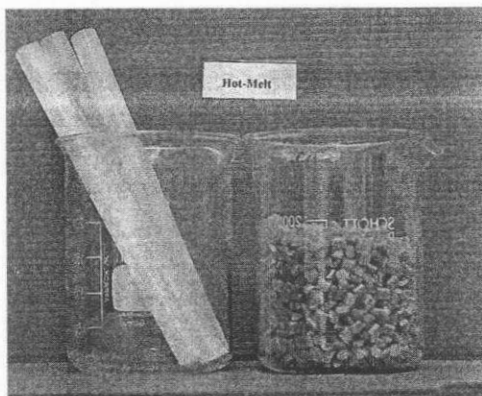
ภาพที่ 2.10 กาวเรซินโพลีไวนิลอะซิเตด (PVAc resin)

2.2.3 กาวระบบร้อนเหลว (Hot-Melt Systems)

2.2.3.1 กาวร้อนเหลวชนิด EVA (EVA Hot-Melts)

กาว Ethylene vinyl acetate เป็นส่วนผสมของ EVA resin ซึ่งเป็นตัวหลักในการเกิดการยึดติด (Adhesion) และการแตะติด (Tack) และตัวอุดพวกแร่ธาตุ (Mineral filler) เพื่อเป็นตัวเสริมการยึดจับ (Cohesion) และอุดรูของกาวและยังช่วยลดต้นทุนด้วย นอกจากนี้ยังมีส่วนผสมของซีฟี่เล็กน้อย เพื่อควบคุมระยะเวลาการเปิดและอัตราเร่งการแข็งตัว และยังมี Anti-oxidant เพื่อใช้ลดแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์ในหม้อต้มกาวที่ร้อน การผลิตเริ่มโดยการใส่เรซิน, สารเติม (Filter), สารแอนติออกซิเดนต์ ลงในเครื่องผสมแบบ Z-blade ที่ร้อน ซึ่งเป็นเครื่องที่ใช้บดและตัดเรซินร้อนและให้แน่ใจว่าผสมได้ทั่วถึงสมบูรณ์ ทันทีที่ส่วนผสมเข้ากันได้ดี ส่วนผสมอื่นที่เหลือถูกเติมและผสมคลุกต่อไปอีก 30 นาที หลังจากนั้นส่วนผสมทั้งหมดจะถูกเทสู่โต๊ะเย็นที่จัดทำขึ้นให้กาวแข็งตัวก่อน จะทำการตัดเป็นเม็ดๆหรืออัดรีด (Extrude) ออกมาเป็นเม็ดหรือรูปร่างต่างๆขนาดต่างๆตามต้องการ รูปร่างของกาวเป็นสิ่งสำคัญมากในการนำไปใช้เพื่อให้แน่ใจว่าได้รับความร้อน ที่เร็วในการทา กาว สำหรับการติดขอบ (Edge-bander) โดยปราศจากการเกิดการเสื่อมสภาพของกาวจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เม็ดกาวมักจะถูกเคลือบด้วยแป้ง talc เพื่อป้องกันการจับเป็นก้อนในถุง เครื่องอัดรีด (Extruders) มีการใช้สำหรับการผสมด้วยเหมือนกัน และสามารถผลิตกาวในลักษณะต่อเนื่อง ซึ่งช่วยให้สามารถทำเป็นเม็ดๆ ได้ง่ายขึ้นมาก อย่างไรก็ตาม เครื่องอัดรีดก็ไม่ใช่ว่าจะประสบผลสำเร็จเสมอไป เนื่องจากการผสมของส่วนผสมต่างๆ ไม่ละเอียดเหมือน Z-blade Mixer แต่เป็นการดีในการเริ่มต้น หรือ เปิดเครื่องสำหรับ Z-blade หรือ blender อื่น โครงสร้างพื้นฐานของ EVA polymer อาจจะมีปริมาณ Vinyl acetate สูง ปานกลาง ต่ำ หากมี acetate ในปริมาณสูงจะทำให้มีคุณสมบัติเกิดการยึดเหนี่ยวเข้ากันได้ดีกับสารเติมอื่น มีระยะเวลาก่อนประกบ (Open time) ได้นานขึ้น มีความต้านทานความร้อนต่ำลง ละลายในตัวทำละลายได้มากขึ้น

กาวร้อนเหลว EVA นี้ นิยมใช้กันมากถึง 80% ในการติดแถบขอบของแผ่นไม้ และก็มีการใช้กันบ้างในการประกบติดไม้ โดยเฉพาะในการใช้ระบบกาวคู่ ร่วมกับกาว PVAc ในระบบนี้กาวร้อนเหลวจะใช้เพื่อยึดข้อต่อหรือส่วนที่ต้องการเชื่อมยึด ในขณะที่กาว PVAc แข็งตัวและเป็นแรงยึดเหนี่ยวหลัก



ภาพที่ 2.11 กาวร้อนเหลวชนิด EVA (EVA Hot-Melts)

2.2.3.2 กาวโพลีเอไมด์ (Polyamide Resins)

มีการใช้ในปริมาณน้อย ส่วนใหญ่สำหรับการติดขอบที่ต้องการความต้านทานสูงต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้น กาวชนิดนี้คล้ายในลอนและเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันโพลีเมอร์ที่เป็น กรดไขมัน (Fatty acid polymers) กับ ไดอะมีน (Diamine) ถ้าหากต้องการนำมาใช้งาน เนื่องจากจุดหลอมเหลวจะสูงมากและง่ายต่อการ oxidation ซึ่งสามารถทำให้สมบัติการยึดติดเสียไป ดังนั้นในบางครั้งจึงมีการใช้เครื่องทาที่ปิดอยู่ในก๊าซไนโตรเจน กาวโพลีเอไมด์ มีการใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับการติดขอบ แต่จะไม่แพร่หลายในที่อื่น เนื่องจากมีราคาแพงกว่า EVA และ โพลียูรีเทน หลายเท่าตัว

2.2.3.3 กาวโพลีโอลีฟิน (Polyolefines)

ใช้กันไม่แพร่หลายนักในอุตสาหกรรมไม้ เนื่องจากสมบัติการยึดติดยังไม่เด่น แต่สำหรับการติดแถบขอบแล้ว กาวโพลีโอลีฟิน อยู่ในระดับปานกลางของการต้านทานความร้อนระหว่างการใช้ EVA และ กาวโพลีเอไมด์ และยังมีราคาที่พอรับได้ กาวนี้เป็นส่วนผสมของ Polypropylene, Polyethylene และ เรซินอื่นคล้ายกับ Isobutyl-isoprene rubber เพื่อทำให้เกิดการแตะติด (Tack) มีลักษณะการหลอมเหลวที่ดีกว่า โพลีเอไมด์มีความแข็งแรงการยึดเหนี่ยวที่ดี และมีพิภคของการหลอมเหลวแคบกว่า ซึ่งจะช่วยให้การแข็งตัวเร็วขึ้น แต่สมบัติการเป็นกาวด้อยกว่าเมื่อใช้กับพื้นผิวที่ราบเรียบอย่างเช่น PVC

2.2.3.4 กาวเรซินโพลียูรีเทน (Polyurethane Resins)

กาวเรซินร้อนเหลวโพลียูรีเทน (Polyurethane hot melt resins) ที่ใช้ในการติดแถบขอบจะมีลักษณะการใช้งานและผลิตภัณฑ์คล้ายกับกาวร้อนเหลวเดิม แต่จะทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศและวัสดุที่ต้องการติดเกิดเป็นแนวกาวที่มีสมบัติคล้ายกับการเกิดจากกาวชนิดแข็งตัวเมื่อร้อน (Thermo-setting resins) กาวเรซินโพลียูรีเทน ทำจากการทำปฏิกิริยาไดโอล (Diol) กับไดไอโซไซยาเนต (Diisocyanate) เกิดเป็นโครงสร้างร่างแหที่มีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (Hydroxyls) ต่อไป การใช้งานจะใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่า EVA เรซิน คือประมาณ 100-140 องศาเซลเซียส ต้องป้องกันความชื้นในการเก็บและระหว่างการใช้ ซึ่งอาจจะต้องใช้อุปกรณ์ปิดที่มีก๊าซไนโตรเจน การใช้กาวนี้จะใช้เฉพาะที่ต้องการใช้งานที่มีการยึดเหนี่ยวสูง เช่น เมื่อต้องการติดกาวตรงรอยแตกของประตูกันไฟ มีราคาสูงประมาณมากกว่า 6 เท่าของ EVA แต่ก็คุ้มค่าหากใช้งานที่มีประสิทธิภาพสูง ในบางกรณีใช้ติดแถบขอบโดยไม่ใช้ Nitrogen blanket โดยเครื่องจ่ายกาวจะร้อนเหลวบนผิวที่จะติดกาว ทันทีที่แผ่นถูกทาแล้ว ด้านหน้าของเครื่องจ่ายกาวจะปิดโดยมีแผ่นเลื่อนมาปิดเพื่อป้องกันกาวจากการ สัมผัสกับอากาศหรือความชื้น

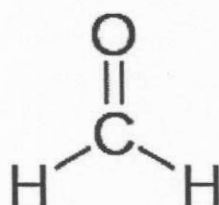
2.3 มลภาวะอากาศภายในอาคาร (Indoor air pollution)

มลภาวะทางอากาศภายในอาคาร (Indoor air pollution) ที่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้อาคารนั้นมีมากมายหลายชนิดแต่ที่สำคัญและเป็นสาเหตุให้เกิดการเจ็บป่วยในมนุษย์ โดยเฉพาะโรคมะเร็ง ได้แก่ เรดอน (Radon) แอสเบสตอส (Asbestos) และ ฟอรั่มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) สารทั้ง 3 ชนิดนี้เป็นสารที่ International Agency of Research on Cancer: IARC ได้รับรองแล้วว่า เป็นสารที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ (สถาบันมะเร็งแห่งชาติ กรมการแพทย์)

2.3.1 ฟอรั่มัลดีไฮด์ (Formaldehyde)

ฟอรั่มาลีน-ฟอรั่มัลดีไฮด์ ทั้งสองตัวนี้ในทางเคมีคือสารตัวเดียวกันเพียงแต่ว่าเมื่ออยู่ในรูปของสารละลายจะเรียกว่า ฟอรั่มาลีน ส่วน ฟอรั่มัลดีไฮด์ มีสถานะเป็นก๊าซฟอรั่มัลดีไฮด์ และสารประกอบของฟอรั่มัลดีไฮด์ เป็นสารไม่มีสี ติดไฟง่ายที่อุณหภูมิห้อง มีกลิ่นฉุนแสบจมูก ส่วนมากที่จำหน่ายกันอยู่ทั่วไปอยู่ในรูปของสารละลายน้ำภายใต้ชื่อน้ำยาฟอรั่มาลีน โดยปกติสารละลายนี้จะไม่เสถียรเมื่อเก็บไว้นาน โดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูง จะกลายเป็นกรดฟอรั่มิก จึงมีการเติมสารยับยั้งหรือที่เรียกว่าสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวสแตบิไลเซอร์ เช่น เมทานอล 5-15 เปอร์เซ็นต์ หรือมีขายในรูปของพาราฟอรั่มัลดีไฮด์ มีประโยชน์ในฐานะที่เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตภัณฑ์อื่นอีกมากมาย เช่น นำไปทำเม็ดพลาสติกชนิดต่าง ๆ สารเหนียวสำหรับผลิตไม้อัดที่มีชื่อเรียกกันว่า ยูเรีย-ฟอรั่มัลดีไฮด์ หรือ ฟีนอล-ฟอรั่มัลดีไฮด์ ที่ใช้เป็นกาวสำหรับเฟอร์นิเจอร์ไม้ ใช้ทำโฟมเพื่อ

เป็นฉนวน การผลิตยาง พลาสติก รูปหนัง วัตถุระเบิด สีย้อม เป็นต้น สำหรับในวงการแพทย์ใช้ประโยชน์มากมาย อย่างเช่นการคงศพ ใช้ในเวชภัณฑ์ เช่นยาอม ใช้ฆ่าเชื้อโรค และฟอกหนัง เป็นต้น ไอของฟอร์มัลดีไฮด์จะระคายตา จมูก และผิวหนัง ทำให้เป็นแผลหรือถึงขั้นตาบอด ถ้าสูดดมเข้าไปมาก ๆ จะทำให้น้ำท่วมปอด จนหายใจไม่ออก แน่นหน้าอก และตายในที่สุด อาการเหล่านี้ อาจเกิดขึ้นหลายชั่วโมงหลังจากได้รับสารโดยไม่มีอาการเจ็บปวดเลยก็ได้ หากได้รับปริมาณน้อย เป็นเวลานาน จะมีอาการไอและหายใจติดขัดเพราะหลอดลมอักเสบ เป็นต้น (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, 2553)



ภาพที่ 2.12 โครงสร้างของฟอร์มัลดีไฮด์ (Wikipedia)

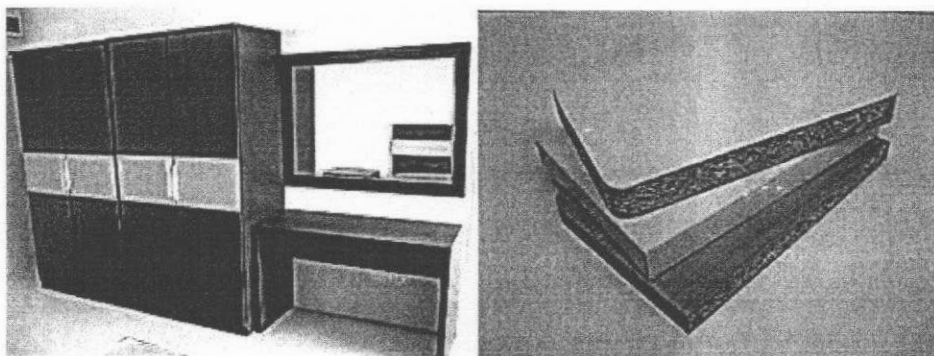
ฟอร์มัลดีไฮด์ เป็นสารมลพิษที่สำคัญเกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศในอาคาร เนื่องจากสารนี้ได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางกับวัสดุก่อสร้างและสิ่งตกแต่งภายใน วัสดุที่เป็นแหล่งที่มาของ ฟอร์มัลดีไฮด์ที่สำคัญได้แก่ ไม้อัดและผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไม้อัด โฟมที่ใช้ทำฉนวนกันความร้อน ผลิตภัณฑ์กระดาษไฟเบอร์กลาส ผ้า่านและพรมปูพื้น ฟอร์มัลดีไฮด์ยังใช้เป็นส่วนผสมของสารเคลือบผิวเฟอร์นิเจอร์และโต๊ะตู้ต่างๆ รวมทั้งพื้นผนังที่ทำด้วยไม้ (คลังปัญญาไทย, 2553)

ในอุตสาหกรรมการผลิตไม้อัดและผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไม้อัด เช่น แผ่นไม้พาร์ติเคิล (Particle board) และแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นขนาดกลาง (Medium density fiber board, MDF) ซึ่งเป็นวัสดุก่อสร้างและผลิตเฟอร์นิเจอร์ การผลิตแผ่นไม้อัดประเภทนี้จะใช้กาวประสานเส้นใยในแผ่น โดยทั่วไปจะใช้กาว Urea Formaldehyde (UF) ดังนั้นแล้ว เฟอร์นิเจอร์ที่ผลิตจากไม้อัดประเภทนี้จะมีการระเหยของฟอร์มัลดีไฮด์ออกมาตลอดเวลา ซึ่งส่งผลร้ายต่อสุขภาพ ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว แม้แต่ไม้ตามธรรมชาติเองก็มีฟอร์มัลดีไฮด์ในตัว แต่มีอยู่น้อยมากในปริมาณที่ไม่เป็นผลร้ายใดๆต่อผู้ใช้งาน ซึ่งต่างจากไม้อัด หรือแผ่นประกอบ MDF ที่มีกาวประสานเป็นฟอร์มัลดีไฮด์ในปริมาณสูง

การได้รับฟอร์มัลดีไฮด์มากกว่า 0.1 ส่วนในล้านส่วน (ppm) จะทำให้เกิดอาการระคายเคืองตา และการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อทางเดินหายใจส่วนบน และระคายเคืองผิวหนัง ทำให้

เกิดอาการภูมิแพ้และหอบหืด นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับความผิดปกติของกระดูกและการเจริญพันธุ์อีกด้วย และการได้รับฟอร์มาลดีไฮด์ในระยะยาวจะทำให้เกิด Nasal sinus cancer, Nasopharyngeal cancer และ Brain cancer

ประเทศตะวันตกได้มีการกำหนดเกณฑ์แยกจำพวกไม้อัดตามปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีอยู่ในไม้อัดออกเป็น 5 กลุ่มคือ E0 – E5 โดยที่ E0 หมายถึงปราศจากฟอร์มาลดีไฮด์ หรือมีอยู่ในอัตราที่น้อยมาก ไม่ทำอันตรายใดๆต่อผู้ใช้ ขณะที่ E5 หมายถึงมีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์อยู่มาก ปัจจุบันประเทศที่พัฒนาแล้วประกาศกฎเกณฑ์นำเข้าไม้อัดไม่ให้มีฟอร์มาลดีไฮด์หรือมีในปริมาณน้อย เนื่องจากคำนึงถึงปัญหาสุขภาพ และผลร้ายที่ตามมาต่อประชากรในประเทศมากกว่าราคาไม้ที่ต้องมีราคาถูก เพราะไม่อาจปฏิเสธได้ว่าบ้าน ออฟฟิศ อพาร์ทเมนต์ ที่อยู่อาศัยทุกประเภทล้วนต้องมีเฟอร์นิเจอร์และของตกแต่ง ดังนั้นการป้องกันด้วยการใช้เฟอร์นิเจอร์ที่ปลอดจากฟอร์มาลดีไฮด์จึงเป็นสิ่งที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้



ภาพที่ 2.13 เฟอร์นิเจอร์ที่ผลิตจากไม้อัด

2.4 ปริมาณและการระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์จากผลิตภัณฑ์ไม้อัด

2.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการระเหย และการตกค้างของฟอร์มาลดีไฮด์ในไม้อัด

2.4.1.1 อัตราส่วนโมลของฟอร์มาลดีไฮด์ต่อกาว (Resin Molar Ratio) จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณของฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีอยู่ในกาวซึ่งจะเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์ทั้งในระหว่างการผลิตและในผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ตัวอย่างของการศึกษาของความแตกต่างของ Resin Molar Ratio ที่มีผลต่อการตกค้างของฟอร์มาลดีไฮด์ในแผ่นชั้นไม้อัด

2.4.1.2 ชนิดไม้ (Wood Species) จากการศึกษาความแตกต่างของชนิดไม้ที่มีผลต่อการระเหยของ Formaldehyde พบว่าชนิดไม้ที่มีค่า PH ต่ำจะให้ค่าการระเหยของ Formaldehyde ต่ำด้วย

2.4.1.3 ความชื้น (Moisture Content) คือไม้ที่มีความชื้นระหว่างการผลิตสูงจะทำให้มีการตกค้างของ Formaldehyde สูงเมื่อเทียบกับไม้ที่มีความชื้นต่ำ เนื่องจากจะมีการระเหยของ Formaldehyde ระหว่างการผลิตได้น้อยกว่า

ตารางที่ 2.2 ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ตามสัดส่วนโมลของฟอร์มาลดีไฮด์ (นราแกนต๋ พัวพัน, 2545)

Resin Molar Ratio Formaldehyde : Urea	Free Formaldehyde of Resin %	Formaldehyde content (Perforator method) mg/100g
1.80 : 1	Approx. 1.20	170
1.60 : 1	Approx. 0.60	100
1.40 : 1	Approx. 0.30	50
1.30 : 1	Approx. 0.25	40
1.20 : 1	Approx. 0.20	25
1.10 : 1	Approx. 0.15	10
1.05 : 1	Approx. 0.10	<10

2.4.1.4 ชนิดของกาว (Type of Resin) UF, MUF จะให้ค่าการระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์ มากกว่า PF

2.4.1.5 กรรมวิธีการผลิต เช่น อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดรีด ระยะเวลาในการอัดรีด ปริมาณกาวที่มีในผลิตภัณฑ์ การถ่ายเทของอากาศ อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ สภาวะแวดล้อมในระหว่างการผลิต ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะมีผลต่อการระเหยของ Formaldehyde จากผลิตภัณฑ์ไม้ในระหว่างการผลิตจะช่วยให้การตกค้างของ Formaldehyde ในผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปน้อยลง (นราแกนต๋ พัวพัน, 2545)

2.4.2 มาตรฐานและวิธีทดสอบ

ในปัจจุบันวิธีการวัดปริมาณ Formaldehyde ในผลิตภัณฑ์ไม้จะนิยมวัดอยู่ 2 วิธี คือ วัดปริมาณ Formaldehyde ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์หรือวัดปริมาณ Formaldehyde ที่ระเหยออกมา ซึ่งแต่ละประเทศจะมีการทดสอบแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแต่ละมาตรฐาน เช่น ในสหรัฐอเมริกา จะใช้มาตรฐาน ANSI (American National Standard Institute) ซึ่งจะวัดค่า การระเหยของ Formaldehyde

โดยมาตรฐานของการระเหยกำหนดดังตารางที่ 2.3 ในสหภาพยุโรป ใช้มาตรฐาน ENV717-1 ซึ่งผลิตภัณฑ์ไม้ที่สามารถผ่านมาตรฐานระดับ E1 คือ มีการระเหยของฟอร์มัลดีไฮด์น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.1 PPM (Parts Per Million) (นราگانต์ พัวพัน, 2545)

ตารางที่ 2.3 ANSI Standards for formaldehyde emission (นราگانต์ พัวพัน, 2545)

Product	Standards	Loading rate	
	ppm	l ² /l ³	m ² /m ³
MDF	0.3	0.08	0.26
Particleboard (all grades other than flooring)	0.3	0.13	0.43
Flooring grade particle board and underlayment	0.2	0.13	0.40
Hardwood plywood (all grades other than wall panel)	0.2	0.13	0.43
Wall panel (Hardwood plywood)	0.2	0.29	0.95

มาตรฐานที่ใช้ในญี่ปุ่นมี 2 มาตรฐาน คือ JIS (Japan Industrial Standard) จะใช้กับ PB หรือ MDF ส่วนค่ามาตรฐาน JAS (Japan Agricultural Standard) ซึ่งจะใช้กับผลิตภัณฑ์ไม้อัด LVL, PARQUET, ไม้อัดประสาน ซึ่งแสดงดังตารางที่ 2.4 และ 2.5

ออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ กำหนดปริมาณของฟอร์มัลดีไฮด์ไว้ไม่เกิน 10 มิลลิกรัม/100 กรัม ที่ความชื้น 6.5% ตามมาตรฐาน EN120 อย่างไรก็ตามออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ได้มีการเปรียบเทียบกับมาตรฐานของญี่ปุ่นสำหรับ Desiccator Test จะมีค่าอยู่ที่ 1.8 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับ PB และ 1.1 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับ MDF

ตารางที่ 2.4 JIS for MDF และ PB

Classification	Emission quantity of formaldehyde	
	Mean	maximum
F****	0.3 mg/l or under	0.4 mg/l or under
F***	0.5 mg/l or under	0.7 mg/l or under
F**	1.5 mg/l or under	2.1 mg/l or under

ตารางที่ 2.5 JAS for plywood, LVL, and Flooring products

Product	Plywood, LVL, flooring		Glulam	
	Average value, mg/L	Maximum value, mg/L	Average value, mg/L	Maximum value, mg/L
Fc0	0.5	0.7	0.5	0.7
Fc1	1.5	2.1	1.5	2.1
Fc2	5.0	7.0	NA	NA
Fc2-s	NA	NA	3	4.2

2.4.3 วิธีตรวจวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์

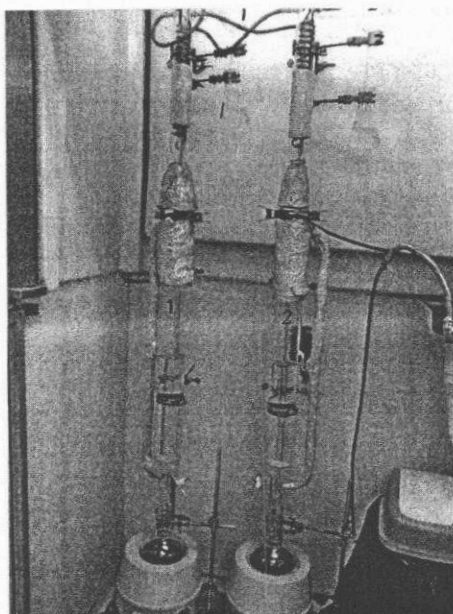
วิธีการตรวจวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์จากผลิตภัณฑ์ไม้อัดมีหลายวิธี เช่น วิธีการ Flask test, Perforator test, และ Desicator test ตัวอย่างหลักการวิเคราะห์ของแต่ละวิธี ดังนี้

2.4.3.1 Flask method

วิธีการทดสอบนี้ไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและไม่ยุ่งยาก หลักการของวิธีการนี้คือ วางชิ้นทดสอบเหนือน้ำในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิ และสภาวะอากาศที่คงที่ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 °C ฟอร์มาลดีไฮด์จะระเหยออกมาและทำปฏิกิริยากับน้ำ จากนั้นนำสารละลายฟอร์มาลีนที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ ซึ่งค่าที่วิเคราะห์ได้เป็นปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ต่อน้ำหนักตัวอย่างที่ปริมาณความชื้นที่กำหนด งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า อุณหภูมิและความชื้นที่สูงขึ้นจะไม่มีผลแปรผัน โดยตรงต่อปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่ระเหยออกมา (นราکانด์ พัวพันธ์, 2545)

2.4.3.2 Perforator method

วิธีการทดสอบนี้เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในวงการอุตสาหกรรม หลักการของวิธีการนี้คือ ตัวอย่างชิ้นไม้หนักประมาณ 100 g ขนาด 25*25 mm จะถูกนำไปต้มในสารละลายโทลูอินภายใต้กระบวนการรีฟลักเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ค่าที่วิเคราะห์ได้จะเป็น มิลลิกรัมของฟอร์มาลดีไฮด์ต่อ 100 กรัมของน้ำหนักอบแห้งที่ความชื้น 6.5% การทดสอบด้วยวิธีนี้พบว่า ความหนาแน่น ความหนา ความพรุน และความชื้นของชิ้นไม้ไม่มีผลต่อปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่วิเคราะห์ได้ (นราکانด์ พัวพันธ์, 2545)



ภาพที่ 2.14 ชุดเครื่องมือ Perforator test

2.4.3.3 Chamber method

หลักการของวิธีนี้คือ นำตัวอย่างของชิ้นไม้ที่จะทดสอบมาตัดให้ได้ขนาดตามที่กำหนดแล้วใส่ลงใน Chamber ($0.225-1 \text{ m}^3$ สำหรับ European method และ 20 L สำหรับ Japanese method) ที่มีการควบคุม อุณหภูมิ และความชื้น วิธีนี้จะมีการป้อนอากาศเข้าไปภายใน chamber ด้วย และเก็บตัวอย่างของอากาศที่มีฟอร์มัลดีไฮด์ปะปนอยู่ออกมาตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของฟอร์มัลดีไฮด์ (Risholm-Sundman, 2007)

2.4.3.4 Desicator method

วิธีการทดสอบนี้ใช้กันอย่างแพร่หลายในญี่ปุ่น อเมริกาเหนือ และ ออสเตรเลีย เนื่องจากตัวอย่างของชิ้นไม้ที่นำมาทดสอบด้วยวิธีการนี้มีขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงเป็นตัวแทนที่ดีของผลิตภัณฑ์จากไม้ที่ผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม หลักการของวิธีการนี้คือ นำชิ้นไม้มาเก็บในโถดูดความชื้นเหนือภาชนะบรรจุ น้ำ ปริมาณ 300 ml ฟอมัลดีไฮด์ที่ระเหยออกมาจะถูกดูดเก็บไว้ในน้ำ และจะถูกนำมาวิเคราะห์หาปริมาณฟอมัลดีไฮด์ที่ระเหยออกมา ค่าที่วิเคราะห์ได้เป็น มิลลิกรัมของฟอมัลดีไฮด์ต่อลิตรของสารละลายฟอมาลีน ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ความชื้นและความหนาของชิ้นไม้มีผลกระทบต่อปริมาณฟอมัลดีไฮด์ที่ตรวจวัดได้ (นราแกนตพัณัน, 2545)



ภาพที่ 2.15 วิธีการทดสอบแบบ Desiccator มาตรฐาน JIS และ JAS

2.4.3.5 Gas analysis method

หลักการของวิธีนี้คือ นำชิ้นตัวอย่างของไม้ทดสอบที่ทราบขนาดวางไว้ในภาชนะ ที่มีการควบคุม อุณหภูมิ ความชื้น การไหลของอากาศ และความดันภายในภาชนะ ฟอर्मัลดีไฮด์ที่ระเหยออกมาจากชิ้นไม้จะปะปนกับอากาศภายในภาชนะแล้วจึงดูดเอาตัวอย่างอากาศออกมาทำการหาค่าปริมาณของฟอर्मัลดีไฮด์ โดยวิธีนี้จะใช้อุณหภูมิในการทดสอบค่อนข้างสูง (60°C) ความชื้นต่ำ ($\leq 3\% \text{RH}$) และ อัตราการแลกเปลี่ยนของอากาศสูง (15 h^{-1}) ซึ่งแตกต่างจากวิธี Chamber method ที่ทำการทดสอบในสภาวะห้อง (Risholm-Sundman, 2007)

2.4.4 การคำนวณหาความเข้มข้นของฟอर्मัลดีไฮด์

2.4.4.1 ไอโอโดเมตรี (Iodometry)

การวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของฟอर्मัลดีไฮด์ปริมาณน้อยในน้ำ โดยวิธีไอโอโดเมตรี เป็นการใช่วิธีการไทเทรตแบบอ้อม เนื่องจากฟอर्मัลดีไฮด์ (HCHO) ไม่สามารถทำปฏิกิริยากับไอโอดีน (I_2) ได้โดยตรง ดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนไอโอดีนให้อยู่ในรูปอื่นที่สามารถทำปฏิกิริยากับฟอर्मัลดีไฮด์ได้เสียก่อน ซึ่งได้แก่ ไฮโปไอโอไดต์ (IO^-) เมื่อไฮโปไอโอไดต์ทำปฏิกิริยากับฟอर्मัลดีไฮด์สมบูรณ์แล้ว จึงเปลี่ยนไฮโปไอโอไดต์ที่เหลือกลับเป็นไอโอดีนอีกครั้ง แล้วจึงไทเทรตหาปริมาณไอโอดีนที่เหลือด้วยโซเดียมไธโอซัลเฟตจึงทราบปริมาณไอโอดีนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับฟอर्मัลดีไฮด์ซึ่งก็คือปริมาณฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำ

2.4.4.2 Photometric analysis

เป็นการวิเคราะห์โดยวัดการดูดกลืนแสงของสารที่มีสี โดยการผ่านแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วงของแสงอินฟราเรด (Infrared) แสงวิสิเบิล (Visible light) หรือในช่วงแสงอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet) เข้าไปในสารละลาย พบว่าแสงจะถูกดูดกลืน ณ ที่ช่วงความยาวคลื่นที่ค่าบางค่า ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่ละลายในสารละลายนั้น การวัดค่าการดูดกลืนแสงทำได้

โดยการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) มีหลอดไฟกำเนิดแสง (light source) ส่งแสงผ่านไปยังตัวแยกแสง(monochromator) ผ่านสารตัวอย่าง (sample) ผ่านตัวไวแสง (photosensor) แล้วจึงอ่านค่าออกมา แสงที่มองเห็น (visible light) เป็นแสงสีขาวที่เกิดจากการรวมตัวกันของแสงสีต่างๆ มีสีหลักอยู่ 7 สี คือ สีม่วง สีคราม สีน้ำเงิน สีเขียว สีเหลือง สีแสด และสีแดง เมื่อแสงสีขาวตกกระทบวัตถุแล้วทำให้มองเห็นวัตถุเป็นสีใดๆ แสดงว่าวัตถุดูดกลืนแสงสีอื่นๆหมด แต่สะท้อนแสงที่ตามองเห็นออกมา แต่ถ้าวัตถุนั้นๆดูดกลืนทุกสีไว้ได้หมดจะมองเห็นวัตถุเป็นสีดำ

สารที่ต้องการหาปริมาณจะต้องมีสี หรือเมื่อทำปฏิกิริยากับสารอื่นแล้วก่อให้เกิดสารที่มีสี (Colorimetric) ในทางทฤษฎีสารละลายมีสีที่ใช้ในการวิเคราะห์ควรมีลักษณะดังนี้

- 1) สีของสารควรมีความเข้มมากพอที่จะวัดค่าการดูดกลืนแสงได้
- 2) สีของสารที่อยู่ในสารละลายจะต้องอยู่ตัวไม่จางลงอย่างรวดเร็ว
- 3) สีของสารจะต้องไม่เปลี่ยนแปลงหรือจางลง เมื่อ pH หรือ อุณหภูมิของสารเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย
- 4) สารรีเอเจนต์ที่ทำให้เกิดสีกับสารที่จะทำการวิเคราะห์จะต้องไม่มีสีหรือไม่ดูดกลืนแสงที่มีช่วงคลื่นเดียวกับสารที่มีสีที่เกิดขึ้น
- 5) ปฏิกิริยาของรีเอเจนต์ที่ทำให้เกิดสารที่มีสี กับสารที่ต้องการวิเคราะห์ต้องใช้สารที่มีสีชนิดเดียวกัน

ขั้นตอนการดำเนินการ จะเริ่มจากการทำกราฟมาตรฐานของสารละลาย โดยการเตรียมสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง จากนั้นพล็อตค่าระหว่างแอมซอบเบแนนซ์ (Absorbance) ที่วัดได้กับค่าความเข้มข้นของสาร จะได้กราฟมาตรฐานของสารละลายนั้นออกมา แล้วเมื่อทำการทดสอบจึงนำค่าการดูดกลืนแสงของสารที่ต้องการทราบมาเทียบกับกราฟมาตรฐานที่ทำไว้จะทำให้ทราบค่าความเข้มข้นของสารได้ (พรพรรณ อุดมกาญจนนันท์, 2551)

2.5 การศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาของ Sumin Kim และ Hyun – Joong Kim, 2005 ได้ทำการเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์จากวัสดุตกแต่งที่ทำจากไม้อัด ที่อุณหภูมิต่างๆ ภายใต้สภาวะ ONDOL (Flooring heating) ซึ่งทำการศึกษาโดยจำลองห้องที่มีการให้ความร้อนโดย ONDOL ที่มีการปูพื้นห้องด้วยวัสดุลามิเนต (Laminate flooring) และทำการวัดอุณหภูมิตามจุดต่างๆ ได้แก่

อุณหภูมิภายในห้อง 20 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิในห้อง 10 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิที่พื้นผิวลามิเนต 37 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิระหว่างตัวให้ความร้อนกับพื้นลามิเนตเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการวัดปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยวิธี Desiccator (JIS A 1460) โดยนำวัสดุที่ตัดให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ จากนั้นนำไปอบในเตาอบ (Dry oven) ที่อุณหภูมิ 20, 37 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20 และ 28 วัน แล้วจึงนำไปวัดปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ จากการทดลองพบว่า ปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์มีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น และปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับอุณหภูมิ โดยเป็นไปตามหลักการ Bake - Out (Bayer, 1990; Bayer, 1991; Follin, 1997; Offerman et al., 1993) คือ ที่อุณหภูมิ สูงขึ้น จะเป็นการเร่งให้ปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์สูงขึ้นด้วย

Renata Wiglusz, 2000 และคณะ ทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ และ VOCs จากวัสดุที่ใช้ทำพื้นที่ผลิตจากไม้อัดสองชนิด ได้แก่ Particleboard (Type A) และ High density fiber (HDF) (Type B) ทำการวัดปริมาณการปลดปล่อยโดยวิธี Chamber method ที่อุณหภูมิ 23, 29 และ 50 องศาเซลเซียส เนื่องจากโดยทั่วไปภายใต้สภาวะการให้ความร้อน อุณหภูมิของห้องจะอยู่ระหว่าง 17 – 28 องศาเซลเซียส ในขณะที่พื้นที่ที่มีการให้ความร้อนนั้น อุณหภูมิบริเวณนั้นจะอยู่ระหว่าง 50 – 60 องศาเซลเซียส ดังนั้นการศึกษานี้จึงเลือกใช้อุณหภูมิดังกล่าวในการทดลอง จากผลการศึกษาพบว่า ในวัสดุทั้งสองชนิด เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ ปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์และ VOCs จะเพิ่มขึ้นด้วย ในส่วนของการวัดปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์พบว่า ที่อุณหภูมิ 23 และ 29 องศาเซลเซียส มีปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์น้อยมาก (0.005 – 0.03 ppm) แต่ในกรณีที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นการเหนี่ยวนำให้เกิดการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์มากขึ้น และ วัสดุชนิด A (Particleboard) มีปริมาณการปลดปล่อย ฟอร์มัลดีไฮด์มากกว่าวัสดุชนิด B (HDF) และในส่วนของการวัดปริมาณการปลดปล่อย VOCs พบว่า ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ มากกว่า ที่อุณหภูมิ 29 และ 23 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สรุปได้ว่าปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์มีค่ามากขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น เช่นเดียวกับปริมาณการปลดปล่อย VOCs และวัสดุที่ใช้ทำพื้นที่มาจาก Particleboard มีปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์มากกว่าวัสดุที่มาจาก HDF

ในการศึกษาของ Sumin Kim และ Hyun – Joong Kim, 2005 เป็นการเปรียบเทียบการวัดปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์โดยวิธี Desiccator (JIS A 5908) กับ Perforator (DIN EN 120) จากวัสดุประเภท MDF ที่ใช้กาวยประเภท UF, MF และ MUF จากการศึกษาพบว่า ปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์จากวัสดุที่ผลิตจากกาวยประเภท UF มีปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์มากกว่าวัสดุที่ผลิตจากกาวยประเภท MUF และ MF ตามลำดับ วัสดุที่ผลิตจากกาวยประเภท UF มีปริมาณ

ฟอร์มาลดีไฮด์ที่วัดจากวิธี Desiccator เท่ากับ 7.05 ppm และ 12.1 mg/100 g panel จากวิธี Perforator ส่วนวัสดุที่ผลิตจากกาวประเภท MF มีค่าปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์จากวิธี Desiccator เท่ากับ 0.6 ppm และ Perforator เท่ากับ 2.88 mg/100 g panel ซึ่งจากการศึกษาพบว่าชนิดของกาวที่ใช้มีผลต่อการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ออกมาจากวัสดุ และวัสดุที่ผลิตจากกาวประเภท UF มีปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์มากกว่าวัสดุที่ผลิตจากกาวประเภท MF กาวประเภท UF มีปริมาณการปลดปล่อยจัดอยู่ใน Class E2 (E: Formaldehyde emission grade) ในขณะที่ MF และ MUF จัดอยู่ใน Class E1

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การสร้างกราฟ Formaldehyde calibration curve

3.1.1 วัสดุ อุปกรณ์

- 3.1.1.1 Spectrophotometer
- 3.1.1.2 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
- 3.1.1.3 เครื่องชั่ง
- 3.1.1.4 Formalin (Formaldehyde)
- 3.1.1.5 Ammonium acetate
- 3.1.1.6 Acetyl acetone
- 3.1.1.7 Sulfuric acid
- 3.1.1.8 Sodium thiosulphate
- 3.1.1.9 สารละลายน้ำแปปง 1%
- 3.1.1.10 น้ำกลั่น

3.1.2 วิธีทำ

3.1.2.1 ปิเปต Formaldehyde ปริมาตร 1 ml (Conc. 35-40%) ที่ใช้อยู่ 37% ในขวดวัดปริมาตร 1000 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

3.1.2.2 หาความเข้มข้นของ Formaldehyde ในข้อที่ 1

1) ปิเปต Formaldehyde จากข้อ 1 ปริมาตร 20 ml ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml จากนั้นเติม 0.05 M Iodine และ 1.0 M Sodium hydroxide ปริมาตร 10 ml

2) ปิดปากขวดด้วยพาราฟิล์ม เขย่า วางไว้ในที่มีมืดนาน 15 นาที จากนั้นเติม 1.0 M Sulfuric acid ปริมาตร 15 ml แล้วนำสารละลายที่ได้ไปไทเทรตกับ 0.1 M Sodiumthiosulphate จนสารละลายสีแดงกลายเป็นสีเหลือง (น้ำมันพืช) หยดสารละลายน้ำแปปง 1% 1-2 หยด แล้วไทเทรตต่อจนสารละลายไม่มีสี

3) ทำ Blank โดยคูดน้ำกลั่น 20 ml แล้วเติมสารเคมีเหมือนการไทเทรต Formaldehyde คำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนของ Formaldehyde จากสมการ (3.1)

$$C(\text{HCHO}) = (V_0 - V) \times 15 \times (\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \times 1000/20 \quad (3.1)$$

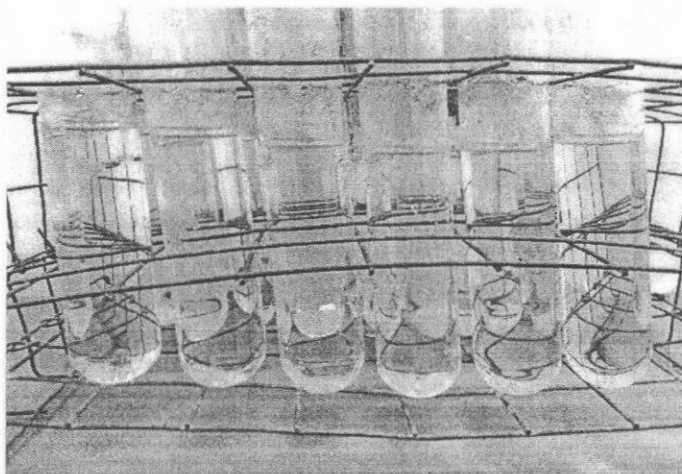
เมื่อ	$C(\text{HCHO})$	คือ ความเข้มข้นที่แน่นอนของ Formaldehyde (mg/L)
	V_0	คือ ปริมาตรของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ในการไทเทรต Blank (ml)
	V	คือ ปริมาตรของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ในการไทเทรต Formaldehyde (ml)

3.1.2.3 นำ Formaldehyde ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนมาเตรียมสารละลาย Formaldehyde ความเข้มข้น 10 mg/l ปริมาตร 1000 ml

3.1.2.4 คูณสารละลาย Formaldehyde จากข้อ 3 มา 0, 5, 10, 20, 50 และ 100 ml ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 100 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 ml จะได้สารละลาย Formaldehyde ความเข้มข้น 0, 0.5, 1, 2, 5 และ 10 mg/l

3.1.2.5 คูณสารละลาย Formaldehyde ที่ได้จากข้อ 4 มาอย่างละ 10 ml ใส่ลงในหลอดทดลอง เติม Acetyl acetone 5 ml และ Ammonium acetate 5 ml ปิดปากหลอดด้วยพาราฟิล์ม

3.1.2.6 นำสารละลายในหลอดไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 65 °C เป็นเวลา 10 นาที



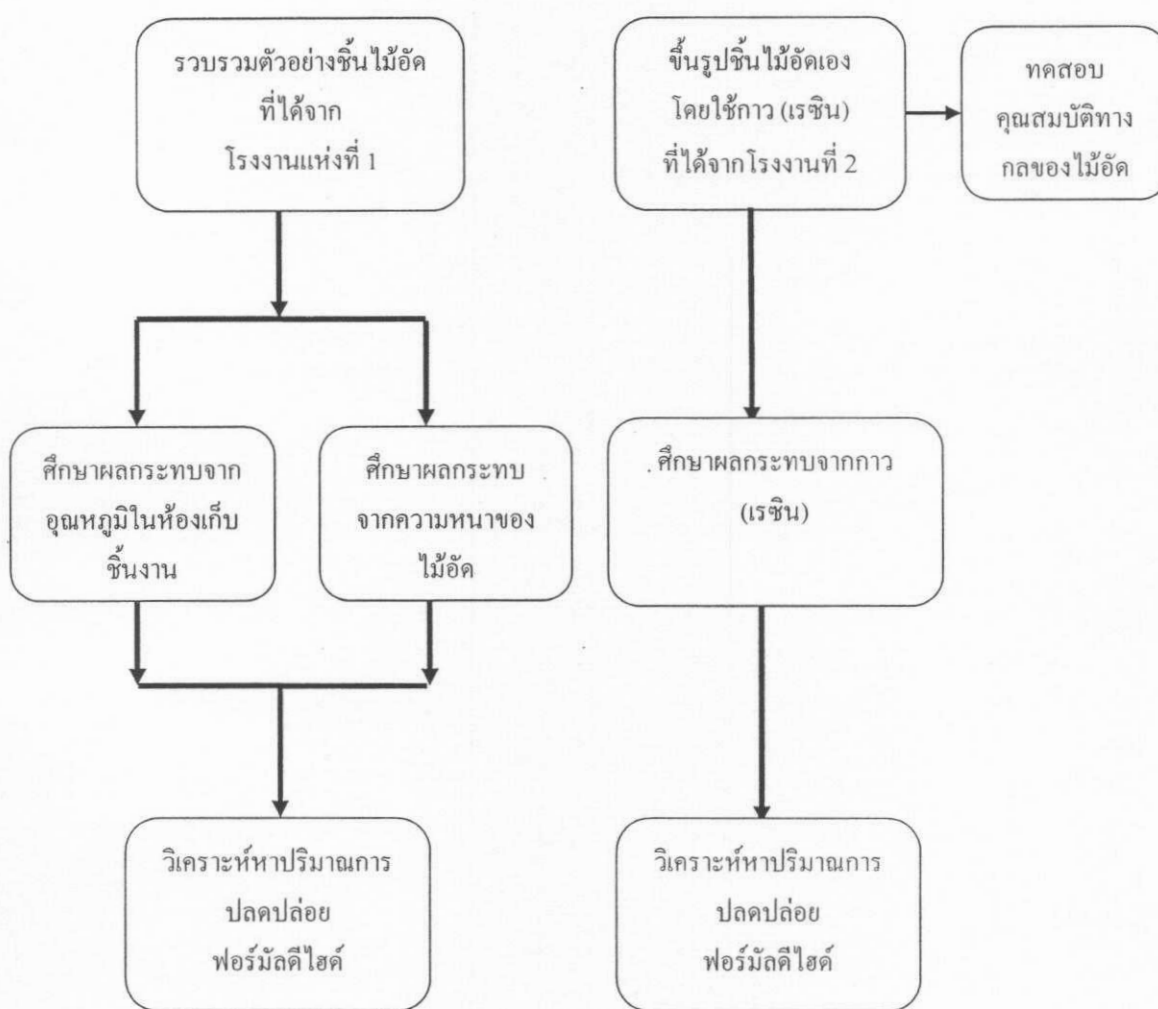
ภาพที่ 3.1 สารละลาย Formaldehyde ที่ความเข้มข้น 0, 0.5, 1, 2, 5 และ 10 mg/l

3.1.2.7 นำสารละลายในหลอดทดลองไปวางไว้ให้เย็นในที่ที่ไม่มีแสง เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 412 นาโนเมตร

3.1.2.8 นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า การดูดกลืนแสง และความเข้มข้นของ Formaldehyde จะได้กราฟ Formaldehyde calibration curve

3.2 การหาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่ระเหยออกจากตัวอย่างชิ้นไม้อัด

การหาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่ระเหยออกจากชิ้นไม้อัด โดยตัวอย่างชิ้นไม้อัดที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นประเภทไม้อัดพาร์ติเคิล โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 3 ชุด ดังนี้



ภาพที่ 3.2 แผนภาพขั้นตอนการศึกษาหาปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์จากไม้อัด

3.2.1 วัสดุ อุปกรณ์

- 3.2.1.1 Desiccator ขนาดปริมาตร 9 ลิตร
- 3.2.1.2 Spectrophotometer
- 3.2.1.3 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
- 3.2.1.4 ชี้น้ำมันอะดิวติเคิล จากโรงงานที่ 1 ในเขตจังหวัดภาคใต้ตอนบน
- 3.2.1.5 กาวชนิด UF(E1), UF(E2) และ MUF จากโรงงานที่ 2 ในเขตจังหวัด

ภาคใต้ตอนบน

- 3.2.1.6 ชี้น้ำมัน จากไม้ยางพารา สำหรับการขึ้นรูปไม้อัดพาร์ติเคิล
- 3.2.1.7 Ammonium acetate
- 3.2.1.8 Acetyl acetone

3.2.2 ศึกษาผลกระทบจากอุณหภูมิ ที่มีต่อปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์

3.2.2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือไม้อัดพาร์ติเคิล ความหนา 15 มิลลิเมตร ขึ้นรูปจากกาวประเภท UF(E2) จากโรงงานที่ 1 โดยหลังจากการขึ้นรูป ตัวอย่างชี้น้ำมันถูกหุ้มด้วยแผ่นพลาสติกก่อนถูกส่งมายังห้องปฏิบัติการ

3.2.2.2 แกะแผ่นพลาสติกที่หุ้มตัวอย่างชี้น้ำมันออก ตัดชี้น้ำมันให้ได้ขนาด 5 x 15 เซนติเมตร และจำนวนตามที่ต้องการ

3.2.2.3 นำชี้น้ำมันที่ตัดแล้วไปเก็บไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน แล้วนำตัวอย่างชี้น้ำมันไปใส่ลงใน Desiccator เหนือภาชนะบรรจุน้ำกลั่น ปริมาตร 300 ml โดยควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.2.2.4 เก็บตัวอย่างน้ำปริมาตร 10 ml ใส่ในหลอดทดลอง เติม Acetyl acetone 5 ml และ Ammonium acetate 5 ml ปิดปากหลอดด้วยพาราฟิล์ม

3.2.2.5 นำสารละลายในหลอดทดลองไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปวางไว้ให้เย็นในที่ที่ไม่มีแสงประมาณ 1 ชั่วโมง

3.2.2.6 วิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์จากการวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 412 นาโนเมตร และหาค่าความเข้มข้นจากกราฟ Formaldehyde calibration curve

3.2.2.7 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 3.2.2.1 – 6 แต่เปลี่ยนเวลาในการเก็บชี้น้ำมันในอ่างควบคุมอุณหภูมิจาก 1 วัน เป็น 2, 3, 5 และ 7 วัน

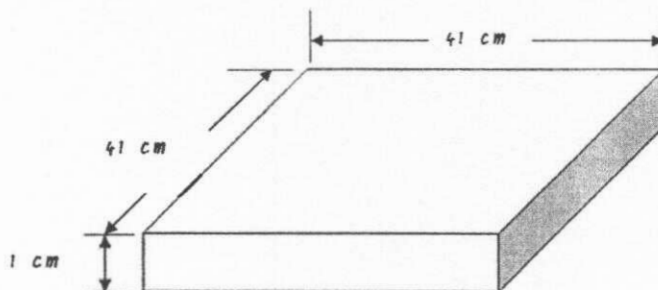
3.2.2.8 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 3.2.2.1 – 7 แต่เปลี่ยนอุณหภูมิในการเก็บตัวอย่างชี้น้ำมันในอ่างควบคุมอุณหภูมิจาก 20 องศาเซลเซียส เป็น 35 และ 40 องศาเซลเซียส

3.2.3 ศึกษาผลกระทบจากชนิดของเรซิน ที่มีต่อปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์

3.2.3.1 การขึ้นรูปชิ้นไม้อัดพาร์ติเคิล โดยใช้กาวประเภท 10L631 (MUF: E2)

1) กำหนดหาน้ำหนักของเศษชิ้นไม้ยางพาราที่จะใช้ขึ้นรูป ต่อ 1 แผ่น

ตามสมการ $\text{Mass} = \text{Volume} \times \text{Density}$



$$\text{Volume} = 41 \text{ cm} \times 41 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$$

$$\text{Density (ของเศษชิ้นไม้ยางพารา)} = 0.75 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{น้ำหนักของชิ้นไม้ต่อการขึ้นรูป 1 แผ่น; Mass} = (41 \text{ cm} \times 41 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}) \times 0.75 \text{ g/cm}^3 = 1260.75 \text{ g}$$

2) กำหนดหาปริมาณกาวที่ใช้ต่อการขึ้นรูปไม้อัด 1 แผ่น โดยกำหนดให้สัดส่วนกาว (MUF) ใช้ 8 - 12 % ต่อน้ำหนักไม้ (w/w) ดังนั้น

กาว MUF	ใช้ไม้ 100 g	ใช้กาว 12 g
	ถ้าใช้ไม้ 1260.75 g	จะใช้กาว = 151.29 g

Solid content MUF = 53 - 55 % (Solid content ขึ้นอยู่กับโรงงานที่ใช้ซึ่งแต่ละโรงงานไม่เหมือนกัน) ดังนั้น

กาว MUF	ใช้กาว 55 g	ในกาวเหลว 100 g
	ถ้าใช้กาว 151.29 g	จะใช้กาวเหลว = 275.07 g

3) กำหนดหาปริมาณ Catalyst (Hardener) ที่ใช้ต่อการขึ้นรูปไม้อัด 1 แผ่น โดยกำหนดให้สัดส่วน 10 % ต่อน้ำหนักของกาว ดังนั้น

กาว 100 g	ใช้ Catalyst 1 g
ถ้ากาว 275.07 g	จะใช้ Catalyst = 2.75 g

สรุปว่า ในการขึ้นรูปไม้อัด 1 แผ่น ประกอบด้วย

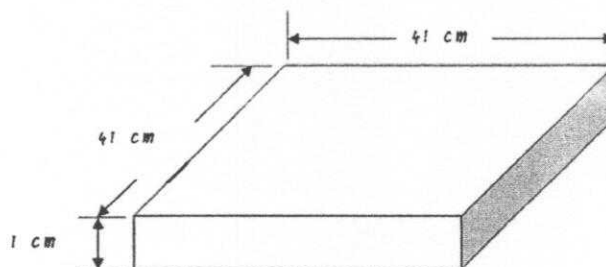
เศษชิ้นไม้	1260.75 g
กาว	275.07 g
Catalyst	2.75 g

3.2.3.2 การขึ้นรูปชิ้นไม้อัดพาร์ติเคิล โดยใช้กาวประเภท 10L617A (UF: E1)

และ 10L686 (UF: E2)

1) คำนวณหาน้ำหนักของเศษชิ้นไม้ยางพาราที่จะใช้ขึ้นรูปต่อ 1 แผ่น

ตามสูตร $\text{Mass} = \text{Volume} \times \text{Density}$



$$\text{Volume} = 41 \text{ cm} \times 41 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$$

$$\text{Density (ของเศษชิ้นไม้ยางพารา)} = 0.75 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{น้ำหนักของชิ้นไม้ต่อการขึ้นรูป 1 แผ่น; Mass} = (41 \text{ cm} \times 41 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}) \times 0.75 \text{ g/cm}^3 = 1260.75 \text{ g}$$

2) คำนวณหาปริมาณกาวที่ใช้ต่อการขึ้นรูปไม้อัด 1 แผ่น โดยกำหนดให้สัดส่วนกาว (UF) ใช้ 12 - 14 % ต่อน้ำหนักไม้ (w/w) ดังนั้น

$$\text{กาว UF ใช้ไม้ } 100 \text{ g} \quad \text{ใช้กาว } 12 \text{ g}$$

$$\text{ถ้าใช้ไม้ } 1260.75 \text{ g} \quad \text{จะใช้กาว} = 151.29 \text{ g}$$

Solid content UF = 60 - 65 % (Solid content ขึ้นอยู่กับโรงงานที่ใช้ซึ่งแต่ละโรงงานไม่เหมือนกัน)

$$\text{กาว UF ใช้กาว } 65 \text{ g} \quad \text{ในกาวเหลว } 100 \text{ g}$$

$$\text{ถ้าใช้กาว } 151.29 \text{ g} \quad \text{จะใช้กาวเหลว} = 232.75 \text{ g}$$

3) คำนวณหาปริมาณ Catalyst (Hardener) ที่ใช้ต่อการขึ้นรูปไม้อัด 1 แผ่น โดยกำหนดให้สัดส่วน 10 % ต่อน้ำหนักของกาว ดังนั้น

$$\text{กาว } 100 \text{ g} \quad \text{ใช้ Catalyst } 1 \text{ g}$$

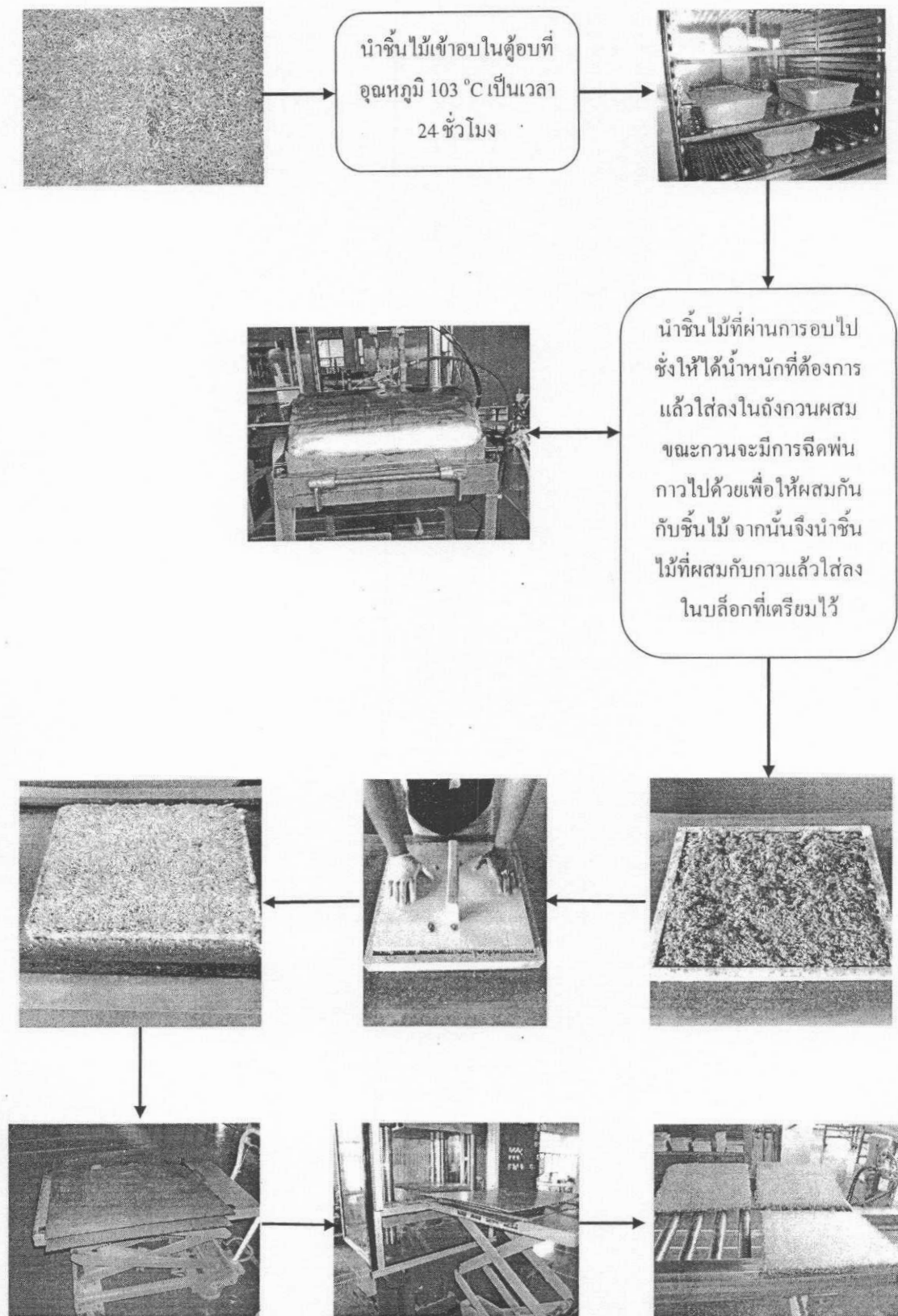
$$\text{ถ้ากาว } 229.23 \text{ g} \quad \text{จะใช้ Catalyst} = 2.32 \text{ g}$$

สรุปว่า ในการขึ้นรูปไม้อัด 1 แผ่น ประกอบด้วย

$$\text{เศษชิ้นไม้} \quad 1260.75 \text{ g}$$

$$\text{กาว} \quad 232.75 \text{ g}$$

$$\text{Catalyst} \quad 2.32 \text{ g}$$



ภาพที่ 3.3 แผนภาพขั้นตอนการทำไม้อัดพาร์ติเคิล

3.2.3.3 วิธีการทำไม้อัด

การทำไม้อัดพาร์ติเคิลที่จะใช้ในการวิจัยครั้งนี้ขั้นตอนการทำแสดงดังรูปที่ 3.3 โดยมีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้

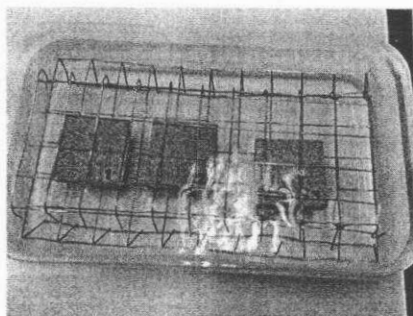
- 1) นำชิ้นไม้ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (หรือจนความชื้นเหลือ 2 – 3 %)
- 2) ชั่งชิ้นไม้ให้ได้น้ำหนักตามที่ต้องการ นำไปใส่ในถังผสม (Rotary drum mixer) เปิดเดินเครื่องพร้อมฉีดพ่นกาว (กาว + Catalyst) จนส่วนผสมเข้ากันดี แล้วจึงปิดเครื่องเปิดฝาดังนำของผสมออกมา
- 3) นำไม้ที่ผสมกับกาวแล้วมาใส่ลงในบล็อกที่เตรียมไว้จนเต็ม และกดให้แน่น
- 4) นำบล็อกออก นำแผ่นเหล็กมาวางทับ จากนั้นนำเข้าเครื่องอัดไม้ ใช้แรงกด 3.5 MPa อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3.20 นาที
- 5) เมื่อได้แผ่นไม้อัดแล้วนำไปวางไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 สัปดาห์

3.2.3.4 การทดสอบคุณสมบัติทางกลของตัวอย่างชิ้นไม้

1) การทดสอบการพองตัวของความหนา (Thickness Swelling)

หมายถึง การพองตัวของความหนาของแผ่นไม้หลังจากแผ่นไม้ผ่านสภาวะความชื้นที่รุนแรง มีวิธีการทดสอบ ดังนี้

- (1) นำตัวอย่างชิ้นไม้จากข้อ 3.2.3.3 มาตัดให้ได้ขนาดพื้นที่หน้าตัด 5 x 5 เซนติเมตร
- (2) วัดขนาดความหนา เป็นความหนาก่อนการทดสอบ



ภาพที่ 3.4 การทดสอบการพองตัวของตัวอย่างชิ้นไม้อัด

(3) นำชิ้นไม้ตัวอย่างไปแช่ในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

(4) นำชิ้นไม้ตัวอย่างขึ้นจากน้ำ วัดขนาดความหนา เป็นความหนา
หลังการทดสอบ นำผลที่ได้ไปหาเปอร์เซ็นต์การขยายตัว จากสมการ (3.2)

$$\text{Swelling in thickness after immersion in water (\%)} = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100 \quad (3.2)$$

เมื่อ t_1 คือ ความหนาของชิ้นไม้ก่อนแช่น้ำ เป็น มิลลิเมตร

t_2 คือ ความหนาของชิ้นไม้หลังแช่น้ำ เป็น มิลลิเมตร

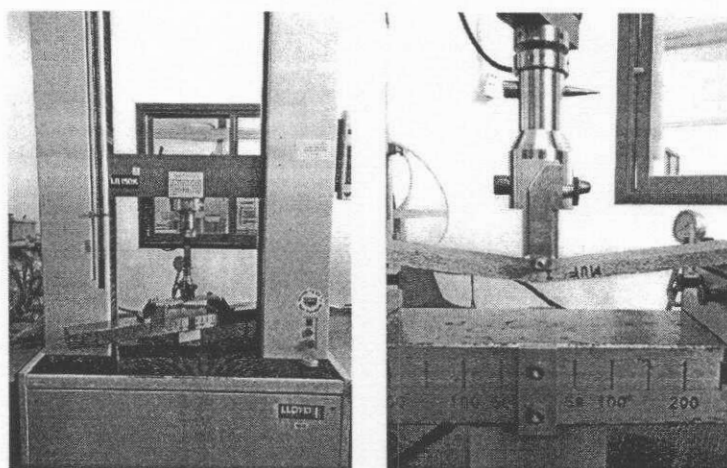
2) การทดสอบความต้านทานแรงกด (Bending strength, Modulus of Rupture: MOR, Modulus of Elasticity: MOE.)

หมายถึง ค่าพิกัดหัก หรือ โมดูลัสของการแตกหัก ค่าที่บอกถึง
ความสามารถในการรับแรงกดหรือรับน้ำหนักของแผ่นไม้ หน่วยของ MOR คือเมกะปาสคาล
(MPa) หรือ N/mm^2 มีวิธีการทดสอบดังนี้

(1) นำตัวอย่างชิ้นไม้ ที่ได้จากการขึ้นรูปในข้อ 3.2.3.3 มาตัดให้
ได้ขนาดพื้นที่หน้าตัด 5×30 เซนติเมตร

(2) วัดขนาดความกว้าง ความยาว ความหนา และชั่งน้ำหนัก

(3) นำตัวอย่างชิ้นไม้ที่ตัดได้ขนาดตามที่ต้องการแล้วไปทดสอบ
แรงกด โดยเครื่องทดสอบแรงกด Universal Testing Machine ของบริษัท LLOYD Manufacturer รุ่น
LR150K



ภาพที่ 3.5 การทดสอบแรงกดของตัวอย่างชิ้นไม้อัด

3) การทดสอบความชื้นในตัวอย่างชิ้นไม้อัด (Moisture content)

(1) นำตัวอย่างชิ้นไม้ จากข้อ 3.2.3.3 มาตัดให้ได้ขนาด

พื้นที่หน้าตัด 3 x 5 เซนติเมตร

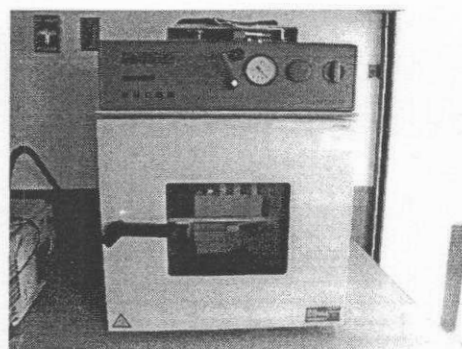
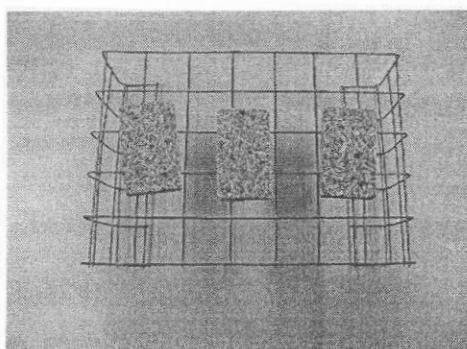
(2) วัดขนาดความกว้าง ความยาว ความหนา และชั่งน้ำหนัก

(3) นำชิ้นไม้ที่วัดขนาดและชั่งน้ำหนักแล้วเข้าไปอบในตู้อบ

ที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

(4) นำชิ้นไม้ออกจากตู้อบ วัดขนาดความกว้าง ความยาว ความหนา และน้ำหนัก

(5) นำชิ้นไม้เข้าไปอบในตู้อบต่อจนน้ำหนักเริ่มคงที่ (ประมาณ 24 ชั่วโมง) เมื่อครบแล้วนำออกจากตู้อบวัดขนาดความกว้าง ความยาว ความหนา และน้ำหนัก นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาความชื้นในชิ้นไม้



ภาพที่ 3.6 การทดสอบความชื้นในตัวอย่างชิ้นไม้อัด (Moisture content)

4) การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

(1) นำตัวอย่างชิ้นไม้ จากข้อ 3.2.3.3 มาตัดให้ได้ขนาด

พื้นที่หน้าตัด 5 x 5 เซนติเมตร

(2) ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างชิ้นไม้ เป็นค่าน้ำหนักก่อนการทดสอบ

(3) นำชิ้นไม้ตัวอย่างไปแช่ในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

(4) นำชิ้นไม้ตัวอย่างขึ้นจากน้ำ วัดขนาดความหนา เป็นความ

หนาหลังการทดสอบ นำผลที่ได้ไปหาเปอร์เซ็นต์การขยายตัว จากสูตร

$$\text{Water Absorption (\%)} = (W_2 - W_1)/W_1 \times 100 \quad (3.3)$$

เมื่อ W_1 คือ ความหนาของชิ้นไม้ก่อนแช่น้ำ เป็น มิลลิเมตร

W_2 คือ ความหนาของชิ้นไม้หลังแช่น้ำ เป็น มิลลิเมตร

3.2.3.5 การหาปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์

1) วัสดุที่ใช้คือชิ้นไม้อัดที่ได้จากการขึ้นรูปเองโดยใช้กาวประเภท UF(E1) UF(E2) และ MUF ความหนา 10 มิลลิเมตร

2) หลังจากการขึ้นรูปเสร็จ ตัดให้ได้ขนาด 5 x 15 เซนติเมตร และคำนวณขนาดพื้นที่รวมที่ใช้ในการทดสอบต่อ 1 ครั้ง ให้ได้พื้นที่รวม 1800 ตารางเซนติเมตร จากสูตร ผลรวมพื้นที่ = (หนา x กว้าง x 2) + (ยาว x กว้าง x 2) + (ยาว x หนา x 2) = 1800 ในการทดลองนี้จะใช้ชิ้นไม้อัดขนาด 5 x 15 เซนติเมตร จำนวน 8 - 9 ชิ้น ต่อการทดสอบ 1 ครั้ง

3) นำชิ้นไม้ที่ตัดแล้วไปเก็บไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส 65 %RH เป็นเวลา 7 วัน

4) จากนั้นนำชิ้นไม้ไปใส่ลงใน Desiccator ขนาดปริมาตร 9 ลิตร เหนือภาชนะบรรจุน้ำกลั่นปริมาตร 300 ml โดยควบคุมอุณหภูมิของห้องทดลองไว้ที่ 20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

5) เก็บตัวอย่างน้ำปริมาตร 10 ml ใส่ในหลอดทดลองเดิม Acetyl acetone 5 ml และ Ammonium acetate 5 ml ปิดปากหลอดด้วยพาราฟิล์ม

6) นำสารละลายในหลอดทดลองไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปวางไว้ให้เย็นในที่ไม่มีแสงประมาณ 1 ชั่วโมง

7) วิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์จากการวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 412 นาโนเมตร และหาค่าความเข้มข้นจากกราฟ Formaldehyde calibration curve

3.2.4 การหาปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ที่ปลดปล่อยออกจากไม้อัดที่ความหนาแตกต่างกัน

3.2.4.1 วัสดุที่ใช้คือชิ้นไม้อัดพาร์ติเคิลที่ผลิตจากกาวประเภท UF (E2) ความหนา 12 มิลลิเมตร จากโรงงานที่ 1 ในเขตจังหวัดภาคใต้ตอนบน โดยหลังจากการขึ้นรูปที่โรงงาน ตัวอย่างชิ้นไม้ถูกหุ้มด้วยพลาสติกก่อนส่งมาถึงห้องปฏิบัติการคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

3.2.4.2 แกะพลาสติกออก ตัดให้ได้ขนาด 5 x 15 เซนติเมตร และคำนวณขนาดพื้นที่รวมที่ใช้ในการทดสอบต่อ 1 ครั้ง ให้ได้พื้นที่รวม 1800 ตารางเซนติเมตร จากสูตร ผลรวม

พื้นที่ = (หนา x กว้าง x 2) + (ยาว x กว้าง x 2) + (ยาว x หนา x 2) = 1800 ในการทดลองนี้จะใช้
ชิ้นไม้อัดขนาด 5 x 15 เซนติเมตร จำนวน 8 ชิ้น ต่อการทดสอบ 1 ครั้ง

3.2.4.3 นำชิ้นไม้ที่ตัดแล้วไปเก็บไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส
65 %RH เป็นเวลา 7 วัน

3.2.4.4 จากนั้นนำชิ้นไม้ไปใส่ลงใน Desiccator ขนาดปริมาตร 9 ลิตร เหนือ
ภาชนะบรรจุน้ำกลั่นปริมาตร 300 ml โดยควบคุมอุณหภูมิของห้องทดลองไว้ที่ 20 องศาเซลเซียส
เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.2.4.5 เก็บตัวอย่างน้ำปริมาตร 10 ml ใส่ในหลอดทดลอง เดิม Acetyl acetone
5 ml และ Ammonium acetate 5 ml ปิดปากหลอดด้วยพาราฟิล์ม

3.2.4.6 นำสารละลายในหลอดทดลองไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 65 องศา
เซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปวางไว้ให้เย็นในที่ที่ไม่มีแสงประมาณ 1 ชั่วโมง

3.2.4.7 วิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์จากการวัดค่าการ
ดูดกลืนแสง (Absorbance) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 412 นาโนเมตร และหา
ค่าความเข้มข้นจากกราฟ Formaldehyde calibration curve

3.2.4.8 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 1 – 7 แต่เปลี่ยนวัสดุเป็นไม้อัดพาร์ติเคิล ความหนา
15 และ 18 มิลลิเมตร

บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัย

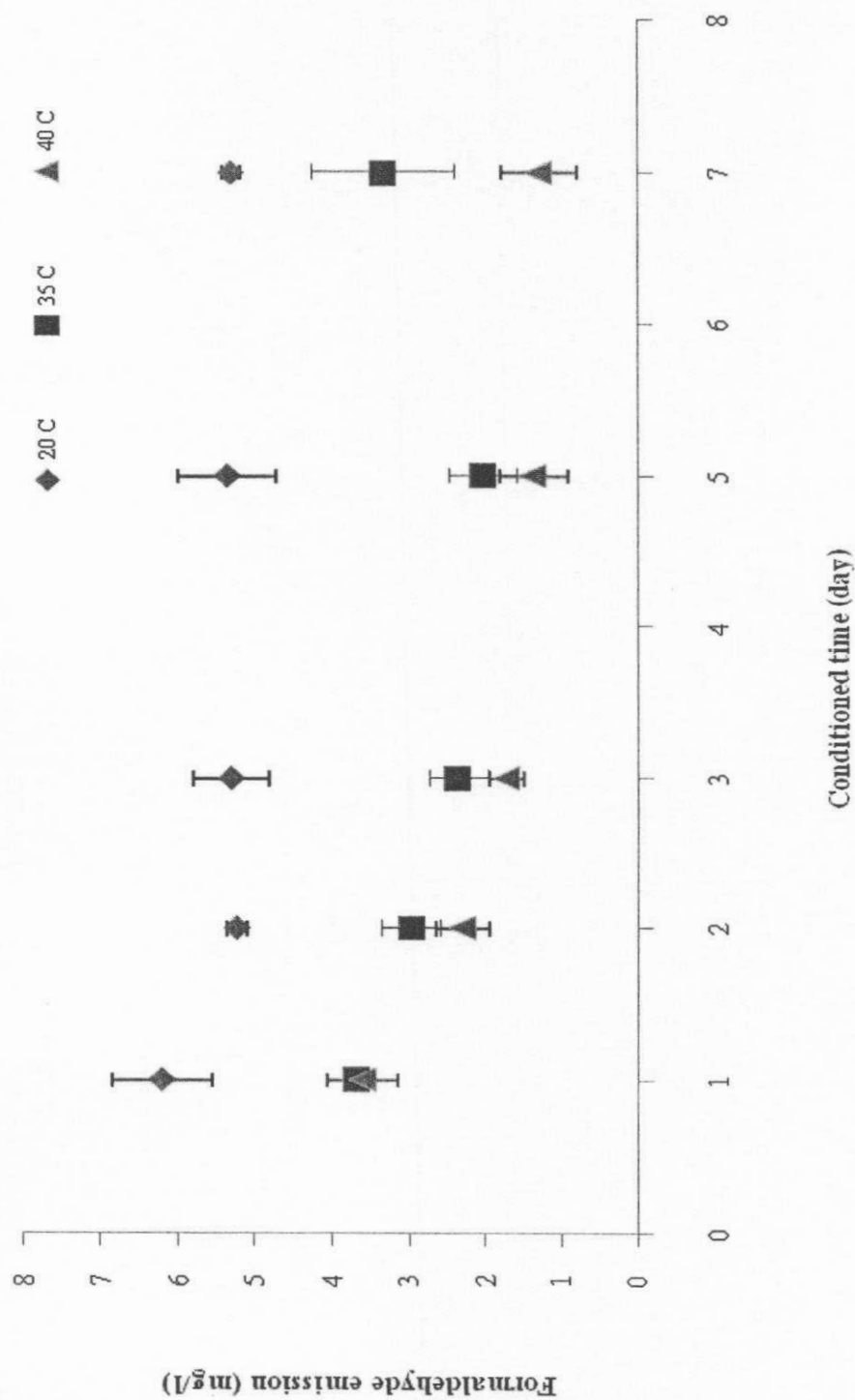
4.1 ผลของอุณหภูมิในการอบไม้ ที่มีต่อการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์

การศึกษาในส่วนนี้เป็นการหาปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์จากตัวอย่างชิ้นไม้อัดพาร์ติเคิล ความหนา 15 มิลลิเมตร จากโรงงานผู้ผลิตในเขตจังหวัดภาคใต้ตอนบน โดยผลจากการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.1

จากผลการศึกษา ปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ของชิ้นไม้อัดหลังผ่านกระบวนการ Condition ที่อุณหภูมิ 20, 35 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสให้ค่าปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์มากกว่าที่อุณหภูมิ 35 และ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งผลการศึกษาเป็นไปตามหลักการ Bake – Out ซึ่งเป็นการแนะนำให้เร่งการปลดปล่อย VOCs และฟอร์มัลดีไฮด์ออกจากวัสดุ โดยการเพิ่มอุณหภูมิในห้อง หรืออาคารไปที่ 32 – 40 องศาเซลเซียสควบคู่ไปกับเพิ่มอัตราการระบายอากาศ การทำเช่นนี้จะเป็นการเร่งการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ออกจากวัสดุ (Etkin, 1996; Girman, 1989; Wieslander et al., 1997; Hodgson et al., 1994) แสดงว่าเมื่ออุณหภูมิที่ปกคลุมชิ้นไม้เพิ่มสูงขึ้น เป็นการเร่งให้การปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์สูงขึ้นด้วย ดังนั้นเมื่อนำชิ้นไม้ที่ผ่านการถูกปกคลุมด้วยอุณหภูมิ 35 และ 40 องศาเซลเซียส มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ในภายหลังจึงทำให้ค่าที่ปลดปล่อยออกมามีค่าน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เนื่องจากชิ้นไม้ถูกเร่งให้มีการปลดปล่อยออกไปก่อนแล้ว เช่นเดียวกับ Myers, 1985 ได้ศึกษาแล้วพบว่า ปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์จากไม้อัดพาร์ติเคิลจะมีค่ามากขึ้นที่อุณหภูมิระหว่าง 23 – 40 องศาเซลเซียส และจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าเมื่อเวลามากขึ้น ค่าการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์จากวัสดุมีค่าลดลง ในทุกอุณหภูมิที่ทำการศึกษา สอดคล้องกับการศึกษาของ Kim and Kim, 2005 ที่เป็นการหาค่าการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์จากเฟอร์นิเจอร์ที่ผลิตจากไม้อัดพาร์ติเคิลภายใต้สภาวะ ONDOL (Floor heating) โดยอัตราการปลดปล่อยจะมีค่ามากในวันที่ 1 – 2 แต่หลังจากนั้นในวันที่ 3 – 7 ค่าอัตราการปลดปล่อยจะลดลง และที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่าหลังจากวันที่ 2 ค่าการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ค่อนข้างคงที่ ส่วนในกรณีที่อุณหภูมิ 35 และ 40 องศาเซลเซียสยังมีค่าลดลงเรื่อยๆ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ทำการทดลองเพียง 7 วัน ทำให้ไม่สามารถทราบระยะเวลาที่ค่าการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์คงที่ ของอุณหภูมิ 35 และ 40 องศาเซลเซียส โดยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์กับเวลาแสดงดังรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ระเหยจากไม้อัด ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

Temperature	Time	Emission of Formaldehyde
(°C)	(Day)	(mg/l)
20	1	6.2248 ± 0.65
	2	5.2331 ± 0.13
	3	5.3029 ± 0.49
	5	5.3536 ± 0.64
	7	5.2965 ± 0.11
35	1	3.6949 ± 0.17
	2	2.9734 ± 0.38
	3	2.3581 ± 0.38
	5	2.0251 ± 0.45
	7	3.3302 ± 0.93
40	1	3.6008 ± 0.46
	2	2.2931 ± 0.35
	3	1.7116 ± 0.24
	5	1.3585 ± 0.45
	7	1.2739 ± 0.49



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ กับ ระยะเวลา ที่อุณหภูมิในการอบไม้ 20, 35 และ 40 องศาเซลเซียส

4.2 การหาปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์จากไม้อัดพาร์ติเคิลที่มีความหนาแตกต่างกัน

การศึกษานี้เป็นการเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์จากไม้อัดพาร์ติเคิล ความหนา 12, 15 และ 18 มิลลิเมตร ที่ผลิตจากกาวประเภทยูเรีย ฟอร์มาลดีไฮด์ (Urea Formaldehyde: UF) โดยตัวอย่างชิ้นไม้อัดได้จากโรงงานที่ 1 ในเขตจังหวัดภาคใต้ตอนบน ผลการศึกษาแสดงดัง ตารางที่ 4.3

จากตารางที่ 4.2 พบว่าไม้อัดพาร์ติเคิลความหนา 12, 15 และ 18 มิลลิเมตร มีปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์เท่ากับ 4.873, 4.940 และ 4.980 mg/l ตามลำดับ ซึ่งเมื่อความหนามากขึ้น ปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์มีค่าเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน แต่ไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากการศึกษานี้ใช้วิธีการหาปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ โดยวิธี Desiccator A 1460 ซึ่งกำหนดให้พื้นที่รวมของชิ้นไม้ที่ต้องการทดสอบมีค่าประมาณ 1800 ตารางเซนติเมตร ซึ่งจากการหาค่าพื้นที่ ไม้อัดความหนา 12 และ 15 มิลลิเมตร ใช้ตัวอย่างชิ้นไม้ขนาด 5 x 15 เซนติเมตร จำนวน 9 ชิ้น ส่วนไม้อัดความหนา 18 มิลลิเมตร ใช้ตัวอย่างชิ้นไม้ขนาด 5 x 15 เซนติเมตร จำนวน 8 ชิ้น ทำให้ค่าปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ออกมาใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.2 ปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์จากไม้อัดพาร์ติเคิลที่มีความหนา 12, 15 และ 18 มิลลิเมตร

Thickness (mm)	Emission of Formaldehyde (mg/l)
12	4.873 ± 0.61
15	4.940 ± 0.29
18	4.980 ± 0.52

4.3 การศึกษาผลกระทบจากชนิดของกาว (เรซิน) ที่มีต่อปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์

การศึกษานี้ใช้วัสดุเป็นไม้อัดพาร์ติเคิลที่ได้จากการขึ้นรูปภายในห้องปฏิบัติการไม้และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ตัวอย่างชิ้นไม้อัดที่ผลิตขึ้นมีความหนา 10 มิลลิเมตร

ขึ้นรูปจากชิ้นไม้ยางพารา โดยใช้กาวประเภท 10L617A (UF: E1), 10L686 (UF: E2) และ 10L631 (MUF: E2) เป็นตัวประสาน ภายได้แรงกด 3.5 MPa และ อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส

4.3.1 การทดสอบการพองตัวทางความหนา (Thickness Swelling)

ผลการศึกษาในส่วนนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางกลของตัวอย่างชิ้นไม้อัดพาร์ติเคิล ความหนา 10 มิลลิเมตร ที่ขึ้นรูปเองภายในห้องปฏิบัติการไม้และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ค่าการพองตัวทางความหนาของตัวอย่างชิ้นไม้อัด หมายถึง การพองตัวของความหนาของแผ่นไม้หลังจากแผ่นไม้ผ่านสภาวะความชื้นที่รุนแรง การวัดการพองตัวของไม้อัดหลังจากผ่านการแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน JIS A 5908 (2003) ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3 จากการทดลองพบว่า ไม้อัดที่ผลิตจากกาวประเภท 10L617A (UF: E1), 10L686 (UF: E2) และ 10L631 (MUF: E2) มีค่าเปอร์เซ็นต์การพองตัวเท่ากับ 15.17%, 12.68% และ 12.08% ตามลำดับ โดยแผ่นไม้อัดที่มีเปอร์เซ็นต์การพองตัวมากที่สุดคือไม้อัดที่ผลิตจากกาวประเภท UF (E1) และไม้อัดที่ผลิตจากกาวประเภท MUF (E2) มีเปอร์เซ็นต์การพองตัวน้อยที่สุด เนื่องจากกาวประเภท MUF (Melamine Urea Formaldehyde) เป็นกาวที่เกิดจากการผสมกันระหว่างกาวประเภท UF (Urea Formaldehyde) และ MF (Melamine Formaldehyde) ซึ่งกาวประเภท MF มีคุณสมบัติในการต้านทานน้ำได้ดีกว่ากาวประเภท UF (วิศนีย์ ยิ่งประเสริฐ, 2548) ดังนั้นเมื่อนำมาผสมกับกาวประเภท UF จึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการต้านทานน้ำให้กับกาวประเภท MUF ดังนั้นไม้อัดที่ผลิตจากการกาวประเภท MUF จึงมีเปอร์เซ็นต์การพองตัวน้อยกว่าไม้อัดที่ผลิตจากกาวประเภท UF และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของ Japanese Industrial Standard: JIS A 5908 (2003) Particleboard (ภาคผนวก ก) ที่กำหนดให้ค่าการพองตัวตามความหนาไม่เกิน 25 % ซึ่งชิ้นไม้ที่ผลิตขึ้นมาในครั้งนี้มีค่าตรงตามมาตรฐาน

ตารางที่ 4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การพองตัวทางความหนา ความชื้น และการดูดซึมน้ำ ของตัวอย่างชิ้นไม้อัดพาร์ติเคิล

Type of resin	Thickness swelling	Moisture Content	Water Absorption
	(%)	(%)	(%)
UF (E1)	16.48 ± 0.91	7.51 ± 0.90	38.56 ± 6.26
UF (E2)	12.68 ± 0.95	6.59 ± 0.52	39.80 ± 1.48
MUF (E2)	12.08 ± 0.48	6.89 ± 0.25	37.43 ± 0.83

4.3.2 การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water absorption)

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของไม้อัดพาร์ติเคิลที่ขึ้นรูปเอง ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของไม้อัดที่ผลิตจากกาว ประเภท 10L617A (UF: E1), 10L686 (UF: E2) และ 10L631 (MUF: E2) มีค่าเท่ากับ 38.56%, 39.80% และ 37.43% ตามลำดับ ซึ่งไม้อัดที่ผลิตจากกาวประเภท 10L686 (UF: E2) มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำมากที่สุด และไม้อัดที่ผลิตจากกาวประเภท 10L631 (MUF: E2) มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมนำน้อยที่สุด เนื่องจากกาวประเภท MUF มีคุณสมบัติในการต้านทานน้ำที่ดีกว่ากาวประเภท UF (วิศนีย์ ยิ่งประเสริฐ, 2548) นอกจากนี้ สารเติมแต่ง ที่เติมลงไปในการกาวก็มีผลต่อการต้านทานการดูดซึมน้ำของไม้อัดด้วยเช่นกัน สารเติมแต่งที่ใช้ส่วนใหญ่ใช้ขี้ผึ้งอิมัลชันและขี้ผึ้งเหลวเพื่อเป็นสารกันน้ำ

4.3.3 การหาความชื้นในชิ้นไม้อัด (Moisture Content)

ความชื้นในแผ่นไม้ถือเป็นปัจจัยที่สำคัญในการนำไม้ไปใช้ประโยชน์ เนื่องจากมีผลต่อการหดตัว การพองตัวของแผ่นไม้ จากตารางที่ 4.3 ปริมาณความชื้นของแผ่นไม้อัดที่ผลิตจากกาวประเภท 10L617A (UF: E1), 10L686 (UF: E2) และ 10L631 (MUF: E2) มีค่าเท่ากับ 7.51%, 6.59% และ 6.89% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก. 876 – 2547 และ JIS A 5908: 2003 (ภาคผนวก ก) พบว่าค่าความชื้นของแผ่นไม้ที่ผลิตขึ้นอยู่ในเกณฑ์ตามที่มาตรฐานกำหนดไว้

4.3.4 การทดสอบความต้านทานแรงกด (Bending strength, Modulus of Rupture: MOR and Modulus of Elasticity: MOE)

จากตารางที่ 4.4 แสดงค่าความต้านทานแรงกด และค่าความเหนียว จากการทดสอบไม้อัดที่ผลิตจากกาวประเภท 10L617A (UF: E1) และ 10L686 (UF: E2) มีค่าความต้านทานแรงกดเท่ากับ 28.55 MPa และ 17.76 MPa โดยไม้อัดที่ผลิตจากกาวประเภท 10L617A (UF: E1) มีค่าความต้านทานแรงกดมากที่สุด และไม้อัดที่ผลิตจากกาวประเภท 10L686 (UF: E2) มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งค่าความต้านทานแรงกดหรือแรงคดนี้เป็นค่าที่บอกความสามารถในการรับน้ำหนัก เป็นค่าที่บอกถึงความแข็งแรง หรือต้านทานการหัก ดังนั้นค่าความต้านทานแรงกดยิ่งมาก แสดงว่าไม้อัดก็จะมีความแข็งแรงมากขึ้นด้วยเช่นกัน ส่วนค่า MOE เป็นค่าที่บอกความสามารถในการต้านทานการเสีรูป หรือการแอ่นตัวของแผ่นไม้เมื่อมีแรงกดทับ จากตารางที่ 4.4 ค่า MOE ของไม้อัดที่ผลิตจากกาว 10L617 (UF: E1) เท่ากับ 8508.75 MPa และ ไม้อัดที่ผลิตจากกาว 10L686 (UF: E2) มีค่าเท่ากับ 2342.56 MPa แสดงว่าไม้อัดที่ผลิตจากกาวประเภท 10L617A (UF: E1) มีความแข็งแรงและสามารถต้านทานการเสีรูปได้ดีกว่าไม้อัดที่ผลิตจากกาวประเภท 10L686 (UF: E2) และเมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้กับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 876 – 2547

(ภาคผนวก ก) พบว่าค่า MOR และ MOE ของไม้อัดที่ผลิตจากกาวทั้งสองประเภทนี้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้

ตารางที่ 4.4 ค่าความต้านทานแรงกด

Type of Resin	Modulus of Rupture: MOR)	Modulus of Elasticity: MOE
	(MPa)	(MPa)
10L617A (UF: E1)	28.55 ± 0.41	8508.75 ± 42.73
10L686 (UF: E2)	17.76 ± 2.69	2342.56 ± 382.42
10L631 (MUF: E2)	NA	NA

4.3.5 การหาปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์

ปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ของไม้ที่ขึ้นรูปเองโดยใช้กาวประเภท 10L617A (UF: E1), 10L686 (UF: E2) และ 10L631 (MUF: E2) ในการผลิต ผลของการหาปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ออกจากวัสดุโดยวิธี Desiccator ตามมาตรฐาน JIS A 1460 แสดงดังตารางที่ 4.5 ปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์จากไม้อัดที่ผลิตจากกาว 10L617 (UF: E1) เท่ากับ 0.807 mg/l จากไม้อัดที่ผลิตจากกาว 10L686 (UF: E2) เท่ากับ 11.407 mg/l และจากกาว 10L631 (MUF: E2) มีค่าเท่ากับ 3.306 mg/l ไม้อัดที่ให้ค่าการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ออกมามากที่สุด คือ ไม้อัดที่ผลิตจากกาวประเภท 10L686 (UF: E2) ตามด้วย 10L631 (MUF: E2) และ 10L617 (UF: E1) มีค่าน้อยที่สุด

ตารางที่ 4.5 ค่าปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ของไม้อัดที่ขึ้นรูปเอง

Type of Resin	Emission of Formaldehyde
	(mg/l)
10L617A	0.807 ± 0.27
(UF:E1)	
10L686	11.407 ± 0.81
(UF:E2)	
10L631	3.306 ± 0.21
(MUF:E2)	

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ที่ได้ กับ มาตรฐาน Japan Industrial Standard for MDF and PB ในตารางที่ 4.6 โดย ไม้อัดที่อยู่ภายใต้ค่ามาตรฐาน F**** หมายถึง สามารถใช้งาน หรือตกแต่งภายในอาคารที่อยู่อาศัยได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ส่วนมาตรฐาน F*** และ F** หมายถึง สามารถใช้งาน หรือตกแต่งภายในอาคารที่อยู่อาศัยได้ แต่ต้องกำหนดพื้นที่ในการใช้งาน และถ้าปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์เกินจากมาตรฐาน จะไม่สามารถนำมาใช้งาน หรือ ตกแต่งภายในอาคารที่อยู่อาศัยได้ จากผลการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า ปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์จากกาวทั้งสามประเภทมีค่าเกินมาตรฐาน F**** มีเพียงไม้อัดที่ผลิตจากกาวประเภท 10L617A (UF: E1) มีค่าอยู่ในมาตรฐาน F** ส่วนไม้อัดที่ผลิตจากกาวประเภท 10L686 (UF: E2) และ 10L631 (MUF: E2) มีค่าเกินจากมาตรฐาน JIS

ตารางที่ 4.6 การปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ตามมาตรฐาน Japan Industrial Standard for MDF and PB

Classification	Emission quantity of formaldehyde	
	Mean	maximum
F****	0.3 mg/l or under	0.4 mg/l or under
F***	0.5 mg/l or under	0.7 mg/l or under
F**	1.5 mg/l or under	2.1 mg/l or under

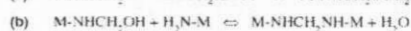
จากการเปรียบเทียบค่าการปลดปล่อยระหว่างกาวประเภท 10L617A (UF: E1) และ 10L686 (UF: E2) จะเห็นว่า กาวประเภท 10L686 (UF: E2) ให้ค่าการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ที่สูงกว่า กาวประเภท 10L617A (UF: E1) มาก ซึ่งการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ของกาวประเภท UF จะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของ Formaldehyde และ Urea (F/U Ratio) (Myers, 1989) โดยหากค่า F/U Ratio มีค่ามาก ปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์จะมากขึ้นด้วย ดังนั้นจากผลการศึกษาครั้งนี้ทำให้สามารถประมาณได้ว่า กาวประเภท 10L617A (UF: E1) มีปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในส่วนผสมของกาวน้อยกว่า กาวประเภท 10L686 (UF: E2) ซึ่งแสดงว่าหากต้องการให้ปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ออกมาจากกาวน้อยเท่าใด จะต้องลดปริมาณ F/U Ratio ของกาวลงมาด้วยเช่นกันแต่การลด F/U Ratio ลงมามากก็ไม่เป็นที่นิยมในอุตสาหกรรม เนื่องจาก จะทำให้ต้องเพิ่มระยะเวลาในการสังเคราะห์เรซินแล้ว กาวที่ได้จะต้องใช้ระยะเวลาในการทำให้แข็งตัวนานขึ้นด้วย และยังทำให้ความแข็งแรงของการยึดติดมีแนวโน้มต่ำลง ความต้านทานความชื้นลดลง ระยะเวลาการเก็บรักษา (ความเสถียร) ลดลง (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2552)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ระหว่างกาวประเภท 10L686 (UF: E2) และ 10L631 (MUF: E2) พบว่า ปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ของกาวประเภท 10L631 (MUF: E2) มีค่าน้อยกว่า 10L686 (UF: E2) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ S. Kim; H.J. Kim, 2005 ที่ทำการหาปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์จาก MDF Board ที่ผลิตจากกาวประเภท UF, MUF และ MF โดยวิธี Desiccator Test การศึกษาดังกล่าวพบว่ากาวประเภท UF มีปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ออกมา มากกว่ากาวประเภท MUF และ MF ตามลำดับ โดยกาวประเภท MUF เกิดจากการผสมกันของกาว MF และ UF ซึ่งกาว MF เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง Melamine กับ Formaldehyde จากรูปที่ 4.2 หมู่อะมิโน (Amino group) ใน Melamine ทำปฏิกิริยากับ Formaldehyde ภายใต้สภาวะที่เป็นด่างอ่อนๆ (Slightly alkaline) เกิดเป็น Methylol melamine (Methylol uera ในกรณีของกาว UF) และทำปฏิกิริยาควบแน่นต่อไปจนได้กาว MF ที่อยู่ในลักษณะ ส่วนผสมที่เข้มข้น (Bulk) (Pizzi, 1994) ในส่วนของการสังเคราะห์กาว UF เกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง Urea กับ Formaldehyde ภายใต้สภาวะเดียวกันกับการสังเคราะห์กาวประเภท MF แต่ ปฏิกิริยาของ Melamine กับ Formaldehyde เกิดขึ้นได้รวดเร็ว และสมบูรณ์กว่า Urea กับ Formaldehyde (S. Kim; H-J. Kim, 2005) อย่างไรก็ตาม จากการศึกษานี้ของ S. Kim; H-J. Kim ที่พบว่ากาว MF มีการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ออกมาน้อยกว่ากาว UF การเติมกาว MF ลงในกาว UF เกิดเป็นกาว MUF จึงทำให้การปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ของกาว MUF ลดลงเมื่อเทียบกับกาว UF และในการศึกษานี้ กาว 10L631 (MUF: E2) มีปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ลดลงเมื่อเทียบกับกาว 10L686 (UF: E2)

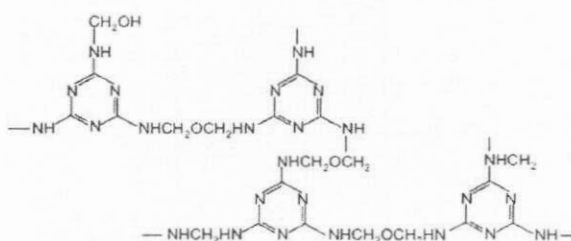
Reaction I : Addition of formaldehyde to melamine



Reaction II : Condensation reaction between methylolmelamines



Cross-linking : MF cross-linked network



ภาพที่ 4.2 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ MF Resin และ MF Chemical Structure (Rishole – Sundman and Wallin, 1999)

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 ผลของอุณหภูมิ ที่มีต่อปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์

5.1.1.1 จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ของไม้อัดที่ผ่านการ Condition ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ออกมา มากกว่าที่อุณหภูมิ 35 และ 40 องศาเซลเซียสตามลำดับ สอดคล้องกับหลักการ Bake – Out

5.1.1.2 จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อระยะเวลาในการทดสอบเพิ่มมากขึ้น ปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ออกจากวัสดุมีค่าลดลง

5.1.2 การศึกษาผลกระทบของความหนา ที่มีปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์

ไม้อัดพาร์ติเคิลความหนา 12, 15 และ 18 มิลลิเมตร มีปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์เท่ากับ 4.873, 4.940 และ 4.980 mg/l ตามลำดับ เมื่อความหนามากขึ้นปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์มีค่าเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน แต่ไม่แตกต่างกันมากนัก

5.1.3 การศึกษาผลกระทบจากชนิดของกาว (เรซิน) ที่มีต่อปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์

5.1.3.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกล

การสรุปผลการศึกษาคุณสมบัติทางกลของไม้อัดพาร์ติเคิลที่ขึ้นรูปเอง แสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการทดสอบคุณสมบัติทางกล

ชนิดของกาว (เรซิน)	ความชื้นในจีนไม้ Moisture Content (%)	การพองตัวทางความหนา Thickness Swelling (%)	การดูดซึมน้ำ Water Absorption (%)	การต้านทานแรงกด (Mpa)	
				Modulus of Rupture	Modulus of Elasticity
10L617A (UF: E1)	7.51 ± 0.90	15.17% ± 0.48	38.56 % ± 6.26	28.55 ± 0.41	8508.75 ± 42.73
10L686 (UF: E2)	6.59 ± 0.52	12.68% ± 2.35	39.80 % ± 1.48	17.76 ± 2.69	2342.56 ± 382.42
10L631 (MUF: E2)	6.89 ± 0.25	12.08% ± 0.95	37.43 % ± 0.83	NA	NA

5.1.3.2 ผลกระทบจากชนิดของกาว (เรซิน) ที่มีต่อปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์

1) ปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ จากไม้อัดที่ผลิตจากกาว 10L617A (UF: E1) เท่ากับ 0.807 mg/l จากไม้อัดที่ผลิตจากกาว 10L686 (UF: E2) เท่ากับ 11.407 mg/l และจากกาว 10L631 (MUF: E2) มีค่าเท่ากับ 3.306 mg/l โดยไม้อัดที่ผลิตจากกาวประเภท 10L686 (UF: E2) มีปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์มากกว่าไม้อัดที่ผลิตจากกาวประเภท 10L631 (MUF: E2) และ 10L617A (UF: E1) ตามลำดับ

2) จากผลการเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์จากกาวประเภท ยูเรีย ฟอร์มาลดีไฮด์ (UF) พบว่า กาวประเภท 10L617A (UF: E1) มีปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์น้อยกว่ากาวประเภท 10L686 (UF: E2)

3) จากผลการเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์จากกาวประเภท UF และ MUF พบว่า กาวประเภท 10L631 (MUF: E2) มีปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์น้อยกว่ากาวประเภท 10L686 (UF: E2) แต่มากกว่ากาวประเภท 10L617 (UF: E1)

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากผลการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ออกจากไม้อัดพาร์ติเคิล จากการทดลองทำให้รู้ว่าอุณหภูมิมีผลต่อปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ และในการศึกษาในครั้งนี้เป็นไปตามหลักการ Bake – Out ซึ่งค่าปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ที่ได้เป็นค่าที่วัดจากชิ้นไม้ที่ผ่านการ Condition ที่อุณหภูมิ 20, 35 และ 40 องศาเซลเซียส และทำให้รู้ว่าที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ออกมาน้อยที่สุด ดังนั้นหากมีวัดค่าปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ในขณะที่ทำการ Condition อยู่จะทำให้เราได้ค่าปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์สูงสุด (Maximum) ของแต่ละอุณหภูมิในช่วงเวลาที่กำหนด

5.2.2 การทดสอบวัดค่าปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ภายใต้สภาวะต่างๆภายในอาคารที่อยู่อาศัย (Indoor Air Conditions) จะทำให้ได้รับทราบข้อมูลในเชิงการนำไปใช้ในการหาแนวทางการลด และป้องกัน ปัญหาผลกระทบจากฟอร์มาลดีไฮด์ภายในอาคารที่อยู่อาศัยได้จริง เนื่องจากวัสดุตกแต่ง หรือก่อสร้างที่มาจากวัสดุไม้ล้วนถูกใช้ภายในอาคารเป็นส่วนมาก

5.2.3 การเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์จากกาวประเภทต่างๆ ทำให้ได้รับทราบข้อมูลเพื่อเป็นแนวทางให้ภาคอุตสาหกรรมในการเลือกใช้วัตถุดิบที่มีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม และสุขภาพ ส่วนผู้บริโภคจะได้รับทราบข้อมูลเพื่อใช้เปรียบเทียบในการตัดสินใจ

เลือกใช้วัสดุ หรือเฟอร์นิเจอร์ที่มาจากไม้อัดที่ผลิตจากกาบประเภทแตกต่างกัน และมีปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ที่ต่างกันด้วย

5.2.4 หน่วยงานต่างๆ ภายในประเทศไทยที่เกี่ยวข้องได้รับทราบข้อมูลเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการป้องกัน และควบคุม มลภาวะภายในอาคารที่เกิดจากการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์จากวัสดุ ไม้อัด เนื่องจากปัจจุบันความรู้เรื่องผลกระทบ และพิษภัยจากการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์จากวัสดุ ไม้อัดเป็นที่รู้เฉพาะในวงการอุตสาหกรรม จากผลการศึกษากันทางการค้า แต่กับประชาชน หรือผู้บริโภคที่ซื้อวัสดุ และเฟอร์นิเจอร์เหล่านั้นไปใช้งานกลับไม่ได้รับทราบข้อมูลนี้อย่างทั่วถึง หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรเริ่มณรงค์ให้ความรู้กับประชาชนอย่างจริงจังมากขึ้น ดังตัวอย่าง เช่น The Ministry of Environment และ The Korea National Housing Corporation ของประเทศเกาหลี ที่ได้ ออกข้อเสนอแนะแก่ประชาชนในการปฏิบัติเมื่อนำวัสดุ หรือเฟอร์นิเจอร์จากไม้อัดไปใช้ในการก่อสร้าง หรือตกแต่งอาคารบ้านเรือน เป็นต้น สำหรับประเทศไทย อาจทำได้โดย การให้ความรู้เสนอผ่านสื่อต่าง ๆ การเผยแพร่แผ่นพับ การติดฉลากวัสดุ หรือเฟอร์นิเจอร์ที่มีความปลอดภัย ฯลฯ ดังเช่น การรณรงค์ให้เลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าฉลาก เบอร์ 5 เพื่อผลในการประหยัดพลังงาน ที่ประเทศไทยเคยให้ความรู้และรณรงค์สำเร็จมาแล้ว

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- นรกกานต์ พัวพัน. “ปริมาณและการระเหยของฟอร์มัลดีไฮด์ในผลิตภัณฑ์ไม้ที่ใช้กาวเป็นตัวประสาน และวิธีทดสอบ”, ใน การประชุมการป่าไม้ ด้านวัสดุทดแทนไม้ ประจำปี 2545. น 170 – 176. กรมป่าไม้ : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2545
- พงศ์ โสโน. “ไม้ยาง ไม้อัด และไม้ประสาน”, สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนในพระราชประสงค์ของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. เล่มที่ 3.
<http://guru'sanook.com/search/knowledge/search.php>. ตุลาคม, 2553.
- พรพรรณ อุดมกาญจนนันท์ และสุชาดา จูธนวัฒน์กุล. เคมีปริมาณวิเคราะห์ : เทคนิคและการทดลอง. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551
- พล. “ฟอร์มัลดีไฮด์”, คลังปัญญาไทย. <http://www.panyathai.or.th/wiki/index.php>. กันยายน, 2553.
- วิศนีย์ ชิงประเสริฐ. ผลของกาวผสมฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์/ไอโซไซยานเนตต่อสมบัติของโอเอสแอล ที่ผสมจากเศษไม้ยางพารา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์, 2548.
- สถาบันมะเร็งแห่งชาติ กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. “มหันตภัยเงียบภายในอาคาร (Indoor air pollution)”. ข่าวสารมะเร็งเชิงรุก. www.nci.go.th/Knowledge/download/4.pdf, ตุลาคม, 2554
- ส่วนบริหารจัดการข้อมูลและปรึกษาแนะนำ สำนักบริหารยุทธศาสตร์. รายงานการศึกษาแนวคิดผลิตภัณฑ์ใหม่. กรุงเทพฯ : กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2552.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดราบ. มอก. 876 – 2547, 2547.
- สุชาดา ชินะจิตร. “ฟอร์มัลดีไฮด์ – ฟอร์มัลดีไฮด์ สารร้ายตัวก่อนมะเร็ง”, ฐานความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี. <http://www.chemtrack.org/News-Detail.asp?TID=1&ID=43>. กันยายน, 2553.
- หน่วยงานสนับสนุนการพัฒนา ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. “การติดกาวประสานไม้” โครงการพัฒนากาวติดไม้. <http://web2.forest.go.th/forprod/WoodComposite/adhesiveweb/thermo-setting.htm>. กุมภาพันธ์, 2553.
- ธวัชณัฐเดช เดชอรัญ. “ใบความรู้วิชางานช่างพื้นฐาน หน่วยการเรียนรู้ที่ 4 งานไม้”, ใบความรู้. <http://www.pbj.ac.th/Tawattidate/wood/paper2.doc>. ตุลาคม, 2553.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

George E. Myers. "The effects of temperature and humidity on formaldehyde emission from UF-bonded boards : a literature critique", Forest Product Journal. 35(9): 20-31; September, 1985.

Japanese Standards Association. Japanese Industrial Standard: JIS A 1460: 2001 Building board Determination of formaldehyde emission – Desiccator method. Japanese Standard Association. 1-11; Japan, 2001

Japanese Standards Association. Japanese Industrial Standard: JIS A 5908: 2003 Particleboards. Japanese Standard Association. 1-20, 2003.

Linjah. "การคำนวณหาความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ ด้วยวิธีไอโอโดเมตรี", Chemistry quiz <http://linjah.exteen.com/20090814/determination-of-formaldehyde-by-iodometry>. ตุลาคม, 2553.

Maria Risholm-Sundman, Annelise Larsen, Ewa Vestin, Anders Weibull. "Formaldehyde Emission - Comparison of different standard methods", Atmospheric Environment 41: 3193 – 3202, 2007.

Mopza. "ไม้อัด", วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. <http://th.wikipedia.org/wiki>. ตุลาคม, 2553

Renata Wiglusz, Elzbieta Sitko, Grazyna Nickel, Irena Jarnuszkiewicz, Barbara Igielska, "The effect of temperature on the emission of the emission of formaldehyde and volatile organic compounds (VOCs) from laminate flooring-case study", Building and Environment. 37: 41-44, 2002.

Sumin Kim, Hyun-Joong Kim. "Comparison of formaldehyde emission from building finishing material at various temperatures in under heating; ONDOL", Indoor Air. 317-325, 2005.

Sumin Kim, Hyun-Joong Kim. "Comparison of standard methods and gas chromatography method in determination of formaldehyde emission from MDF bonded with formaldehyde-based resins", Bioresource Technology. 96: 1457-1464, 2005.

S. Y. Kim, K. Y. Kim, Y. S. Han, J. W. Koo. "Variation of indoor air quality in a new apartment building by bake – out", Int. J. Environ. Res. 4(2): 263 – 270; Spring, 2010.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- T. Nash. "The colorimetric estimation of formaldehyde by means of the Hantzsch reaction", G. H. Wiltshilt. 55: 416 – 421; March, 1953.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก**มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876 - 2547**

มาตรฐานอุตสาหกรรม

มอก. 876 - 2547

คุณลักษณะที่ต้องการ

1. ลักษณะทั่วไป

แผ่นขึ้นไม้อัดต้องมีความเรียบสม่ำเสมอตลอดทั้งแผ่นขอบต้องตั้งได้ฉากกับระนาบผิว การทดสอบทำได้โดยตรวจพินิจ

2. ความหนาแน่น

ความหนาแน่นเฉลี่ยต้องอยู่ในช่วง 400 mg/m^3 ถึง 900 mg/m^3 และความหนาแน่นของแผ่นขึ้นไม้อัดแต่ละแผ่นจะคลาดเคลื่อนจากค่าความหนาแน่นเฉลี่ยได้ไม่เกิน 10 mg/m^3

3. ปริมาณความชื้น

ความชื้นเฉลี่ยต้องอยู่ในช่วง 4 % ถึง 13 %

4. ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์

4.1 แผ่นขึ้นไม้อัดชั้นคุณภาพ 1

ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ต้องไม่มากกว่า 8 mg/100 g

4.2 แผ่นขึ้นไม้อัดชั้นคุณภาพ 2

ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ มากกว่า 8 mg/100 g ถึง 30 mg/100 g

5. คุณลักษณะที่ต้องการอื่นๆ

ให้เป็นไปตาม ตารางที่ ก - 1

ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติที่ต้องการอื่นๆ ตามมาตรฐาน มอก. 876 – 2547

ลำดับที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด							
		ความหนา มิลลิเมตร							
		3.0 ถึง 6.0	เกิน 6.0 ถึง 13.0	เกิน 13.0 ถึง 20.0	เกิน 20.0 ถึง 25.0	เกิน 25.0 ถึง 32.0	เกิน 32.0 ถึง 40.0	เกิน 40.0 ถึง 50.0	
1	การพองตัวตามความหนา % ไม่เกิน	12	12	12	12	12	12	12	
2	ความต้านทานแรงตัด Mpa * ไม่น้อยกว่า	15	14	13	11.5	10	8.5	7	
3	มอดูลัสยืดหยุ่น Mpa ไม่น้อยกว่า	1950	1800	1600	1500	1350	1200	1050	
4	ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า Mpa ไม่น้อยกว่า	0.45	0.4	0.35	0.3	0.25	0.2	0.2	
5	ความยึดแน่นของผิวหน้า Mpa ไม่น้อยกว่า	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	
6	ความยึดเหนี่ยวของตะปูเกลียว N ไม่น้อยกว่า	-	-	360**	360	360	360	360	
	ด้านผิว	-	-	360**	360	360	360	360	
	ด้านขอบ	-	-	360**	360	360	360	360	

หมายเหตุ * 1 MPa เท่ากับ 1 N/mm²

** หมายถึง ทดสอบเฉพาะที่ความหนา 15.0 mm ถึง 20.0 mm

- หมายถึง ไม่ทดสอบ

ตารางที่ ก.2 คุณสมบัติที่ต้องการตามมาตรฐาน Japanese Industrial Standard: JIS A 5908 (Particleboard)

Classification		Density g/cm ³	Mois- ture content %	Bending strength N/mm ²		Bending strength under wet condi- tions (*) N/mm ²		Swelling in thickness after immersion in water (*) %	Internal bond N/mm ²	Wood screw holding power N	Emission quantity of formaldehyde mg/L	Bending Young's modulus (informa- tive) N/mm ²
Base particleboard	Type 24-10	F☆☆☆ F☆☆☆ F☆☆	0.40 or over up to and incl. 0.90	5 or over up to and incl. 13	Length- wise 24.0 min.	Width- wise 10.0 min.	Length- wise 12.0 min.	Width- wise 5.0 min.	0.3 min.	500 min.	mean 0.3 or under maximum 0.4 or under mean 0.5 or under maximum 0.7 or under mean 1.5 or under maximum 2.1 or under	4 000 min. lengthwise, 1 300 min. widthwise
Veneered particleboard	Type 17.5- 10.5	F☆☆☆ F☆☆☆ F☆☆	0.40 or over up to and incl. 0.90	5 or over up to and incl. 13	17.5 min.	10.5 min.	8.8 min.	5.3 min.	0.3 min.	500 min.	mean 0.3 or under maximum 0.4 or under mean 0.5 or under maximum 0.7 or under mean 1.5 or under maximum 2.1 or under	3 000 min. lengthwise, 2 000 min. widthwise
Veneered particleboard	Type 30-15	F☆☆☆ F☆☆☆ F☆☆	0.40 or over up to and incl. 0.90	5 or over up to and incl. 13	30.0 min.	15.0 min.	15.0 min.	7.5 min.	12 max.	500 min.	mean 0.3 or under maximum 0.4 or under mean 0.5 or under maximum 0.7 or under mean 1.5 or under maximum 2.1 or under	4 000 min. lengthwise, 2 800 min. widthwise

Remarks : Lengthwise means the longitudinal direction, while widthwise means the direction orthogonal thereto. In the case of the veneered particleboard, lengthwise means the direction of the fibres of the veneer, and widthwise means the direction orthogonal thereto.

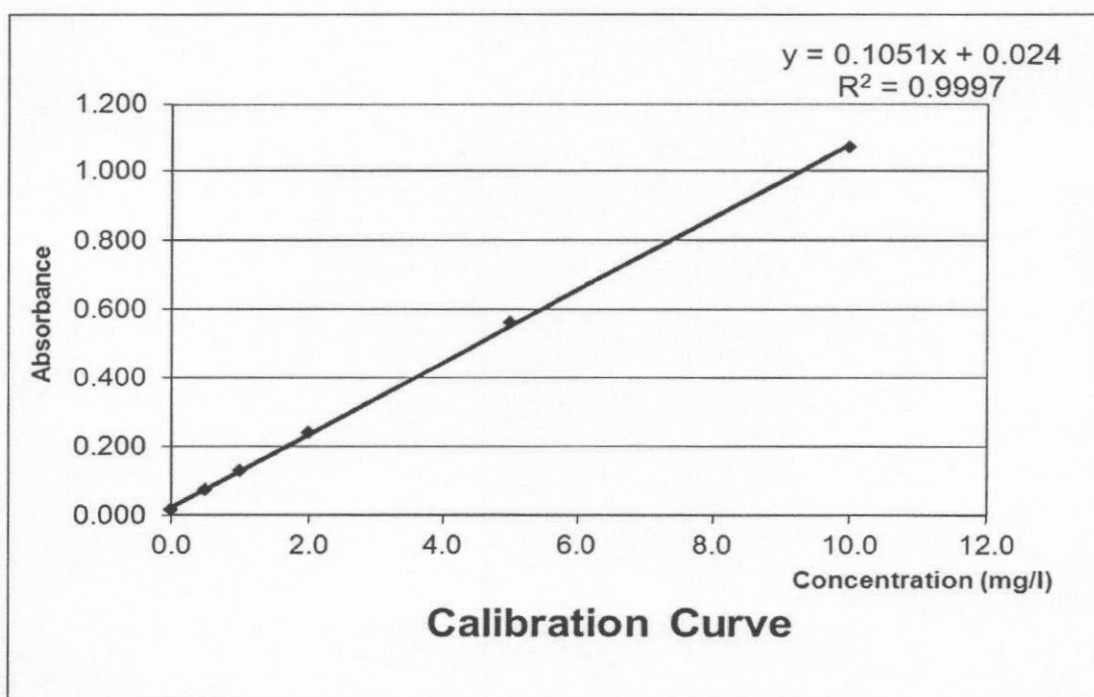
ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

1. Formaldehyde calibration data

ครั้งที่	1	2	3	Average
Blank	23.90	23.95	23.90	23.92
Standard solution	10.90	10.90	10.90	10.90

Concentration (mg/l)	Absorbance, 412nm Test 1	Absorbance, 412nm Test 1	Absorbance, 412nm Test 1	Average
0.0	0.014	0.018	0.016	0.016
0.5	0.071	0.076	0.076	0.074
1.0	0.127	0.129	0.133	0.130
2.0	0.238	0.240	0.239	0.239
5.0	0.561	0.559	0.564	0.561
10.0	1.069	1.054	1.083	1.069



2. ตารางที่ ข.1 การตรวจวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์จากชิ้นไม้อัดที่ขึ้นรูปเอง ความหนา 10 mm

การทดลองที่	ชนิดของเรซิน	หลอดที่	ค่าการดูดกลืนแสง ตรวจสอบที่ 412 nm(A)	ค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ (mg/l)
1	10L617A (UF:E1)	1	0.0790	0.5360
		2	0.0810	
		3	0.0810	
		เฉลี่ย	0.0803	
	10L686 (UF:E2)	1	1.1860	10.8817
		2	1.1610	
		3	1.1560	
		เฉลี่ย	1.1677	
	10L631 (MUF)	1	0.3580	3.2287
		2	0.3620	
		3	0.3700	
		เฉลี่ย	0.3633	
2	10L617A (UF:E1)	1	0.1360	1.0688
		2	0.1370	
		3	0.1360	
		เฉลี่ย	0.1363	
	10L686 (UF:E2)	1	1.1790	11.0054
		2	1.1830	
		3	1.1800	
		เฉลี่ย	1.1807	
	10L631 (MUF)	1	0.3540	3.1494
		2	0.3650	
		3	0.3460	
		เฉลี่ย	0.3550	
	10L617A (UF:E1)	1	0.1070	0.81510
		2	0.1110	
		3	0.1110	
		เฉลี่ย	0.1097	
3	10L686 (UF:E2)	1	1.3020	12.33428
		2	1.3210	
		3	1.3380	
		เฉลี่ย	1.3203	
	10L631 (MUF)	1	0.3820	3.53949
		2	0.4070	
		3	0.3990	
		เฉลี่ย	0.3960	

ตารางที่ ข.2 ปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ของไม้จากโรงงาน ความหนา 15 mm ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (วัน)	หลอดที่	ค่าการดูดกลืนแสง ตรวจสอบที่ 412 nm(A)	ค่าการดูดกลืนแสง ตรวจสอบที่ 412 nm(A)	ค่าการดูดกลืนแสง ตรวจสอบที่ 412 nm(A)
20	1	1	0.6820	0.6180	0.7170
		2	0.6770	0.6040	0.7240
		3	0.7010	0.5960	0.7850
		เฉลี่ย	0.6867	0.6060	0.7420
	2	1	0.5660	0.5580	0.5980
		2	0.5620	0.5930	0.5890
		3	0.5770	0.5850	0.5980
		เฉลี่ย	0.5683	0.5787	0.5950
	3	1	0.5260	0.6050	0.6090
		2	0.5220	0.6130	0.6210
		3	0.5210	0.5950	0.6240
		เฉลี่ย	0.5230	0.6043	0.6180
	5	1	0.6620	0.6330	0.7170
		2	0.6670	0.6010	0.7650
		3	0.6670	0.6220	0.7720
		เฉลี่ย	0.6653	0.6187	0.7513
	7	1	0.5500	0.5330	0.5330
		2	0.5770	0.5550	0.5550
		3	0.5830	0.5610	0.5610
		เฉลี่ย	0.5700	0.5497	0.5497

ตารางที่ ข.3 ปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ของไม้จากโรงงาน ความหนา 15 mm ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (วัน)	หลอดที่	ค่าการดูดกลืนแสง ตรวจสอบที่ 412 nm(A)	ค่าการดูดกลืนแสง ตรวจสอบที่ 412 nm(A)	ค่าการดูดกลืนแสง ตรวจสอบที่ 412 nm(A)
35	1	1	0.7500	0.4200	0.4060
		2	0.7500	0.4290	0.3990
		3	0.7710	0.4250	0.3950
		เฉลี่ย	0.7570	0.4247	0.4000
	2	1	0.7200	0.3000	0.3380
		2	0.6950	0.3050	0.3580
		3	0.6660	0.3190	0.3990
		เฉลี่ย	0.6937	0.3080	0.3650
	3	1	0.7280	0.2310	0.2790
		2	0.7090	0.2480	0.3250
		3	0.7150	0.2510	0.2970
		เฉลี่ย	0.7173	0.2433	0.3003
	5	1	0.7850	0.2000	0.2700
		2	0.7360	0.2080	0.2760
		3	0.6050	0.2030	0.2640
		เฉลี่ย	0.7087	0.2037	0.2700
	7	1	0.5490	0.2640	0.4030
		2	0.5900	0.3000	0.4430
		3	0.5490	0.3500	0.4840
		เฉลี่ย	0.5627	0.3047	0.4433

ตารางที่ ข.4 ปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ของไม้อัดจากโรงงาน ความหนา 15 mm ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (วัน)	หลอดที่	ค่าการดูดกลืนแสง ตรวจสอบที่ 412 nm(A)	ค่าการดูดกลืนแสง ตรวจสอบที่ 412 nm(A)	ค่าการดูดกลืนแสง ตรวจสอบที่ 412 nm(A)
40	1	1	0.3920	0.3580	0.4320
		2	0.3890	0.3620	0.4450
		3	0.3870	0.3650	0.4920
		เฉลี่ย	0.3893	0.3617	0.4563
	2	1	0.2380	0.2550	0.3140
		2	0.2360	0.2460	0.3110
		3	0.2310	0.2600	0.2940
		เฉลี่ย	0.2350	0.2537	0.3063
	3	1	0.1960	0.1770	0.2280
		2	0.1980	0.1810	0.2310
		3	0.2110	0.1830	0.2300
		เฉลี่ย	0.2017	0.1803	0.2297
	5	1	0.1270	0.1680	0.2130
		2	0.1190	0.1670	0.2140
		3	0.1110	0.1710	0.2110
		เฉลี่ย	0.1190	0.1687	0.2127
	7	1	0.1170	0.1280	0.2260
		2	0.1290	0.1340	0.2180
		3	0.1270	0.1340	0.2080
		เฉลี่ย	0.1243	0.1320	0.2173

ตารางที่ ข. 5 การตรวจวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ของไม้อัดจากโรงงาน ที่ความหนาแตกต่างกัน

ความหนาของชิ้นไม้ (mm)	Sample	Absorbance, 412nm			Average	Formaldehyde concentration mg/l
		Test1	Test2	Test3		
12	1	0.628	0.584	0.603	0.6050	5.5218
	2	0.526	0.519	0.533	0.5260	4.7784
	3	0.48	0.48	0.472	0.4773	4.3135
15	1	0.511	0.511	0.508	0.5100	4.6241
	2	0.55	0.577	0.583	0.5700	5.1950
	3	0.533	0.555	0.561	0.5497	5.0015
18	1	0.536	0.523	0.556	0.5383	4.8937
	2	0.597	0.614	0.607	0.6060	5.5375
	3	0.504	0.479	0.511	0.4980	4.5099

ตารางที่ข.6 การทดสอบความชื้นในชั้นไม้

MUF resin (test 1)																	
1					2					3							
	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก		กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก		กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก			
ก่อนอบ	3.05	5.07	1.15	14.53	ก่อนอบ	3.06	5.07	1.16	13.44	ก่อนอบ	3.05	5.05	1.152	14.08			
หลังอบ 2 ชม.	3.045	5.05	1.14	13.94	หลังอบ 2 ชม.	3.05	5.05	1.15	12.88	หลังอบ 2 ชม.	3.04	5.04	1.14	13.51			
หลังอบ 1 วัน.	3.04	5.04	1.14	13.63	หลังอบ 1 วัน.	3.05	5.04	1.14	12.6	หลังอบ 1 วัน.	3.04	5.03	1.13	13.2175			
ปริมาณความชื้นหลังอบ 2 ชม.					4.232425	ปริมาณความชื้นหลังอบ 2 ชม.					4.347826	ปริมาณความชื้นหลังอบ 2 ชม.					4.219097
ปริมาณความชื้นหลังอบ 1 วัน					6.603081	ปริมาณความชื้นหลังอบ 1 วัน					6.666667	ปริมาณความชื้นหลังอบ 1 วัน					6.5254398
เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 2 ชม.					0.164204	เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 2 ชม.					0.327869	เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 2 ชม.					0.3289474
เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 1 วัน					0.328947	เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 1 วัน					0.327869	เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 1 วัน					0.3289474
ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.															4.27		
ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ย หลังอบ 1 วัน															6.60		
ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.															0.27		
ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเฉลี่ย หลังอบ 1 วัน															0.33		

ตารางที่ ข.7 การทดสอบความชื้นในซีเมนต์

MUF resin (test 2)																	
1					2					3							
	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก		กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก		กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก			
ก่อนอบ	2.87	5.13	1.17	12.15	ก่อนอบ	2.99	5.19	1.16	12.85	ก่อนอบ	2.88	5.12	1.17	12.55			
หลังอบ 2 ชม.	2.85	5.11	1.14	11.53	หลังอบ 2 ชม.	2.9	5.1	1.14	12.24	หลังอบ 2 ชม.	2.85	5.11	1.14	11.95			
หลังอบ 1 วัน.	2.84	5.1	1.1	11.33	หลังอบ 1 วัน.	2.89	5.08	1.12	12.02	หลังอบ 1 วัน.	2.84	5.1	1.12	11.74			
ปริมาณความชื้นหลังอบ 2 ชม.					5.37727	ปริมาณความชื้นหลังอบ 2 ชม.					4.98366	ปริมาณความชื้นหลังอบ 2 ชม.					5.0209205
ปริมาณความชื้นหลังอบ 1 วัน					7.23742	ปริมาณความชื้นหลังอบ 1 วัน					6.90515	ปริมาณความชื้นหลังอบ 1 วัน					6.8994889
เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 2 ชม.					0.70175	เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 2 ชม.					3.10344	เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 2 ชม.					1.0526316
เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 1 วัน					1.05633	เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 1 วัน					3.46020	เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 1 วัน					1.4084507
ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.															5.13		
ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ย หลังอบ 1 วัน															7.01		
ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.															1.62		
ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเฉลี่ย หลังอบ 1 วัน															1.97		

ตารางที่ ข.8 การทดสอบความชื้นในชั้นไม้

MUF resin (test 3)																	
1					2					3							
	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก		กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก		กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก			
ก่อนอบ	3.15	5.12	1.14	13.65	ก่อนอบ	2.92	5.13	1.16	13.27	ก่อนอบ	2.93	5.13	1.14	13.37			
หลังอบ 2 ชม.	3.13	5.11	1.12	12.99	หลังอบ 2 ชม.	2.9	5.11	1.11	12.6	หลังอบ 2 ชม.	2.91	5.11	1.12	12.73			
หลังอบ 1 วัน.	3.01	5.1	1.11	12.75	หลังอบ 1 วัน.	2.9	5.1	1.11	12.38	หลังอบ 1 วัน.	2.9	5.1	1.11	12.5			
ปริมาณความชื้นหลังอบ 2 ชม.					5.080831	ปริมาณความชื้นหลังอบ 2 ชม.					5.31746	ปริมาณความชื้นหลังอบ 2 ชม.					5.0274941
ปริมาณความชื้นหลังอบ 1 วัน					7.058824	ปริมาณความชื้นหลังอบ 1 วัน					7.189015	ปริมาณความชื้นหลังอบ 1 วัน					6.96
เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 2 ชม.					0.638978	เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 2 ชม.					0.689655	เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 2 ชม.					0.6872852
เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 1 วัน					4.651163	เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 1 วัน					0.689655	เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 1 วัน					1.0344828
ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.															5.14		
ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ย หลังอบ 1 วัน															7.07		
ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.															0.67		
ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเฉลี่ย หลังอบ 1 วัน															2.13		

ตารางที่ ๗.9 การทดสอบความชื้นในชั้นไม้

UF(EI) resin (test1)												
1					2					3		
	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก		กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก		ยาว	น้ำหนัก
ก่อนอบ	3.05	5.07	1.15	14.94	ก่อนอบ	3.06	5.07	1.16	13.44	ก่อนอบ	5.05	1.152
หลังอบ 2 ชม.	3.045	5.05	1.14	14.3	หลังอบ 2 ชม.	3.05	5.05	1.15	13.04	หลังอบ 2 ชม.	5.04	1.14
หลังอบ 1 วัน.	3.04	5.04	1.14	14.05	หลังอบ 1 วัน.	3.05	5.04	1.14	12.61	หลังอบ 1 วัน.	5.03	1.13
ปริมาณความชื้นหลังอบ 2 ชม.					ปริมาณความชื้นหลังอบ 2 ชม.					ปริมาณความชื้นหลังอบ 2 ชม.		
ปริมาณความชื้นหลังอบ 1 วัน					ปริมาณความชื้นหลังอบ 1 วัน					ปริมาณความชื้นหลังอบ 1 วัน		
เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 2 ชม.					เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 2 ชม.					เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 2 ชม.		
เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 1 วัน					เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 1 วัน					เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 1 วัน		
					ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.							
					ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ย หลังอบ 1 วัน							
					ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.							
					ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเฉลี่ย หลังอบ 1 วัน							

ตารางที่ ข.10 การทดสอบความชื้นในหิน

UF(EI) resin (test2)															
1					2					3					
	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก		กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก		กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก	
ก่อนอบ	2.87	5.13	1.17	12.5	ก่อนอบ	2.99	5.19	1.16	12.64	ก่อนอบ	2.88	5.12	1.17	13.01	
หลังอบ 2 ชม.	2.85	5.11	1.14	11.84	หลังอบ 2 ชม.	2.9	5.1	1.14	11.92	หลังอบ 2 ชม.	2.85	5.11	1.14	12.34	
หลังอบ 1 วัน.	2.84	5.1	1.1	11.6	หลังอบ 1 วัน.	2.89	5.08	1.12	11.74	หลังอบ 1 วัน.	2.84	5.1	1.12	12.06	
ปริมาณความชื้นหลังอบ 2 ชม.					ปริมาณความชื้นหลังอบ 2 ชม.					ปริมาณความชื้นหลังอบ 2 ชม.					5.4294976
ปริมาณความชื้นหลังอบ 1 วัน					ปริมาณความชื้นหลังอบ 1 วัน					ปริมาณความชื้นหลังอบ 1 วัน					7.8772803
เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 2 ชม.					เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 2 ชม.					เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 2 ชม.					1.0526316
เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 1 วัน					เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 1 วัน					เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 1 วัน					1.4084507
ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.															5.68
ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ย หลังอบ 1 วัน															7.77
ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.															1.62
ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเฉลี่ย หลังอบ 1 วัน															1.97

ตารางที่ ข.11 การทดสอบความชื้นในชั้นไม

UF(E1) resin (test3)																	
1					2					3							
	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก		กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก		กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก			
ก่อนอบ	3.15	5.12	1.14	12.33	ก่อนอบ	2.92	5.13	1.16	12.52	ก่อนอบ	2.93	5.13	1.14	12.32			
หลังอบ 2 ชม.	3.13	5.11	1.12	11.53	หลังอบ 2 ชม.	2.9	5.11	1.11	11.63	หลังอบ 2 ชม.	2.91	5.11	1.12	11.72			
หลังอบ 1 วัน.	3.01	5.1	1.11	11.36	หลังอบ 1 วัน.	2.9	5.1	1.11	11.45	หลังอบ 1 วัน.	2.9	5.1	1.11	11.53			
ปริมาณความชื้นหลังอบ 2 ชม.					6.938422	ปริมาณความชื้นหลังอบ 2 ชม.					7.652623	ปริมาณความชื้นหลังอบ 2 ชม.					5.1194539
ปริมาณความชื้นหลังอบ 1 วัน					8.538732	ปริมาณความชื้นหลังอบ 1 วัน					9.344978	ปริมาณความชื้นหลังอบ 1 วัน					6.8516912
เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 2 ชม.					0.638978	เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 2 ชม.					0.689655	เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 2 ชม.					0.6872852
เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 1 วัน					4.651163	เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 1 วัน					0.689655	เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 1 วัน					1.0344828
ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.															6.57		
ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ย หลังอบ 1 วัน															8.25		
ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.															0.67		
ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเฉลี่ย หลังอบ 1 วัน															2.13		

ตารางที่ ข.12 การทดสอบความชื้นในชั้นไม้

UF(E2) resin (test1)														
1					2					3				
	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก		กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก		กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก
ก่อนอบ	2.97	5.1	1.12	10.3	ก่อนอบ	2.94	5.12	1.16	13.1	ก่อนอบ	2.87	5.15	1.16	13.25
หลังอบ 2 ชม.	2.92	5.1	1.11	10.1	หลังอบ 2 ชม.	2.93	5.11	1.14	12.45	หลังอบ 2 ชม.	2.86	5.14	1.14	12.59
หลังอบ 1 วัน.	2.9	5.1	1.1	10	หลังอบ 1 วัน.	2.93	5.09	1.13	12.18	หลังอบ 1 วัน.	2.86	5.13	1.13	12.3
ปริมาณความชื้นหลังอบ 2 ชม.	1.9802				ปริมาณความชื้นหลังอบ 2 ชม.	5.2209				ปริมาณความชื้นหลังอบ 2 ชม.	5.24226			
ปริมาณความชื้นหลังอบ 1 วัน	3				ปริมาณความชื้นหลังอบ 1 วัน	7.5534				ปริมาณความชื้นหลังอบ 1 วัน	7.72358			
เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 2 ชม.	1.7123				เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 2 ชม.	0.3413				เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 2 ชม.	0.34965			
เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 1 วัน	2.4138				เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 1 วัน	0.3413				เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 1 วัน	0.34965			
ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.														
ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ย หลังอบ 1 วัน														
ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.														
ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเฉลี่ย หลังอบ 1 วัน														
ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเฉลี่ย หลังอบ 1 วัน														

ตารางที่ ข.13 การทดสอบความชื้นในจีนไม้

UF(E2) resin (test2)																	
1					2					3							
	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก		กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก		กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก			
ก่อนอบ	2.89	5.19	1.19	12.04	ก่อนอบ	3	5.13	1.2	13.13	ก่อนอบ	2.92	5.15	1.2	14.2			
หลังอบ 2 ชม.	2.89	5.08	1.17	11.31	หลังอบ 2 ชม.	2.98	5.12	1.17	12.36	หลังอบ 2 ชม.	2.92	5.12	1.28	13.43			
หลังอบ 1 วัน.	2.88	5.08	1.16	11.22	หลังอบ 1 วัน.	2.97	5.1	1.17	12.25	หลังอบ 1 วัน.	2.92	5.12	1.17	13.28			
ปริมาณความชื้นหลังอบ 2 ชม.					6.4545	ปริมาณความชื้นหลังอบ 2 ชม.					6.2298	ปริมาณความชื้นหลังอบ 2 ชม.					5.73343
ปริมาณความชื้นหลังอบ 1 วัน					7.3084	ปริมาณความชื้นหลังอบ 1 วัน					7.1837	ปริมาณความชื้นหลังอบ 1 วัน					6.92771
เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 2 ชม.					0	เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 2 ชม.					0.6711	เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 2 ชม.					0
เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 1 วัน					0.3472	เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 1 วัน					1.0101	เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 1 วัน					0
ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.															6.14		
ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ย หลังอบ 1 วัน															7.14		
ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.															0.22		
ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเฉลี่ย หลังอบ 1 วัน															0.45		

ตารางที่ ข.14 การทดสอบความชื้นในหินไม้

UF(E2) resin (test3)															
1					2					3					
	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก		กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก		กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก	
ก่อนอบ	2.73	5.13	1.17	13.17	ก่อนอบ	2.69	5.12	1.17	12.15	ก่อนอบ	2.79	5.13	1.18	13.65	
หลังอบ 2 ชม.	2.73	5.12	1.15	12.48	หลังอบ 2 ชม.	2.69	5.11	1.15	11.51	หลังอบ 2 ชม.	2.79	5.11	1.15	12.98	
หลังอบ 1 วัน.	2.73	5.11	1.15	12.36	หลังอบ 1 วัน.	2.67	5.11	1.14	11.41	หลังอบ 1 วัน.	2.77	5.11	1.14	12.8	
ปริมาณความชื้นหลังอบ 2 ชม.	5.5288				ปริมาณความชื้นหลังอบ 2 ชม.	5.5604				ปริมาณความชื้นหลังอบ 2 ชม.	5.16179				
ปริมาณความชื้นหลังอบ 1 วัน	6.5534				ปริมาณความชื้นหลังอบ 1 วัน	6.4855				ปริมาณความชื้นหลังอบ 1 วัน	6.64063				
เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 2 ชม.	0				เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 2 ชม.	0				เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 2 ชม.	0				
เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 1 วัน	0				เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 1 วัน	0.7491				เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังอบ 1 วัน	0.72202				
ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.															5.42
ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ย หลังอบ 1 วัน															6.56
ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.															0
ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเฉลี่ย หลังอบ 1 วัน															0.49

ตารางที่ ข.15 การทดสอบการพองตัวตามความหนาและการดูดซึมน้ำ

UF(EI) resin (testI)												
แผ่นที่	1				2				3			
	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก
ระยะเวลาในการทดสอบ												
ก่อนทดสอบ	5.05	5.05	1.15	23.39	5.05	5.05	1.15	21.89	5.05	5.00	1.15	23.59
หลังทดสอบ 2 ชม.	5.08	5.08	1.24	28.75	5.08	5.08	1.25	28.82	5.09	5.03	1.26	28.47
หลังทดสอบ 1 วัน	5.10	5.10	1.35	33.93	5.10	5.10	1.40	34.29	5.10	5.05	1.35	32.24
	เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 2 ชม.			
	เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 1 วัน			
	เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 2 ชม.			
	เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 1 วัน			
	ค่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.(%)											
	ค่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเฉลี่ย หลังอบ 1 วัน (%)											
	ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของหิน ไม่เฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.(%)											
	ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของหิน ไม่เฉลี่ย หลังอบ 1 วัน (%)											
	ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของหิน ไม่เฉลี่ย หลังอบ 1 วัน (%)											

ตารางที่ ข.16 การทดสอบการพองตัวของความหนาและการดูดซึมน้ำ

UF(EI) resin (test2)												
แผ่นที่	1				2				3			
	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก
ระยะเวลาในการทดสอบ												
ก่อนทดสอบ	5.10	5.12	1.16	19.08	5.11	5.16	1.16	19.23	5.15	5.16	1.16	20.57
หลังทดสอบ 2 ชม.	5.10	5.17	1.25	28.41	5.13	5.18	1.24	28.66	5.15	5.18	1.24	28.80
หลังทดสอบ 1 วัน	5.12	5.22	1.41	33.02	5.14	5.21	1.41	33.21	5.18	5.20	1.38	34.68
	เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 2 ชม.			
	เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 1 วัน			
	เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 2 ชม.			
	เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 1 วัน			
	ค่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.(%)											
	ค่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเฉลี่ย หลังอบ 1 วัน (%)											
	ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของชิ้นไม้เฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.(%)											
	ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของชิ้นไม้เฉลี่ย หลังอบ 1 วัน (%)											
	ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของชิ้นไม้เฉลี่ย หลังอบ 1 วัน (%)											

ตารางที่ ข.17 การทดสอบการพองตัวตามความหนาและการดูดซึมน้ำ

UF(EI) resin (test3)												
แผ่นที่	1				2				3			
	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก
ระยะเวลาทดสอบ												
ก่อนทดสอบ	5.14	5.15	1.13	19.02	5.12	5.15	1.14	20.06	5.13	5.15	1.14	19.40
หลังทดสอบ 2 ชม.	5.17	5.16	1.25	27.47	5.14	5.16	1.24	26.96	5.14	5.17	1.25	26.67
หลังทดสอบ 1 วัน	5.18	5.19	1.30	34.92	5.16	5.19	1.30	34.22	5.15	5.19	1.30	32.94
	เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 2 ชม.			
	เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 1 วัน			
	เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 2 ชม.			
	เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 1 วัน			
					ค่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.(%)				8.8215			
					ค่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเฉลี่ย หลังอบ 1 วัน (%)				12.5641			
					ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของชิ้นไม่เฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.(%)				27.8711			
					ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของชิ้นไม่เฉลี่ย หลังอบ 1 วัน (%)				42.6723			

ตารางที่ ข.18 การทดสอบการพองตัวตามความหนาและการดูดซึมน้ำ

UF(E2) resin (test1)												
แผนที่	1				2				3			
	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก
ระยะเวลาในทดสอบ												
ก่อนทดสอบ	5.11	5.16	1.16	20.88	5.13	5.14	1.17	22.28	5.11	5.15	1.15	20.59
หลังทดสอบ 2 ชม.	5.14	5.18	1.24	29.25	5.17	5.17	1.26	29.79	5.13	5.18	1.25	29.48
หลังทดสอบ 1 วัน	5.15	5.2	1.30	33.75	5.18	5.18	1.34	35.09	5.14	5.20	1.30	34.43
	เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 2 ชม.			
	เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 1 วัน			
	เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 2 ชม.			
	เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 1 วัน			
	ค่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.(%)											
	ค่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเฉลี่ย หลังอบ 1 วัน (%)											
	ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของชิ้นไม้เฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.(%)											
	ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของชิ้นไม้เฉลี่ย หลังอบ 1 วัน (%)											
	8.0000				7.1429				11.5385			
	10.7692				12.6866				30.1560			
	28.6154				25.2098				40.1975			
	38.1333				36.5061				7.1982			
	11.6648											
	27.9937											
	38.2790											

ตารางที่ ข.19 การทดสอบการพองตัวตามความหนาและการดูดซึมน้ำ

UF(E2) resin (test2)												
แผ่นที่	1				2				3			
	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก
ระยะเวลาในการทดสอบ												
ก่อนทดสอบ	5.12	5.15	1.18	21.34	5.12	5.18	1.19	23.08	5.12	5.15	1.19	22.70
หลังทดสอบ 2 ชม.	5.15	5.19	1.32	27.85	5.14	5.18	1.32	28.00	5.15	5.20	1.31	27.39
หลังทดสอบ 1 วัน	5.16	5.19	1.39	36.67	5.16	5.19	1.40	37.45	5.16	5.20	1.33	37.48
	เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 2 ชม.			
	เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 1 วัน				ชม.				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 1 วัน			
	เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 2 ชม.			
	เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 1 วัน			
	ค่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.(%)				ค่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเฉลี่ย หลังอบ 1 วัน (%)				ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของชิ้น ไม่เฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.(%)			
	ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของชิ้น ไม่เฉลี่ย หลังอบ 1 วัน (%)				ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของชิ้น ไม่เฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.(%)				ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของชิ้น ไม่เฉลี่ย หลังอบ 1 วัน (%)			
	9.1603				9.8485				15.0000			
	10.5263				17.5714				38.3712			
	17.1230				9.8716				13.544			
	39.4344				19.356				39.8703			

ตารางที่ ข.20 การทดสอบการพองตัวตามความหนาและการดูดซึมน้ำ

UF(E2) resin (test3)												
แผ่นที่	1				2				3			
	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก
ระยะเวลาในทดสอบ												
ก่อนทดสอบ	5.14	5.15	1.18	21.44	5.1	5.15	1.18	20.82	5.11	5.15	1.17	19.58
หลังทดสอบ 2 ชม.	5.15	5.17	1.26	29.29	5.12	5.17	1.27	29.42	5.13	5.18	1.25	29.67
หลังทดสอบ 1 วัน	5.15	5.17	1.33	35.44	5.16	5.18	1.35	35.12	5.16	5.20	1.37	34.67
	เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 2 ชม.			
	เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 1 วัน			
	เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 2 ชม.			
	เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 1 วัน			
	ค่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.(%)											
	ค่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเฉลี่ย หลังอบ 1 วัน (%)											
	ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของชิ้นไม้เฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.(%)											
	ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของชิ้นไม้เฉลี่ย หลังอบ 1 วัน (%)											
	ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของชิ้นไม้เฉลี่ย หลังอบ 1 วัน (%)											

ตารางที่ ข.21 การทดสอบการพองตัวตามความหนาและการดูดซึมน้ำ

MUF (E2) resin (test1)												
แผ่นที่	1				2				3			
	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก
ระยะเวลาในการทดสอบ												
ก่อนทดสอบ	5.03	5.07	1.16	21.26	5.02	5.07	1.15	21.89	5.01	5.08	1.15	18.67
หลังทดสอบ 2 ชม.	5.04	5.09	1.29	30.71	5.05	5.1	1.28	30.42	5.03	5.09	1.3	30.13
หลังทดสอบ 1 วัน	5.10	5.09	1.32	33.93	5.06	5.11	1.32	33.27	5.05	5.09	1.32	32.18
	เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 2 ชม.			
	เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 1 วัน			
	เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 2 ชม.			
	เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 1 วัน			
	ค่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.(%)											
	ค่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเฉลี่ย หลังอบ 1 วัน (%)											
	ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของชิ้น ไม่เฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.(%)											
	ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของชิ้น ไม่เฉลี่ย หลังอบ 1 วัน (%)											

ตารางที่ ข.23 การทดสอบการพองตัวตามความหนาและการดูดซึมน้ำ

MUF(E2) resin (test3)												
แผ่นที่	1				2				3			
	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก	กว้าง	ยาว	หนา	น้ำหนัก
ระยะเวลาในทดสอบ												
ก่อนทดสอบ	5.05	5.13	1.14	22.12	5.05	5.06	1.14	20.15	5.06	5.04	1.15	20.22
หลังทดสอบ 2 ชม.	5.06	5.14	1.24	28.99	5.065	5.09	1.26	28.99	5.09	5.07	1.25	29.14
หลังทดสอบ 1 วัน	5.07	5.15	1.31	33.56	5.08	5.11	1.29	32.31	5.10	5.07	1.29	32.47
	เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 2 ชม.			
	เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การขยายตัวหลัง 1 วัน			
	เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 2 ชม.				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 2 ชม.			
	เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 1 วัน				เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ 1 วัน			
	ค่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.(%)											
	ค่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวเฉลี่ย หลังอบ 1 วัน (%)											
	ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของชิ้นไม้เฉลี่ย หลังอบ 2 ชม.(%)											
	ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของชิ้นไม้เฉลี่ย หลังอบ 1 วัน (%)											
	ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของชิ้นไม้เฉลี่ย หลังอบ 1 วัน (%)											
	ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของชิ้นไม้เฉลี่ย หลังอบ 1 วัน (%)											

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ

นางสาวทศดาว พาหาทรัพย์อนันต์

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2545 – 2551 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติการวิจัย

ทุนสนับสนุนการค้นคว้าอิสระบางส่วนจาก

สำนักงานวิจัยแห่งชาติ

ที่อยู่ปัจจุบัน

เลขที่ 39/157 หมู่ที่ 13 ตำบลแสนสุข อำเภอวารินชำราบ

จังหวัดอุบลราชธานี 314190