

การปรับปรุงคุณสมบัติการทนไฟของแผ่นไม้อัดจากชีวมวลในท้องถิ่น
โดยใช้สารหน่วงไฟที่ปลอดภัย

Improvement on Flame Retardancy of Locals Biomass Particleboard by
using Safety Flame Retardants



ฉันทบูรณ์ ถาวรวรรณ
และคณะ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ 2561

การปรับปรุงคุณสมบัติการทนไฟของแผ่นไม้อัดจากชีวมวลในท้องถิ่น
โดยใช้สารหน่วงไฟที่ปลอดภัย

Improvement on Flame Retardancy of Locals Biomass Particleboard by
using Safety Flame Retardants

ธัญบุรณ์ ถาวรวรรณ
พงศ์เทพ จันทรสันเทียะ
พุทธดี อุดลคุช
เชาวฤทธิ์ วันเสาร์
นพดล บุญยรัตนพันธุ์

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ 2561

บทสรุปผู้บริหาร

ในแต่ละปีอัตราการเกิดอัคคีภัยในประเทศไทยสร้างความเสียหายทั้งต่อชีวิตและทรัพย์สินเป็นจำนวนมากจากสถิติสถานการณ์อัคคีภัยของประเทศไทยระหว่าง พ.ศ.2532 - 2560 โดยศูนย์อำนวยการบรรเทาสาธารณภัย ระบุว่า มูลค่าความเสียหายตลอด 28 ปีที่ผ่านมา มีมากกว่า 35,882 ล้านบาท หรือคิดเป็นปีมากกว่าพันล้านบาท นอกจากนี้ยังมีผู้เสียชีวิตและบาดเจ็บจากเพลิงไหม้อีกจำนวนไม่น้อย เฉพาะในปี พ.ศ.2559 เพียงปีเดียวมีผู้เสียชีวิตและบาดเจ็บ 60 และ 126 รายตามลำดับและอัคคีภัยยังทำให้บ้านเรือนเกิดความเสียหายบ้างหลังก็เสียหายทั้งหลังหรือบางหลังเสียหายเป็นบางส่วนเฉพาะในปี พ.ศ.2559 บ้านเรือนเกิดความเสียหายทั้งหลัง และเสียหายบางส่วน 189 และ 163 หลังคาเรือนตามลำดับ สถานที่เกิดเพลิงไหม้นั้นมีหลากหลาย เช่น เกิดในครัวเรือน อาคารพาณิชย์ต่างๆ ดังนั้นการป้องกันและลดระดับการลุกไหม้ด้วยการใช้สารกันไฟหรือวัสดุกันไฟในการสร้างสิ่งปลูกสร้างหรือเฟอร์นิเจอร์เป็นสิ่งสมควรกระทำ เพื่อเพิ่มโอกาสพ้นจากสภาวะอันตรายจากอัคคีภัย

สารกันไฟดังกล่าวจะมีคุณสมบัติในการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติในการติดไฟของเชื้อเพลิง หรือเข้าไปรบกวนขั้นตอนในขบวนการสันดาป ทำให้อัตราการสันดาปช้าลง หรือขบวนการสันดาปหยุดชะงักลง สารเคมีที่มีคุณสมบัติในการหน่วงไฟที่ดีที่สุดได้แก่ ฟอสฟอรัส แอนติโมนี คลอโรน โบรไมด์ โบรอน และไนโตรเจน ซึ่งอยู่ในรูปสารประกอบที่แตกต่างกัน โดยสารประกอบที่ใช้เป็นสารหน่วงไฟในการดับไฟป่าที่เป็นที่รู้จักกันดีและใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ได้แก่ แอมโมเนียม ซัลเฟต (AS) $[(NH_4)_2 SO_4]$ ไดแอมโมเนียม ฟอสเฟต (DAP) $[(NH_4)_2 H_2PO_4]$ และ อลูมิเนียม ไฮดรอกไซด์ $[Al(OH)_3]$ สารประกอบทั้งสามชนิดนี้ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ส่วนหนึ่งเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการหน่วงไฟสูง และอีกส่วนหนึ่งเนื่องจากเป็นสารที่มีองค์ประกอบใกล้เคียงกับปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการเกษตร จึงหาได้ง่าย มีราคาถูก และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมไม่มากนัก สารหน่วงไฟทั้งสองชนิดมีผลรบกวนขบวนการสันดาปทั้งทางกายภาพและทางเคมี โดยส่วนที่เป็นน้ำจะลดช่วยลดอุณหภูมิของเชื้อเพลิง และลักษณะที่เป็นวุ้นหนาส่งผลให้เชื้อเพลิงที่กำลังทำปฏิกิริยาลุกไหม้ ในขณะที่เกลืออนินทรีย์สารจะรบกวนขั้นตอนการลุกไหม้ทำให้เกิดก๊าซที่ไม่ติดไฟแทนที่จะเป็นก๊าซที่ติดไฟในขบวนการลุกไหม้ตามปกติ เมื่อก๊าซที่ติดไฟได้นี้น้อยลง ความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาจากการลุกไหม้ก็ลดลง มีผลให้อัตราการลุกลามของไฟลดลงตามไปด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการนำสารหน่วงไฟที่มีประสิทธิภาพ เป็นที่นิยม สามารถหาได้ง่ายและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมไม่มากนักนำมาใช้ในการผลิตไม้อัดลดการลามไฟ โดยมีทั้งหมดสามชนิด ดังนี้ แอมโมเนียม ซัลเฟต (AS) $[(NH_4)_2 SO_4]$ ไดแอมโมเนียม ไฮโดรเจน ออโทฟอสเฟต (DAP) $[(NH_4)_2 H_2PO_4]$ และ อลูมิเนียม ไฮดรอกไซด์ $[Al(OH)_3]$ โดยวิธีการ Layer – by – layer assembly approach

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปผู้บริหาร	(1)
สารบัญ	(2)
สารบัญภาพ	(4)
สารบัญตาราง	(5)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ระยะเวลาในการดำเนินงาน	2
1.5 สถานที่ทำการวิจัย	3
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.7 นิยามศัพท์เฉพาะ	3
บทที่ 2 การบททวนวรรณกรรม	4
2.1 เทคโนโลยีไม้ (wood technology)	4
2.2 สารหน่วงไฟ	12
2.3 แผ่นขึ้นไม้อัดทนไฟ	16
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 กรอบแนวคิดและวิธีการศึกษา	20
3.1 กรอบแนวคิดในการศึกษาวิจัย	20
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในงานวิจัย	22
3.3 การออกแบบการทดลอง	24
3.4 การดำเนินการวิจัย	26
3.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง	28
บทที่ 4 ผลการศึกษาวิจัย	31
4.1 เปรียบเทียบขั้นตอนการเติมสารเพื่อใช้ลดการลามไฟ	31
4.2 การเปรียบเทียบสารลดการลามไฟในไม้อัดทั้ง 3 ชนิด	32
4.3 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของสาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ เพื่อใช้ลดการลามไฟ	33

	หน้า
4.4 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการแช่สาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ เพื่อใช้ลดการลามไฟ	34
4.5 อัตราการดูดซับน้ำ	34
บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผลการทดลอง	38
5.1 สรุปผลการวิจัย	38
5.2 อภิปรายผล	39
บรรณานุกรม	40
ภาคผนวก	42



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 ไม้บางไม้อัด (veneer & plywood)	4
ภาพที่ 2.2 แผ่นไม้ประกอบ (a) แผ่นไม้ปาร์เก้ (parquet & mosaic parquet) และ (b)แผ่นไม้ประสาน (laminated board)	5
ภาพที่ 2.3 แผ่นขึ้นไม้อัด (particleboard)	5
ภาพที่ 2.4 แผ่นใยไม้อัด (a) แผ่นใยไม้อัดอ่อน หรือแผ่นใยไม้อัดฉนวน และ (b)แผ่นใยไม้อัดแข็ง (intermediate หรือ medium density fiberboard, MDF)	6
ภาพที่ 2.5 แผ่นไม้อัดสารแร่ (Wood Mineral-bonded Panel)	7
ภาพที่ 2.6 กระบวนการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัด (Particle boards) ในอุตสาหกรรม	8
ภาพที่ 3.1 กรอบแนวความคิดของการวิจัย	21
ภาพที่ 3.2 แม่พิมพ์แผ่นไม้อัดตัวอย่าง ขนาด 6x6 นิ้ว	22
ภาพที่ 3.3 ชุดทดสอบการเผาไหม้ (a) แบบห้องทดสอบการเผาไหม้ และ (b) หัวพันไฟ Kovea รุ่น KT-2924	24
ภาพที่ 3.4 ตัวอย่างขึ้นไม้อัดในการทดสอบอัตราการเผาไหม้เพื่อศึกษาการทนไฟ	30
ภาพที่ 3.5 การทดสอบอัตราการเผาไหม้ของขึ้นไม้อัดเพื่อศึกษาการทนไฟ (a) ทดสอบการเผาไหม้ในแนวแกน X และ (b) ทดสอบการเผาไหม้ในแนวแกน Y	30
ภาพที่ 4.1 ผลการเปรียบเทียบขั้นตอนการเติมสารเพื่อใช้ลดการลามไฟ	31
ภาพที่ 4.2 การเปรียบเทียบสารลดการลามไฟในไม้อัดทั้ง 3 ชนิด	32
ภาพที่ 4.3 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของสาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ เพื่อใช้ลดการลามไฟ	33
ภาพที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการแช่สาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ เพื่อใช้ลดการลามไฟ	34
ภาพที่ 4.5 อัตราการดูดซับน้ำของไม้อัดที่ไม่แช่สารเคมี	35
ภาพที่ 4.6 อัตราการดูดซับน้ำของไม้อัดที่แช่ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	35
ภาพที่ 4.7 อัตราการดูดซับน้ำของไม้อัดที่แช่ $\text{Al}(\text{OH})_3$	36
ภาพที่ 4.8 อัตราการดูดซับน้ำของไม้อัดที่แช่ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	37

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ชนิดของความหนาแน่นของแผ่นซีเมนต์ใยอัด (Particle boards)	9
ตารางที่ 3.1 เครื่องมือในการเตรียมสารและขึ้นรูปวัสดุ	22
ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์พื้นฐานในการเตรียมสารและทดลอง	23
ตารางที่ 3.3 แสดงคุณสมบัติของสารเคมีหน่วงไฟและกาวประสานที่ใช้ในการทดลอง	23



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ไม้อัด (Particleboard) หรือบางประเทศเรียกว่า ชิปบอร์ด (Chipboard) เป็นไม้ประเภทหนึ่ง สร้างมาจากเศษชิ้นไม้ เศษซิวมวล เศษไม้ หรือซีลี้อย ซึ่งถูกมาประสานกันด้วยสารเคมีและนำมาทำการบดอัดด้วยความดันสูง ไม้อัดชนิดนี้จัดเป็นไฟเบอร์บอร์ดชนิดหนึ่งและเมื่อเปรียบเทียบกับไม้จริงจะมีราคาต่ำกว่า แต่จะมีความหนาแน่นมากกว่าไม้จริงและมีเนื้อไม้ที่มีลักษณะเดียวกันทั้งชิ้น ขณะเดียวกันความแข็งแรงของเนื้อไม้อัดก็จะน้อยกว่าไม้จริง โดยเมื่อนำมาใช้งานนิยมนำวีเนียร์ (แผ่นปิดผิวไม้อัด) มาติดเป็นผิวหน้าเพื่อแสดงลายไม้ หรือบางครั้งก็นิยมนำมาทาสีตกแต่ง โดยทั่วไปไม้อัดจะต้องมีคุณสมบัติคือ มีความแข็งแรงทนทานสูง มีความคงตัวไม่ยืดหดและไม้แตกง่าย สามารถตอกตะปูหรือใช้ตะปูควงขันเกล็ชขอบแผ่น หรือทุกส่วนได้รอบด้าน สามารถตัด เลื่อย และฉลุได้ง่าย ไม้แตกหัก สามารถโค้งงอได้โดยไม่ฉีกหัก สามารถเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีและรับน้ำหนักได้ในอัตราที่สูงกว่าไม้ธรรมชาติ แต่ก็มีข้อด้อยคือตัวเนื้อไม้อัดมีการติดไฟได้ง่าย มีการขยายตัวได้ง่ายเนื่องจากความชื้นสูง โดยเฉพาะไม้ที่ไม่ได้มีการทาสีหรือเคลือบซิลิโคน (แลคเกอร์รองพื้นไม้) ดังนั้นเพื่อลดข้อด้อยของไม้อัดจากการติดไฟได้ง่ายจึงจะต้องมีการปรับปรุงเพิ่มคุณสมบัติในการทนไฟในไม้อัด ซึ่งสามารถเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์และสร้างความปลอดภัยในการนำไปใช้งานได้ โดยการสร้างและพัฒนาส่วนประกอบในการผลิตไม้อัดมีคุณสมบัติที่มีการทนไฟที่นานขึ้นแต่นั้นก็ไม่ได้หมายความว่าไม้อัดนั้นจะไม่มีมีการติดไฟ หรือหมายถึงการปรับปรุงคุณสมบัติเพื่อการยืดเวลาในการติดไฟหรือการหน่วงการลุกไหม้ของไม้อัดนั้นออกไป ซึ่งการปรับปรุงคุณสมบัติการทนไฟของไม้อัดนั้นสามารถมีวิธีการในการปรับปรุงได้ 2 วิธีคือการเคลือบที่พื้นผิวของไม้อัดด้วยสารหน่วงไฟ หรือการผสมสารหน่วงไฟเข้าไปในเนื้อวัสดุในการผลิตไม้อัด ซึ่งสารหน่วงไฟบางชนิดจะมีประสิทธิภาพในการหน่วงไฟที่มีประสิทธิภาพสูงแต่ในทางกลับกันกลับก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้ เนื่องจากเมื่อเกิดการเผาไหม้จะสลายตัวทำให้เกิดแก๊สพิษที่ทำให้เกิดสารก่อมะเร็ง เช่นสารประกอบในกลุ่มฮาโลเจนจำพวกสารประกอบโบรมีน และสารประกอบในกลุ่มคลอรีนที่มีประสิทธิภาพในการหน่วงไฟที่ดีและมีความคงทนสูง ได้แก่แอมโมเนียมโบรไมด์ แอมโมเนียมคลอไรด์ กรดบอริก และแมกนีเซียมคลอไรด์ เป็นต้น

สำหรับงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยจะได้ทำการเตรียมไม้อัดจากเศษวัสดุซิวมวลที่สามารถหาได้ในท้องถิ่นผสมร่วมกับสารหน่วงไฟที่มีความปลอดภัยสำหรับผู้ใช้งาน โดยวิธีแช่วัสดุซิวมวลในสารละลายหน่วงไฟให้อิ่มตัว และสารหน่วงไฟ 3 ชนิด ได้แก่ ได-แอมโมเนียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต (di-Ammonium hydrogen orthophosphate; $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$), อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Aluminium hydroxide; $\text{Al}(\text{OH})_3$) และแอมโมเนียมซัลเฟต (Ammonium sulphate; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติในการทนไฟของไม้อัดที่เตรียมขึ้นโดยใช้กาบประสานอัดเป็นแผ่นที่ความดันสูงที่อุณหภูมิห้อง และนำไปทำการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุที่เตรียมได้ แล้วทำการทดสอบประสิทธิภาพในการทนไฟโดยการทดลองเผาไหม้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาการเตรียมไม้อัดทนไฟจากวัสดุชีวมวลในท้องถิ่นในเขตจังหวัดอุดรดิตต์และสารกันไฟจากสาร แอมโมเนียม ซัลเฟต (AS) $[(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4]$ ไดแอมโมเนียม ไฮโดรเจน ออโทฟอสเฟต (DAP) $[(\text{NH}_4)_2 \text{H}_2\text{PO}_4]$ และ อลูมิเนียม ไฮดรอกไซด์ $[\text{Al}(\text{OH})_3]$

1.2.2 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของไม้อัดทนไฟจากชีวมวล

1.2.3 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการหน่วงไฟของไม้อัดทนไฟจากชีวมวลเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้าง

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ศึกษาวัสดุจากชีวมวลที่สามารถหาได้ในท้องถิ่นที่มีศักยภาพสามารถนำมาสร้างไม้อัดชีวมวลทนไฟ

1.3.2 ศึกษารูปแบบของส่วนผสมและวิธีการเตรียมไม้อัดชีวมวลทนไฟที่มีสถานะและปัจจัยในการเตรียมที่ต่าง ๆ กัน ที่คาดว่าจะมีผลต่อคุณสมบัติการหน่วงไฟของไม้อัดชีวมวลทนไฟ ได้แก่

1.3.2.1 ปริมาณของความเข้มข้นของสารหน่วงไฟที่ใช้ (0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5 และ 2.0 โมลาร์)

1.3.2.2 อุณหภูมิที่ใช้ในการเติมสารหน่วงไฟ

1.3.2.3 เวลาที่ใช้ในการเติมสารหน่วงไฟ (1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง)

1.3.3 สารเคมีที่มีความปลอดภัยที่ใช้หน่วงไฟในงานวิจัยนี้มี 3 ชนิด ได้แก่ สาร แอมโมเนียม ซัลเฟต (AS) $[(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4]$ ไดแอมโมเนียม ไฮโดรเจน ออโทฟอสเฟต (DAP) $[(\text{NH}_4)_2 \text{H}_2\text{PO}_4]$ และ อลูมิเนียม ไฮดรอกไซด์ $[\text{Al}(\text{OH})_3]$

1.3.4 การศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของไม้อัดชีวมวลทนไฟด้วยกระบวนการทดสอบค่าความต้านทานมอดูลัสแตกร้าวและมอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of rupture and elasticity)

1.3.5 การทดสอบประสิทธิภาพในการหน่วงไฟของไม้อัดชีวมวลทนไฟด้วยกระบวนการทดสอบประสิทธิภาพของการป้องกันไฟของไม้อัดด้วยการเผาทดสอบ

1.3.6 นำต้นแบบไม้อัดชีวมวลทนไฟที่เตรียมได้ไปทดลองประยุกต์ใช้งาน

1.4 ระยะเวลาในการดำเนินงาน

ระยะเวลาโครงการ 1 ปี 0 เดือน

วันที่เริ่มต้น 1 ตุลาคม 2560 วันที่สิ้นสุด 30 กันยายน 2561

1.5 สถานที่ทำการวิจัย

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตต์

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถเตรียมไม้อัดชีวมวลทนไฟที่มีประสิทธิภาพการหน่วงไฟได้นานที่อุณหภูมิสูง

1.6.2 สามารถเลือกใช้สารหน่วงไฟได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย

1.6.3 สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์และพัฒนาผลิตภัณฑ์ไม้อัดชีวมวลทนไฟที่มีประสิทธิภาพในการหน่วงไฟสูง เพื่อนำไปใช้ในงานก่อสร้าง ในจังหวัดอุดรดิตต์ โดยมีภาครัฐและภาคเอกชนร่วมมือกัน ให้องค์ความรู้แก่ประชาชน

1.6.4 สามารถนำเสนอผลงานทางวิชาการในระดับชาติและระดับนานาชาติ

1.7 นิยามศัพท์

1.7.1 สารหน่วงไฟ (Fire retardants)

1.7.2 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ คือ ได-แอมโมเนียม ไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟส (Di-Ammonium Hydrogen Orthophosphate)

1.7.3 $\text{Al}(\text{OH})_3$ คือ อลูมิเนียม ไฮดรอกไซด์ (Aluminium Hydroxide)

1.7.4 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ คือ แอมโมเนียมซัลเฟต (Ammonium Sulfate)



บทที่ 2

บททวนวรรณกรรม

2.1 เทคโนโลยีไม้ (wood technology)

ในปัจจุบันในอุตสาหกรรมผลิตวัสดุเพื่อการก่อสร้างอาคารนั้น เทคโนโลยีไม้ได้มีส่วนมาช่วยในการพัฒนาสร้างผลิตภัณฑ์จากไม้เพื่อนำไปใช้ในการก่อสร้างโดยทั่วไป การนำเทคโนโลยีไม้มารพัฒนาผลิตภัณฑ์จากไม้เพื่อการก่อสร้างนั้นมีจุดประสงค์เพื่อการลดต้นทุนในการก่อสร้าง ซึ่งการใช้ไม้จริงนอกเสียจากจะเป็นการทำลายป่าไม้ในธรรมชาติแล้ว ไม้จริงที่สามารถนำมาใช้เพื่อการก่อสร้างจะมีราคาที่สูง ดังนั้นการนำเทคโนโลยีไม้มารพัฒนาสร้างไม้อัดและไม้ประกอบเพื่อนำไปใช้ในการก่อสร้างจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมและสามารถใช้ผลิตภัณฑ์จากไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพอย่างสูงสุด

2.1.1 ไม้อัดไม้ประกอบ

ไม้อัดไม้ประกอบถือว่าการใช้ประโยชน์ไม้ได้อย่างคุ้มค่าและชาญฉลาด โดยใช้ความรู้ทางเทคโนโลยีไม้ (wood technology) มาประยุกต์ใช้ โดยการนำเศษเหลือจากการแปรรูปไม้ อุตสาหกรรมโรงเลื่อย อุตสาหกรรมเครื่องเรือน สวนป่า หรืออื่น ๆ นำมาประกอบให้เป็นไม้ใหม่ (wood reconstituted board) ที่มีคุณลักษณะเหมาะกับการใช้ประโยชน์ เช่น ขนาดของแผ่นไม้ น้ำหนักที่เบากว่าไม้จริง โดยชนิดของไม้อัดไม้ประกอบสามารถแบ่งได้ดังนี้

2.1.1.1 ไม้บางไม้อัด (veneer & plywood) เป็นการนำไม้มาปอก (peeling) หรือฝาน (slicing) แล้วนำไม้บาง ๆ มาตากวาง เรียงประกบเป็นชั้น ๆ โดยให้แนวเสี้ยนของไม้บางแต่ละชั้นเรียงตั้งฉากกับไม้บางชั้นถัดไป เป็นที่นิยมใช้สำหรับการก่อสร้าง เนื่องจากแผ่นกว้าง ใหญ่ น้ำหนักเบา



ภาพที่ 2.1 ไม้บางไม้อัด (veneer & plywood)

2.1.1.2 แผ่นไม้ประกอบ (composite Board) เป็นการนำเศษไม้ปลายไม้ที่เหลือจากโรงเลื่อย หรือไม้จากสวนป่า ผลิตโดยเทคโนโลยีง่าย ๆ คือ

1) แผ่นไม้ปาร์เก (parquet & mosaic parquet) นำเศษไม้มาตัด ซอย ปรับสภาวะความชื้น เรียงขึ้นไม้ในแบบ ประกอบเป็นแผ่นแล้วใช้กระดากหรือตาข่ายกาวปิดทับ

2) ฝาไม้ประสาน (laminated board) นำเศษไม้มาตัด ซอยให้ได้ขนาด ใช้การต่อปลายแบบนิ้วประสาน (finger joint) แล้วทากาวด้านข้างต่อกันเป็นแผ่น



(a)

(b)

ภาพที่ 2.2 ฝาไม้ประกอบ (a) ฝาไม้ปาร์เก้ (parquet & mosaic parquet) และ (b) ฝาไม้ประสาน (laminated board)

2.1.13 ฝาชั้นไม้อัด (particle board) ใช้เศษไม้ปลายไม้มาทำเป็นชั้นเกล็ดไม้ แล้วอัดให้เป็นแผ่นโดยใช้กาวเป็นตัวประสานให้ติดกัน ภายใต้ความร้อนและแรงอัด ข้อดี คือ ใช้ทดแทนไม้อัดได้ เนื่องจากราคาถูกกว่า

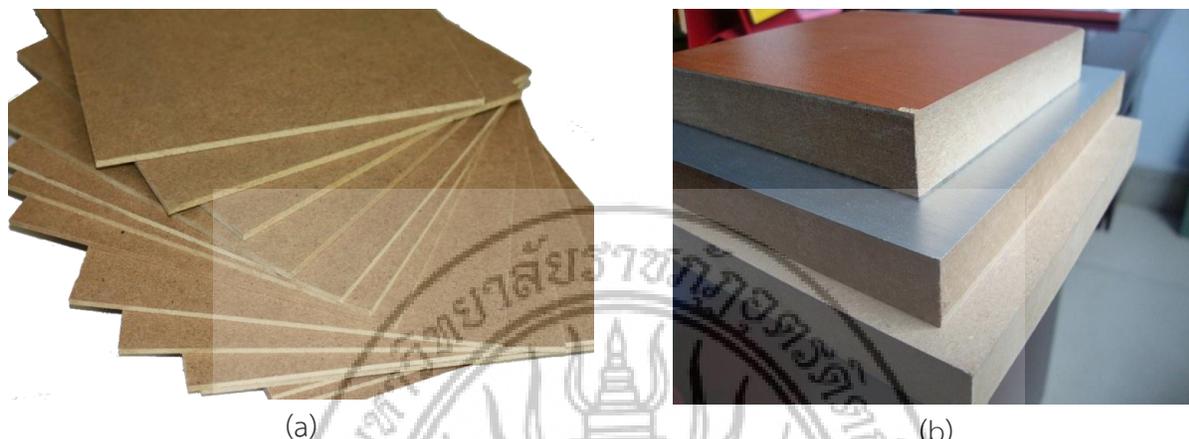


ภาพที่ 2.3 ฝาชั้นไม้อัด (particleboard)

2.1.1.4 ฝาใยไม้อัด (fiber board) ใช้ไม้หรือพืชเกษตรเป็นวัตถุดิบในการทำแผ่น โดยการแยกเส้นใยออกมาแล้วนำมาผสมกับกาว อัดเป็นแผ่นด้วยความร้อนและแรงอัด แล้วฝั่งกระแสอากาศให้เย็น ฝาใยไม้อัดใช้ทดแทนฝาไม้อัดและไม้ประกอบอื่นๆ ได้ดี โดยเฉพาะฝาใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (MDF) ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงไม้ธรรมชาติ ฝาใยไม้อัด แบ่งตามความหนาแน่นได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1) ฝาใยไม้อัดอ่อน หรือฝาใยไม้อัดฉนวน (softboard หรือ insulation Board) ใช้เป็นฉนวนกันความร้อนและเสียง

2) แผ่นใยไม้อัดแข็ง (hardboard) แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (intermediate หรือ medium density fiberboard, MDF) แผ่นใยไม้อัดแข็ง (hardboard) และแผ่นใยไม้อัดแข็งชนิดพิเศษ (special densified hardboard)



ภาพที่ 2.4 แผ่นใยไม้อัด (a) แผ่นใยไม้อัดอ่อน หรือแผ่นใยไม้อัดฉนวน และ (b) แผ่นใยไม้อัดแข็ง (intermediate หรือ medium density fiberboard, MDF)

2.1.1.5 แผ่นไม้อัดสารแร่ (Wood Mineral-bonded Panel) เป็นการยึดเกาะของสารแร่ เช่น ซีเมนต์ ยิปซัม และไม้ชิ้นเล็ก ๆ เช่น ฝอยไม้ (wood) ชิ้นไม้ (particle) และใยไม้ (fiber) แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม แผ่นไม้อัดซีเมนต์ (Wood cement Board) ไม้อัดยิปซัม (Wood gypsum board) และแผ่นไม้อัดสารแร่อื่น (Other wood mineral-bond panel)



ภาพที่ 2.5 แผ่นไม้อัดสารแร่ (Wood Mineral-bonded Panel)

2.1.2 การผลิตแผ่นชิ้นไม้อัด (Particle boards)

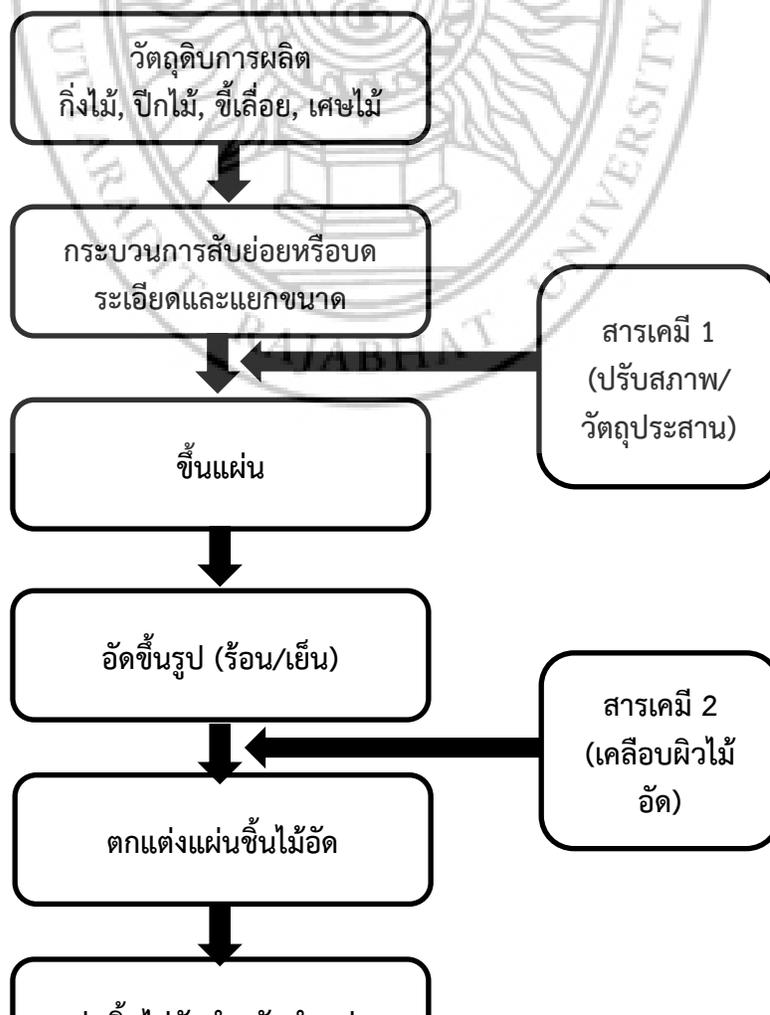
แผ่นชิ้นไม้อัด (Particle boards) ส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์จากเศษปลายไม้ ไม้เลื้อย หรือเศษวัสดุชีวมวลต่าง ๆ ซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์จากส่วนที่เหลือจากผลิตภัณฑ์จากไม้ให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น โดยใช้เป็นวัตถุดิบ

หลักในการผลิตเฟอร์นิเจอร์และเป็นที่ต้องการมากขึ้นในอุตสาหกรรมเนื่องจากใช้ทดแทนไม้จริงได้ และมีราคาถูกกว่า

2.1.2.1 กระบวนการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดในอุตสาหกรรม

ในกระบวนการผลิตแผ่นไม้อัดนั้น เริ่มจากการบดย่อยชิ้นไม้ ปีกไม้ เศษไม้ ชี้เลื่อย หรือไม้ตัดเปลือก ให้ได้ลักษณะตามที่ต้องการโดยใช้เครื่องสับ หลังจากนั้นคัดแยกขนาดไม้ที่บดย่อยเพื่อทำความสะอาด ทำการขึ้นรูปแผ่นไม้และตัดแต่งขอบ อัดขึ้นรูปเป็นแผ่นไม้โดยใช้สารเคมี ความร้อน และแรงอัด ต่อด้วยการอัดประสานด้วยกาว ส่วนใหญ่จะใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ หลังจากนั้นรอนจนกว่าจะเย็นแล้วทำการเซาะร่อง ขัดกระดาษทราย ตัดแผ่นทาสี ลงน้ำมันหรือตกแต่งผิว และบรรจุหีบห่อส่งมอบให้ลูกค้า ซึ่งกระบวนการผลิตได้แสดงในภาพที่ 2.6

โครงสร้างของแผ่นขึ้นไม้อัดทั้งด้านบนและด้านล่างจะเป็นชั้นไม้ละเอียดยัด แต่ตรงกลางเป็นชั้นไม้หยาบ ทำให้ไม่เหมาะกับการยึดติดด้วยตะปู และไม่สามารถตกแต่งขอบหรือทำลึนร่องของผิวได้ โดยทั่วไปแผ่นขึ้นไม้อัดจะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้าง เช่น ประตู ผนัง ฝ้า พื้น และผลิตเฟอร์นิเจอร์ เช่น ตู้ เตียง โต๊ะ เครื่องใช้สำนักงาน และตุ๊กตาโพง



ภาพที่ 2.6 กระบวนการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัด (Particle boards) ในอุตสาหกรรม

2.1.2.2 ชนิดของแผ่นขึ้นไม้อัด (Particle boards)

ชนิดของแผ่นขึ้นไม้อัดสามารถแบ่งออกได้หลายชนิด และถูกเรียกชื่อแตกต่างกันไปตามลักษณะชนิดที่แบ่งนั้น ๆ ซึ่งสามารถแบ่งโดยทั่วไปได้ดังนี้

1) ลักษณะความหนาแน่นของแผ่นที่เป็นหลักเกณฑ์ที่ยึดถือเพื่อใช้จำแนกชนิดของแผ่นขึ้นไม้อัดในทางวิชาการ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ชนิดของความหนาแน่นของแผ่นขึ้นไม้อัด (Particle boards)

ชนิดของแผ่นขึ้นไม้อัด (Particle boards)	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)		
	FAO 1976	CS 236-66	TIS 876-2532
ความหนาแน่นต่ำ (Low Density) หรือ Insulation Board	250-400	<590	-
ความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density)	400-800	590-800	500-800
ความหนาแน่นสูง (High Density) หรือ Hard Board	810-1200	>800	-

2) ลักษณะของขึ้นไม้ที่ใช้ผลิต ซึ่งขึ้นไม้ที่นำมาใช้ผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจะมีลักษณะต่าง ๆ กันและถูกย่อยด้วยเครื่องจักรต่างกันด้วย เช่น ชิปหรือขึ้นไม้สับ เกล็ด เกล็ดใหญ่ แฉบ ชักบ แท่ง และฝอยไม้ เป็นต้น แผ่นขึ้นไม้อัดที่ผลิตจากขึ้นไม้ลักษณะใดลักษณะหนึ่ง มักจะถูกเรียกเป็นแผ่นขึ้นไม้ลักษณะนั้น ๆ เช่น Chip Board, Flak Board, Wafer Board, Strand Board และ Shaving Board เป็นต้น

3) ลักษณะกรรมวิธีการอัดแผ่น โดยขึ้นไม้ที่ผสมตัวประสานแล้วจะถูกนำไปทาเป็นแผ่นเตรียมอัด (Format) เพื่อทำการอัดร้อนและแรงอัดที่ใช้อัดร้อนมีใช้กันอยู่ 2 ทิศทาง หากใช้แรงอัดให้มีทิศทางตั้งฉากกับระนาบของแผ่นซึ่งอาจทำเป็นแผ่น ๆ หรือทำแบบต่อเนื่อง เรียกขึ้นไม้อัดแบบนี้ว่า Flat-Platen Pressed Particleboard เป็นขึ้นไม้อัดที่นิยมผลิตกันอยู่ในปัจจุบัน หากใช้ทิศทางแรงอัดขนานกับระนาบของแผ่นไปตามความยาวของแผ่น เรียกขึ้นไม้อัดแบบนี้ว่า Extrude Particleboard ซึ่งแผ่นชนิดนี้จะอัดออกมาตามแบบ แผ่นที่หนามากจะใช้ท่อร้อนกลางแผ่นช่วยให้กาวยแข็งตัวเร็วขึ้นจึงมีกรวยยาวกลางแผ่น และมีการผลิตกันน้อย

4) ลักษณะโครงสร้างของแผ่นสามารถแบ่งตามการกระจายตัวของขนาดขึ้นไม้ทางด้านความหนา มีอยู่ 3 ชนิดด้วยกัน

ก. แผ่นชั้นไม้อัดชั้นเดียว (Single Layer Particleboard) แผ่นชั้นไม้อัดชั้นเดียว หมายถึง แผ่นชั้นไม้อัดที่ทำจากชั้นไม้ที่มีลักษณะและขนาดเหมือนกันมีส่วนผสมของกาวและสารเติมแต่ง (Additive) อย่างเดียวกันตลอดความหนาของแผ่นชั้นไม้อัด

ข. แผ่นชั้นไม้อัดสามชั้น (Three Layers Particleboard) หมายถึง แผ่นชั้นไม้อัดที่แบ่งตามลักษณะของชั้นไม้ออกเป็นสามชั้นตลอดความหนาของแผ่นชั้นไม้อัด ในแต่ละชั้นประกอบด้วยชั้นไม้ที่มีลักษณะและขนาด ตลอดจนส่วนผสมของกาวเหมือนกัน ปกติใช้ชั้นไม้ขนาดเล็กและบางเป็นชั้นผิวหน้าและหลัง ส่วนชั้นไส้ใช้ชั้นไม้หยาบและใหญ่กว่า ไม้ที่ใช้ทำชั้นไส้อาจเป็นชนิดที่ต่างกับที่ใช้ทำชั้นผิวหน้าและหลังก็ได้ ปริมาณกาวที่ใช้ผสมในชั้นผิวหน้าทั้ง 2 หน้ามักมีมากกว่าในชั้นไส้ เพื่อให้เกิดโครงสร้างที่สมดุลกัน มีผิวแข็ง และแน่นขึ้น

ค. แผ่นชั้นไม้อัดลดหลั่น (Graduated Particleboard) แผ่นชั้นไม้อัดลดหลั่น หมายถึง แผ่นชั้นไม้อัดที่ทำจากชั้นไม้ขนาดและลักษณะต่างกันโดยโครงสร้างของแผ่นประกอบชั้นไม้ขนาดใหญ่และหยาบกว่าอยู่ตรงแนวกลางแผ่นตลอดความหนาจากแนวกลางแผ่น ชั้นไม้จะมีขนาดลดหลั่นเล็กลงไปหาผิวทั้งสองด้านโดยไม่มีกรแบ่งชั้นแน่นอน

5) ลักษณะการนำไปใช้ประโยชน์ของแผ่นชั้นไม้อัดในการผลิตแผ่นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ ได้อีกมากมาย ดังนี้

ก. แผ่นชั้นไม้อัดชนิดเพื่อการใช้งานภายในอาคาร (Interior Particleboard) เป็นแผ่นชั้นไม้อัดที่มีการผลิตเป็นส่วนใหญ่ใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ เรซิน และกาวยูเรียเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ เรซิน เป็นตัวประสานใช้งานที่ ๆ มีความคงทนต่อสภาวะแวดล้อมปานกลาง เช่น ใช้ทำเป็นฝ้าเพดาน ผนังห้อง หรือชิ้นส่วนของเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น

ข. แผ่นชั้นไม้อัดชนิดเพื่อการใช้งานภายนอกอาคาร (Exterior Particleboard) ผลิตเพื่อใช้งานในที่ที่มีความคงทนต่อสภาวะแวดล้อมสูง ใช้กาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ เรซิน กาวเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ เรซิน ที่ใช้เป็นตัวประสาน เป็นต้น

ค. แผ่นชั้นไม้อัดสำหรับใช้ปูรองพื้น (Particleboard Floor Underlayment) ใช้สำหรับทำชั้นดาดฟ้าของบ้านเคลื่อนที่ (Mobile Home Decking) เป็นผลิตภัณฑ์แผ่นชั้นไม้อัด ที่ผลิตเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมและขัดกระดาษทรายให้ได้ความหนาสม่ำเสมอ เพื่อให้สามารถใช้วัสดุอื่นปูพื้นได้ระดับและเรียบสม่ำเสมอ

ง. แผ่นชั้นไม้อัดสำหรับเก็บเสียง (Acoustical Particleboard) เป็นแผ่นชั้นไม้อัดที่ใช้กรุผนังหรือเพดาน เพื่อลดการสะท้อนเสียงในห้องลงโดยทำการปรุรูหรือเจาะร่องเป็นแบบต่าง ๆ เช่น Acoustic Board เป็นต้น

6) ลักษณะรูปแบบการผลิตแผ่น ลักษณะรูปแบบการผลิตแผ่นชั้นไม้อัดที่ผลิตและขายเป็นการค้าของผู้ผลิตในประเทศไทยมี 2 รูปแบบ ด้วยกันคือ

ก. แผ่นชั้นไม้อัดชนิดเปลือย (Sanding Board) คือ แผ่นชั้นไม้อัดที่ผลิตออกมาจากเครื่องจักรและผ่านการขัดผิวเรียบร้อยแล้วพร้อมที่จะนำไปปิดผิวด้วยวัสดุปิดผิวต่าง ๆ

ข. แผ่นชั้นไม้อัดชนิดเคลือบหรือปิดผิว (Pre-Finished Board) คือแผ่นชั้นไม้อัดเปลือยที่ผ่านการปิดผิวหน้าด้วยวัสดุต่าง ๆ เช่น

- การปิดทับด้วยแผ่นไม้บาง (Wood Veneering) โดยแผ่นชิ้นไม้อัด แผ่นเปลือยที่จะปิดทับด้วยแผ่นไม้บางควรมีความหนาไม่เกิน 22 มิลลิเมตร ปิดทับทั้งด้านหน้าและด้านหลัง การปิดใช้ยาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ เรซิน หรือกาวพอลิไวนิลอะซีเตต
- การปิดทับด้วยแผ่นกระดาษ และแผ่นพีวีซี (PVC Laminated) โดยแผ่นชิ้นไม้อัดที่จะปิดทับด้วยแผ่นกระดาษที่มีลวดลาย หรือแผ่นพีวีซี ควรมีความหนาไม่เกิน 22 มิลลิเมตร สำหรับกระดาษที่ปิดทับจะใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์หรือกาวโคพอลิเมอร์ดิสเพอร์ชัน (Copolymer Dispersion)
- การปิดทับผิวหน้าด้วยแผ่นวัสดุระบายความร้อน (Heat Transfer Foil) หรือปิดทับด้วยวัสดุกันความร้อน ซึ่งจะนำมาปิดทับบนแผ่นชิ้นไม้อัด โดยวิธีแห้งแบบธรรมดาต่างๆ
- การปิดทับด้วยแผ่นพลาสติกบาง (Plastic Laminate Veneer) ซึ่งเป็นการปิดทับ ที่มีการนิยมทำมาก
- การปิดทับด้วยเมลามีน (Melamine) ทำโดยนำเอาแผ่นวัสดุที่เคลือบเมลามีน มาปิดทับบนผิวแผ่นไม้

2.1.2.3 วัตถุดิบในอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัด

วัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัด คือ ไม้หรือวัสดุเศษเหลือที่ให้เส้นใย นอกเหนือจากวัสดุดังกล่าวแล้วยังมีส่วนที่สำคัญอีกคือ กาว และสารเติมแต่ง ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้คุณภาพในกระบวนการผลิตมีคุณภาพดียิ่งขึ้น และเป็นปัจจัยสำคัญที่ไม่ควรละเลย

1) ไม้ (Wood) ไม้เป็นวัสดุที่ใช้กันโดยทั่ว ๆ ไปในการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ 3 กลุ่ม ดังนี้

ก. ผลผลิตจากป่าไม้ที่ยังไม่ได้แปรรูป (Unprocessed Forestry Product) เช่น ไม้ขนาดเล็กที่ได้จากการตัดสายขยายระยะ (Thinning) และกิ่งก้านที่หนา หรือใหญ่ (Thick Branches) เศษไม้ขนาดใหญ่ที่เหลือจากอุตสาหกรรม (Coarse Industrial Residues) เช่น ปีกไม้ (Slabs) ขอบไม้ (Edgings) เศษไม้ที่ตัดทิ้งจากโรงเลื่อย (Off Cuts From Sawmills) ใส้ไม้ที่เหลือจากการลอก (Peeler Cores) และส่วนเสียที่ถูกคัดทิ้งออกจากการผลิตไม้บาง (Rejects From Veneer Manufacture) เศษเหลือขนาดเล็กจากอุตสาหกรรม (Fine Industrial Residues) โดยเฉพาะขี้กบ (Planer Mill Shavings) และขี้เลื่อย (Sawdust)

ข. ชิปไม้หรือชิ้นไม้สับ (Wood Chips) จากการตัดไม้ด้วยเครื่องตัดชิ้นไม้เศษเหลือ เช่น แผ่นไม้ขอบไม้ หรือ เศษไม้ระแนงและส่วนอื่น ๆ ที่ถูกตัดทิ้งจากอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ และอุตสาหกรรมไม้

ค. วัสดุเศษเหลือที่ให้เส้นใย (Other Lignocellulosic Materials) นอกจาก ไม้แล้วยังมีการใช้วัสดุเศษเหลือที่ให้เส้นใยอื่นซึ่งถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัด ได้แก่ ชานอ้อย ฟางข้าว เปลือกถั่ว ต้นฝ้าย ต้นข้าวโพด ชังข้าวโพด เป็นต้น ลักษณะการนำไปใช้งานเช่นเดียวกับไม้แต่ต้องแยกสิ่งเจือปนที่เป็นอุปสรรคต่อการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัด ออกให้เหลือน้อยที่สุด เช่น ฝุ่นผง ปริมาณน้ำตาล และพืท (Pith) ที่เนื้อเยื่อทางเดินอาหาร (Vascular Tissues) ของวัสดุซึ่งเป็นบริเวณเส้นใยผนังบาง และเส้น (Thin Walled Parenchymatous Ground Tissues) ตลอดจนสารขี้ผึ้งที่เคลือบอยู่ตามผิวอันเป็นลักษณะประจำของวัสดุเหล่านี้ ซึ่งมักเป็นอุปสรรคในการยึดติดกาวประเภทที่ใช้น้ำเป็นสารละลาย (Water Based Adhesives)

2.2 สารหน่วงไฟ

สารเคมีหน่วงไฟ (Fire retardant) มีมากมายหลายชนิด อย่างไรก็ตามสามารถแบ่งได้กว้าง ๆ เป็น 2 ประเภทตามลักษณะคุณสมบัติในการหน่วงไฟ ได้แก่ สารหน่วงไฟทางเคมี (Chemical agent) และ 2.2.2 สารหน่วงไฟทางกายภาพ (Physical agent)

2.2.1 สารหน่วงไฟทางเคมี (Chemical agent)

สารเคมีดังกล่าวจะมีคุณสมบัติในการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติในการติดไฟของเชื้อเพลิง หรือเข้าไปรบกวนขั้นตอนในขบวนการสันดาป ทำให้อัตราการสันดาปช้าลง หรือขบวนการสันดาปหยุดชะงักลง ซึ่งสารหน่วงไฟที่ช่วยลดอัตราการเผาไหม้ของวัสดุนั้นแบ่งตามองค์ประกอบทางเคมีได้ 5 ประเภท ได้แก่ สารหน่วงการติดไฟที่เป็นสารประกอบโบรมีน (brominated fire retardants) สารหน่วงการติดไฟที่เป็นสารประกอบคลอรีน (chlorinated fire retardants) สารหน่วงการติดไฟที่มีฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบ (phosphorus-containing fire retardants) สารหน่วงการติดไฟที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบ (nitrogen-containing fire retardants) และ สารหน่วงการติดไฟที่เป็นสารอนินทรีย์ (inorganic fire retardants)

สารเคมีที่มีคุณสมบัติในการหน่วงไฟที่ดีที่สุดได้แก่ ฟอสฟอรัส แอนติโมนี คลอโรน โบรมีน โบรอน และไนโตรเจน ซึ่งอยู่ในรูปสารประกอบที่แตกต่างกัน โดยสารประกอบที่ใช้เป็นสารหน่วงไฟในการดับไฟป่าที่เป็นที่รู้จักกันดีและใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ได้แก่ แอมโมเนียม ซัลเฟต (AS) $[(NH_4)_2 SO_4]$ และไดแอมโมเนียม ฟอสเฟต (DAP) $[(NH_4)_2 H_2 PO_4]$ สารประกอบทั้งสองชนิดนี้ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ส่วนหนึ่งเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการหน่วงไฟสูง และอีกส่วนหนึ่งเนื่องจากเป็นสารที่มีองค์ประกอบใกล้เคียงกับปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการเกษตร จึงหาได้ง่าย มีราคาถูก และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมไม่มากนัก สารหน่วงไฟทั้งสองชนิดมีผลรบกวนขบวนการสันดาปทั้งทางกายภาพและทางเคมี โดยส่วนที่เป็นน้ำจะลดช่วยลดอุณหภูมิของเชื้อเพลิง และลักษณะที่เป็นวุ้นหนาคือห่อหุ้มผิวเชื้อเพลิงที่กำลังทำปฏิกิริยาลุกไหม้ ในขณะที่เกลืออนินทรีย์สารจะรบกวนขั้นตอนการลุกไหม้ทำให้เกิดก๊าซที่ไม่ติดไฟแทนที่จะเป็นก๊าซที่ติดไฟในขบวนการลุกไหม้ตามปกติ เมื่อก๊าซที่ติดไฟได้มีน้อยลง ความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาจากการลุกไหม้ก็ลดลง มีผลให้อัตราการลุกลามของไฟลดลงตามไปด้วย

ปัญหาสำคัญของสารหน่วงไฟที่เป็นเกลืออนินทรีย์สาร คือความเป็นพิษ เช่นสารเคมีที่ใช้ในยุคแรกๆ คือ โซเดียม แคลเซียม โบเรต ซึ่งเลิกใช้ไปแล้ว เนื่องจากพบว่าเมื่อใช้ในปริมาณมากจะมีผลทำให้ดินหมดความอุดมสมบูรณ์ลงโดยสิ้นเชิง สำหรับสารเคมีที่ยังนิยมใช้กันอยู่ คือ แอมโมเนียมซัลเฟต และไดแอมโมเนียมฟอสเฟต ซึ่งถึงแม้จะมีองค์ประกอบใกล้เคียงปุ๋ยเคมีการเกษตรมาก แต่หากใช้ในปริมาณมาก โดยเฉพาะเมื่อลงไปสะสมอยู่ในแหล่งน้ำ ฟอสเฟตจะทำให้น้ำเสีย มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

2.2.2 สารหน่วงไฟทางกายภาพ (Physical agent)

น้ำถือเป็นสารหน่วงไฟทางกายภาพที่มีประสิทธิภาพมาก โดยเฉพาะเมื่อเป็นไอจะมีความสามารถในการดูดซับความร้อนสูงและนำความร้อนออกไปจากพื้นที่ ทำให้บริเวณที่ไฟไหม้ และเชื้อเพลิงมีอุณหภูมิลดลง อย่างไรก็ตามน้ำมีแรงตึงผิวสูงมาก จึงมักรวมเป็นหยดและกลิ้งออกไปจากเชื้อเพลิงเร็วมาก่อนที่จะดูดซับความร้อนได้เต็มตามปริมาณความจุความร้อนที่รับได้

ดังนั้นในช่วงคริสต์ทศวรรษที่ 30 และ 40 (1930s and 1940s) จึงได้เริ่มมีการทดลองใช้โฟมเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของน้ำในการดับไฟ ต่อมาในปี 2511 (ค.ศ.1968) จึงเริ่มใช้โฟมในการดับไฟป่า ซึ่งปรากฏว่าไม่ได้ผลเท่าที่ควร ประกอบกับจำเป็นต้องใช้เครื่องมือพิเศษในการทำให้เกิดโฟม และคนยังให้ความสนใจน้อย ดังนั้นจึงยัง

ไม่มีการผลักดันเพื่อพัฒนาการใช้โพนในการดับไฟป่าอย่างจริงจัง จนกระทั่งถึงปี 2528 (ค.ศ.1985) ประเทศแคนาดาจึงได้มีการพัฒนาโพนชนิดใหม่จากสารประกอบในตระกูลไฮโดรคาร์บอน (Synthetic hydrocarbon surfactant foaming agents) ซึ่งต่อมาได้รับความนิยมใช้จากหน่วยงานดับไฟป่าเกือบทุกแห่ง ทั้งในประเทศแคนาดาและสหรัฐอเมริกา โดยสามารถใช้ดับไฟทางภาคพื้นดินและดับไฟทางอากาศ ได้เป็นอย่างดี

โพนมีคุณสมบัติในการลดแรงตึงผิวของน้ำ ทำให้น้ำกระจายครอบคลุมเชื้อเพลิงได้เนื้อที่มากกว่าเดิมและซึมลึกลงไปใ้ในรูพรุนเล็กๆ ของเชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังติดอยู่บนเชื้อเพลิงนานขึ้นทำให้น้ำมีโอกาสดูดซับความร้อนจากเชื้อเพลิงได้เต็มตามปริมาณความจุความร้อนที่รับได้ นอกจากนี้สีขาวของโพนที่ปกคลุมเชื้อเพลิงยังช่วยสะท้อนความร้อนจากภายนอก ทำให้อุณหภูมิของเชื้อเพลิงไม่เพิ่มขึ้นไปจากเดิม กับทั้งยังช่วยสร้างม่านละอองน้ำกั้นระหว่างเชื้อเพลิงกับไฟอีกด้วย

[http://www.dnp.go.th/forestfire/FIRESCIENCE/lesson%2010/lesson10_4.htm] 8/5/61 (สารหน่วงไฟ)

2.2.3 ตัวอย่างสารหน่วงไฟที่ใช้ในไม้อัด

สารหน่วงไฟที่ใช้ในไม้อัดและมีความเป็นพิษต่อร่างกายต่ำนั้นจะเป็นผลทำให้ผู้ผลิตและผู้บริโภคมีความปลอดภัยต่อการผลิตและการใช้ ซึ่งสารหน่วงไฟที่มีความเป็นพิษน้อยและสามารถจัดหาได้ง่ายนั้นได้แก่

2.2.3.1 Ammonium sulfate

แอมโมเนียมซัลเฟต ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) คือ เป็นเกลืออนินทรีย์กับ anumber การใช้งานเชิงพาณิชย์ การใช้งานทั่วไปเป็นปุ๋ย asoil ประกอบด้วยไนโตรเจน 21% เป็นแคทไอออนแอมโมเนีย และ 24% กำมะถันเป็นซัลเฟต ไอออน แอมโมเนียมซัลเฟต ใช้ในองค์ประกอบสารหน่วงไฟที่ทำหน้าที่มากเช่นฟอสเฟต diammonium แอมโมเนียมซัลเฟต เป็นสารหน่วงไฟ a flame มันช่วยลดอุณหภูมิการเผาไหม้ของวัสดุ ลดอัตราการสูญเสียน้ำหนักสูงสุด และทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นในการผลิตของสารตกค้างหรืออักษระ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของสารหน่วงไฟ โดยผสมกับแอมโมเนียม sulfamate เมื่อเข้าตา ถูกผิวหนัง เมื่อสูดดม เมื่อกลิ้งกิน ชะล้างออกด้วยน้ำ ถอดเสื้อผ้าที่เปื้อน ออกทันทีให้รีบอากาศบริสุทธิ์ให้ดื่มน้ำปริมาณมาก ปรึกษาแพทย์หากรู้สึกไม่สบาย ข้อปฏิบัติกรณีหกรั่วไหล หรือเพลิงไหม้ เลือกลงใช้สารดับเพลิงที่เหมาะสมกับวัสดุที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง

2.2.3.2 Aluminium Hydroxide

อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์เป็นฟอร์มที่เสถียรที่สุดของอะลูมิเนียมในสภาวะปกติ ในธรรมชาติรู้จักกันในชื่อ กิบบไซต์ (gibbsite) มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับอะลูมิเนียม ออกไซด์ ไฮดรอกไซด์ (aluminium oxide hydroxide- $\text{AlO}(\text{OH})$) , และอะลูมิเนียม ออกไซด์ (aluminium oxide) Al_2O_3 สารประกอบดังกล่าวทั้งหมดจะเป็นส่วนประกอบหลักของแร่ บอกไซด์ (bauxite) เป็นสารออกฤทธิ์ที่ช่วยระงับเหงื่อได้ดี โดยจะทำให้เนื้อเยื่อบริเวณพื้นผิวของเซลล์และช่องระหว่างเซลล์หดตัวกระชับ เข้าหากัน ซึ่งทำให้รูขุมขนกระชับเล็กลง อีกทั้งยังมีคุณสมบัติพิเศษช่วยทำลายแบคทีเรียที่เป็นบ่อเกิดของกลิ่น อันตรายจากการปล่อยควันพิษออกมาภายใต้สภาวะที่เกิดไฟสารถทำให้ระคายเคืองต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมระคายเคืองต่อตาสูดดมลักษณะทั่วไปล้างให้สะอาดหลังการสัมผัส เครื่องป้องกันส่วนบุคคลการป้องกันทางเดินหายใจเครื่องช่วยหายใจที่ผ่านการรับรองโดยรัฐ การป้องกันมือถุงมือชนิดที่ทนสารเคมี การป้องกันดวงตา แว่นตาแบบก๊อกเกลส์ที่ป้องกันสารเคมีข้อปฏิบัติในการใช้สารคำแนะนำสำหรับการปฏิบัติที่ปลอดภัย อย่าหายใจเอาฝุ่นเข้าไป หลีกเลี่ยงการสัมผัสกับดวงตา, ผิวหนัง และเสื้อผ้า หลีกเลี่ยงการได้รับสารเป็นเวลานานหรือซ้ำหลายครั้ง การเก็บรักษา สภาวะสำหรับการเก็บปิดให้สนิท

2.2.3.3 Di-Ammonium Hydrogen Orthophosphate

สารหน่วงไฟกลุ่มฟอสฟอรัสทำหน้าที่ขัดขวางการลุกไหม้ทั้งในสถานะแก๊สและสถานะควบแน่นเช่นลดการสูญเสียความร้อนเนื่องจากการไหลจากการหลอมเหลวกีดขวางผิวหน้าด้วยกรดที่มีฟอสฟอรัสกระตุ้นให้เกิดถ่าน ข้อดีคือให้ควันน้อยและความเป็นพิษต่ำการปฏุมพยาบาลชะล้างออกด้วยน้ำปริมาณมากชะล้างออกด้วยน้ำให้ผู้ป่วยดื่มน้ำปริมาณมาก กระตุ้นให้อาเจียนแล้วนำส่งแพทย์ถอดเสื้อผ้าที่เปื้อนออกทันทีข้อปฏิบัติกรณีหกรั่วไหลหรือเกิดเพลิงไหม้เลือกใช้สารดับเพลิงที่เหมาะสมกับวัสดุที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง กวาดขณะแห้ง ส่งไปกำจัด ทำความสะอาดบริเวณที่ปนเปื้อน ซึ่งบทบาทของสารหน่วงไฟกลุ่มฟอสฟอรัสในสถานะควบแน่น ดังนี้

1. การเกิดถ่านจากการเผาไหม้สารหน่วงไฟกลุ่มฟอสฟอรัสช่วยเพิ่มปริมาณถ่านเมื่อเผาไหม้ โดยเฉพาะในพอลิเมอร์ที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบเช่นเซลลูโลสหรือพอลิยูรีเทนซึ่งการเพิ่มขึ้นของถ่านมีผลทำให้การเผาไหม้เกิดลดลงนอกจากนี้ในกระบวนการเกิดถ่านจะปลดปล่อยโมเลกุลน้ำซึ่งช่วยเจือจางสารประกอบที่ติดไฟกระบวนการเพิ่มถ่านนี้เกิดเมื่อสารหน่วงไฟกลุ่มฟอสฟอรัสได้รับความร้อนและเปลี่ยนสภาพเป็นกรดหรือแอนไฮไดรที่มีความว่องไวจากนั้นเข้าทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ที่มีออกซิเจนส้อย่างเซลลูโลสได้เซลลูโลสที่เติมหมู่ฟอสฟอรัส และปลดปล่อยโมเลกุลน้ำออกมาสุดท้ายแล้วเซลลูโลสที่มีหมู่ฟอสเฟตจะเกิดการแตกตัวและกลายเป็นถ่าน

2. การเคลือบผิวฟอสฟอรัสสามารถยับยั้งการเผาชนิดไร้เปลวไฟ(การเผาไหม้ของถ่าน)ได้โดยเชื่อว่ากลไกเกิดจากรดฟอสฟอริกไปเคลือบที่ผิวและทำตัวเป็นฉนวนป้องกันการเกิดออกซิเดชันโดยพบว่าฟอสฟอรัสเพียง 0.1%ก็สามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันได้ในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันนั้นกรดฟอสฟอริกหรือสารประกอบที่มีหมู่ P=O จะจับกับตำแหน่งของสารที่มีแนวโน้มถูกออกซิไดซ์เอาไว้ นอกจากนี้การเคลือบผิวยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของถ่านโดยทำให้ถ่านมีความสามารถในการส่งผ่านน้อยลงกรดฟอสฟอริกทำหน้าที่กั้นการระเหยของเชื้อเพลิงจากพอลิเมอร์ที่กำลังเผาไหม้

ดังนั้น บทบาทของสารหน่วงไฟกลุ่มฟอสฟอรัสในสถานะแก๊ส ได้แก่ บทบาททางเคมีสารประกอบฟอสฟอรัสที่ระเหยได้มีความสามารถในการยับยั้งการติดไฟโดยสารจะแตกเป็นโมเลกุลขนาดเล็กเช่น P_2 , PO, PO_2 และ HPO_2 โมเลกุลเหล่านี้จะทำให้ก๊าซไฮโดรเจนที่เป็นเชื้อเพลิงเจือจางและลดการเผาไหม้ในการยับยั้งในขั้นตอนนี้เป็นที่ยับยั้งเช่นเดียวกับที่เกิดในสารหน่วงไฟกลุ่มฮาโลเจนที่ทำการจับไฮโดรเจนไว้ และบทบาททางกายภาพการยับยั้งการเผาไหม้ในทางกายภาพเกี่ยวข้องกับความร้อนในการระเหยและพลังงานการสลายตัวในสถานะแก๊สเชื่อว่ากระบวนการนี้มีความคล้ายคลึงกับสิ่งที่เกิดกับสารหน่วงไฟในกลุ่มฮาโลเจนโดยสารประกอบฟอสฟอรัสจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความร้อนและความร้อนในการระเหย

2.2.4 การยึดติดสารหน่วงไฟ

กระบวนการยึดติดสารหน่วงไฟเกิดขึ้นได้หลายแบบ วิธีที่นิยมใช้อาจจะทำได้ด้วยการพ่นสเปรย์ การทาด้วยแปรง การกลิ้งด้วยโรลเลอร์ หรือการจุ่มลงในสารหน่วงไฟตามด้วยขั้นตอนการทำให้แห้งแล้วกำจัดตัวทำละลาย กระบวนการเหล่านี้ประกอบด้วยหลายขั้นตอนที่ต้องใช้พลังงานและสารเคมีจำนวนมาก จึงมีความกังวลต่อความเป็นพิษที่อาจมีต่อสิ่งแวดล้อม ปัญหาของการเคลือบสารหน่วงไฟได้แก่การคลายตัวของสารยึดติดเมื่อใช้ความร้อนซ้ำ ๆ ทำให้การยึดติดเป็นไปอย่างจำกัด วิธีการยึดติดสารหน่วงไฟใหม่ ๆ มีดังนี้

2.2.4.1 Ultraviolet curing Technology เป็นวิธีที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม วิธีนี้มีข้อดีคือสามารถยึดติดได้ทันที ใช้พลังงานต่ำ ลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม มีความเสถียรทางเคมี ปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายจำนวน

น้อย และสามารถใช้งานในสภาวะที่หลากหลาย วิธีทำได้โดยการใส่สารหน่วงไฟ เช่น โพรอน ฟอสฟอรัส ลงไปในเครื่องฉีกอัดตราไวโอเลต เพียงเท่านี้ก็ได้อายุการใช้งานที่นานขึ้น

2.2.4.2 Plasma Technology เป็นวิธีทางเลือกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม วิธีนี้ทำให้สารหน่วงไฟเกาะหรือทำละลายปนระกับพื้นผิววัสดุที่เข้ามาสัมผัสพลาสติก แม้จะใช้พลาสติกความดันต่ำก็สามารถยึดติดสารหน่วงไฟชนิดคงทนได้ วิธีนี้มีค่าใช้จ่ายสูงและต้องใช้เครื่องสุญญากาศ

2.2.4.3 Physical and chemical vapor deposition ถูกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงในการยึดติดสารหน่วงไฟอย่างแพร่หลาย เนื่องด้วยความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและความยืดหยุ่นในการใช้งานกับวัสดุที่หลากหลาย การเคลือบพ่นเป็นอีกวิธีหนึ่งที่น่าเทคนิค Physical vapor deposition (PVD) มาใช้โดยสามารถใช้ได้กับวัสดุต่างๆ ส่วนเทคนิค Chemical vapor deposition (CVD) ถูกนำมาใช้ร่วมกับเทคนิคพลาสติกเพื่อการเคลือบในลักษณะแผ่นฟิล์ม

2.2.4.4 Sol – gel process เป็นเทคนิคทางเคมีแบบเปียกสำหรับการเคลือบสารหน่วงไฟที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม วิธีนี้เดิมใช้เพื่อสร้างโครงสร้างพอลิเมอร์ร่วมกับวัสดุคอมพอลิทของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ ซึ่งช่วยให้ได้ข้อดีทั้งจากสารอินทรีย์และอนินทรีย์ในการใช้งาน

2.2.4.5 Layer – by – layer assembly approach วิธีนี้มีค่าใช้จ่ายต่ำและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม วิธีนี้ทำได้โดยการแช่หรือฉีดสารละลายพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุตรงข้ามเข้าไปในพื้นผิวเพื่อทำให้พื้นผิวเกิดการแยกชั้นของประจุ จากนั้นเคลือบสารหน่วงไฟลงไปหลายๆชั้น ซึ่งสารหน่วงไฟอาจทำพันธะไฮโดรเจนกับพื้นผิวหรือเกิดพันธะโควาเลนต์ต่อกัน

2.3 แผ่นขึ้นไม้อัดทนไฟ

2.3.1 ไม้ (Wood) ไม้เป็นวัสดุทางเลือกสำหรับอุตสาหกรรมการก่อสร้างมายาวนานเพราะความทนทาน แข็งแรง และความคล่องตัวในการใช้งาน แต่ไม้เป็นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติจึงยังมีข้อเสียหลายอย่างเมื่อเทียบกับวัสดุสังเคราะห์อื่น ๆ เช่น เหล็ก อะลูมิเนียม คอนกรีต หรือพลาสติก นอกจากนี้ไม้ยังไวไฟ เพื่อตอบสนองความต้องการในปัจจุบัน ความต้องการที่เข้มงวดเพื่อความปลอดภัยเกี่ยวกับเพลิงไหม้เช่นเดียวกับความทนทานของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ไม้จึงต้องมีการปรับปรุงเพื่อให้มีคุณสมบัติทนไฟ

2.3.2 สารหน่วงไฟ (Flame retardant) ทฤษฎีที่ใช้ในการอธิบายกลไกของสารหน่วงไฟต่อปฏิกิริยาไฟโรไลซิสและปฏิกิริยาเผาไหม้ของไม้มี 6 ทฤษฎี ได้แก่ [1]

- 1) Barrier theory
- 2) Thermal theory
- 3) Dilution by non-combustible gases theory
- 4) Free radical trap theory
- 5) Increased char/reduced volatiles theory
- 6) Reduced heat content of volatiles theory

สารเคมีที่นิยมเติมลงไปเพื่อเพิ่มคุณสมบัติการติดไฟได้ยาก ตัวอย่างสารหน่วงไฟที่ใช้กันเช่น เกลือของฟอสเฟต แอมโมเนียมโพลีฟอสเฟต เป็นต้น เกลือที่ใช้เติมมีประสิทธิภาพที่ดี แต่เนื่องจากละลายน้ำได้ดีจึงใช้กับชิ้นงานภายนอกได้ไม่ยาวนาน เพราะการเติมสารประเภทเกลือลงในคาร์โบไฮเดรต (เซลลูโลสในไม้) ที่ชอบน้ำจะไป

ช่วยเพิ่มการดูดความชื้นไว้กับชิ้นงาน ทำให้เสียคุณสมบัติความคงรูปไปและง่ายต่อการย่อยสลายชิ้นงานโดยจุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังมีเกลืออีกประเภทอีกประเภทหนึ่งเรียกว่า เกลือวอลแมน (Wollman salts) มีประสิทธิภาพสูงเป็นการรวมกันของเกลืออาร์เซนิก (Arsenic salts) คิวพริก (Cupric salts) และเกลือโครเมต (Chromate salts) แต่เนื่องจากความเป็นพิษของสารจึงต้องมองหาสารอื่นๆ ที่ปลอดภัยมากกว่า สารหน่วงไฟประเภทฟอสฟอรัสที่ใช่มายาวนาน ได้แก่ กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid) และ โมโนหรือไดแอมโมเนียม(โพลี)ฟอสเฟต (Mono- and diammonium (poly)phosphate) ส่วนสารประกอบฟอสฟอรัสอื่นๆ ได้แก่ เกลือฟอสฟอรัสที่มีไนโตรเจนในโครงสร้าง เช่น กวานิดีน (Guanidine), กวานิลยูเรีย (Guanylurea), ยูเรีย (Urea) และ เมลามีน (Melamine) [2] สารประกอบแอมโมเนียมก็เป็นสารน่าสนใจเช่นกันในการนำมารักษาเนื้อไม้เพราะคุณสมบัติที่ไม่เป็นพิษและยังช่วยป้องกันเชื้อแบคทีเรียและราได้อีกด้วย [3] และมีวิธีการเติมสารหน่วงไฟลงไปในไม้อัด เช่น การเคลือบ (Flame-retardant coatings) [4] ฉาบ พลาสติก [5] และ การแช่ (Immerse) [6] เป็นต้น

2.3.3 คุณสมบัติการทนไฟของไม้ สาเหตุที่สารประกอบประเภทฟอสฟอรัสมีประสิทธิภาพดีในการเป็นสารหน่วงไฟเพราะช่วยให้ไม้มีคุณสมบัติในการต้านการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อน ในระหว่างปฏิกิริยาไพโรไลซิสสารประกอบฟอสฟอรัสสร้างกรดที่ไปช่วยลดอุณหภูมิการสลายของความชื้นในไม้ และช่วยให้เกิดชาร์ (Char formation) ซึ่งชาร์นี้จะทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อน กันออกซิเจนและสารอินทรีย์ระเหยได้ทั้งหลาย ทำให้ติดไฟได้ยากขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นยังเชื่อว่าสารประกอบฟอสฟอรัสนี้ยังช่วยยับยั้งการเกิดสารติดไฟด้วยปฏิกิริยาฟอสโฟรีเลชัน (Phosphorylation) ในเซลล์ลูโลสได้อีกด้วย [2]

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

S. Lioudakis และคณะ (2013) [1] ทำการทดสอบความสามารถของสารหน่วงไฟได้แก่ DAP ((NH₄)₂HPO₄), โซเดียมโพลีอะครีเลต (sodium polyacrylate), และสารผสมของแร่ธรรมชาติระหว่างฮันไทต์ (huntite) และไฮโดรแมกนีไซต์ (hydromagnesite) เติมลงในไม้ *Pinus sylvestris* L. แล้ววิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Thermogravimetry (TG) และ differential thermogravimetry (DTG) และทดสอบสมบัติการติดไฟ พบว่า โซเดียมโพลีอะครีเลต และสารผสมของแร่ธรรมชาติ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหน่วงไฟในไม้ได้ดี เพราะช่วยเพิ่มปริมาณชาร์และลดการสูญหายของมวล (mass loss)

R. Stevens และคณะ (2006) [2] ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของโครงสร้างและคุณสมบัติของไม้ Scots Pine sapwood ในการเติมสารหน่วงไฟประเภทสารประกอบฟอสฟอรัสลงไป สารที่เติมได้แก่ สารประกอบอัลคิล- และ ฟีนิลคลอโรฟอสฟอรัส (alkyl- and phenylchlorophosphorus compounds) พบว่า สารประกอบฟอสฟอรัสนี้ไปลดอุณหภูมิสูงสุดของการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิส (จาก 350 °C เหลือ 240 °C) ช่วยเพิ่มการเกิดชาร์จาก 25% เป็น 54% และพบว่าสารประกอบฟีนิลมีประสิทธิภาพดีกว่าอัลคิล ในการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิส

E. Terzi และคณะ (2011) [3] ทำการเติมสารหน่วงไฟ 5 ชนิดลงในชิ้นงานที่เป็นไม้เนื้อแข็งและไม้อัด เพื่อทดสอบความสามารถในการทนไฟ สารหน่วงไฟ 5 ชนิด ได้แก่ โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต (monoammonium phosphate; MAP), ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (diammonium phosphate; DAP), แอมโมเนียมซัลเฟต (ammonium sulfate; AS), โดเดคซิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (dodecyl dimethyl

ammonium chloride; DDAC), และโดเดคซิลไดเมทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต (didecyl dimethyl ammonium tetrafluoroborate; DBF) พบว่า DDAC และ DBF มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

J. Jiang และคณะ (2010) [6] ทำการเติมสารหน่วงไฟ 3 ชนิดลงในไม้โดยวิธีจุ่มไม้ในสารละลายของสารหน่วงไฟและศึกษาการสลายตัวของไม้เนื่องจากความร้อน โดยสารหน่วงไฟ 3 ชนิด ได้แก่ กรดฟอสฟอรัส (Phosphorus acid), เพนตะอิริทริออล (Pentaerythritol) และยูเรีย (Urea) วิธีการเติมคือ เตรียมสารละลาย 30% ของสารหน่วงไฟแต่ละชนิด จุ่มชิ้นงานในสารละลายที่ 60 oC เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปอบแห้งที่ 60 oC จนกว่าน้ำหนักจะไม่เปลี่ยนแปลง

Z. X. Zhang และคณะ (2012) [7] ทำการเติมสารหน่วงไฟลงไปในวัสดุคอมโพสิตระหว่างใยไม้กับพลาสติกโพลีโพรพิลีน (wood-fiber/PP composites) สารหน่วงไฟที่เติมได้แก่ อะลูมิเนียมโพลีฟอสเฟต (Ammonium polyphosphate; APP) และ ซิลิกา (silica) แล้วทดสอบ สมบัติเชิงกล การติดไฟ ความสามารถในการเกิดโฟม โดยใช้เทคนิคการวัดความง่ายของการเกิดเปลวไฟ (Limiting oxygen index; LOI) เทคนิคเทอร์โมลกราวิเมตริก (Thermal gravimetric analysis; TGA) และ เทคนิคการทดสอบการเผาไหม้ (Cone calorimeter; CONE)

Y. Arao และคณะ (2014) [8] ทำการเพิ่มประสิทธิภาพในการทนไฟของวัสดุคอมโพสิตระหว่างไม้กับพลาสติกโพลีโพรพิลีน (Wood flour/Polypropylene composites) โดยการเติมสารช่วยทนไฟลงไปด้วยได้แก่ อะลูมิเนียมโพลีฟอสเฟต (Ammonium polyphosphate; APP) เมลามีนโพลีฟอสเฟต (melamine polyphosphate; MPP) และอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Aluminum hydroxide) แล้วทำการตรวจลักษณะเฉพาะโดยเทคนิค เทคนิคเทอร์โมลกราวิเมตริก (Thermal gravimetric analysis; TGA) การติดไฟ (Flammability tests) เทคนิคการทดสอบการเผาไหม้ (Cone calorimeter; CONE) และทดสอบความแข็งแรง (Tensile tests)

N.K. Kim และคณะ (2014) [9] ทำการเพิ่มประสิทธิภาพในการทนไฟของวัสดุคอมโพสิตระหว่างขนสัตว์กับพลาสติกโพลีโพรพิลีน (Wool/Polypropylene composites) โดยการเติมสารช่วยทนไฟลงไปด้วยได้แก่ แอมโมเนียมโพลีฟอสเฟต (Ammonium polyphosphate; APP) แป้ง (Talc) และ เมลาอิกแอนไฮไดรด์กราฟโพลีโพรพิลีน (Maleic anhydride grafted polypropylene; MAPP) พบว่าการเติมสารทนไฟชนิด APP ปริมาณ 15–20% ช่วยป้องกันการไหม้ไฟได้ดีที่สุด

G. Bai และคณะ (2014) [10] ทำการเพิ่มประสิทธิภาพในการทนไฟของวัสดุคอมโพสิตระหว่างไม้กับพลาสติกโพลีโพรพิลีน (Wood flour/Polypropylene composites) โดยการเติมสารช่วยทนไฟลงไปด้วยได้แก่ แกรไฟต์ที่สามารถขยายตัวได้ (Expandable graphite; EG) และ เทคนิคการใส่สารทนไฟ 2 ชนิดร่วมกัน (intumescent flame retardant; IFR) สารที่ใส่ลงไปคือ ไตรอะซีนกับแอมโมเนียม โพลีฟอสเฟต พบว่าที่อัตราส่วน 25 wt% ของ EG/IFR (2:3) เป็นอัตราส่วนที่ทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงมากที่สุด เสถียรต่อความร้อนมากที่สุด และคุณสมบัติทนไฟสามารถสังเกตได้จากการลดลงของอัตราการปลดปล่อยความร้อน (Heat release rate) และอัตราการเกิดควัน (Smoke production release rate)

W. Wang และคณะ (2015) [11] ทำการเพิ่มประสิทธิภาพในการทนไฟของวัสดุคอมโพสิตระหว่างไม้กับพลาสติก (Wood-Plastic composites) โดยสัดส่วนระหว่างไม้และพลาสติกเท่ากับ 6:4 และเติมสารช่วยทนไฟลงไปด้วยได้แก่ แอมโมเนียมโพลีฟอสเฟต (Ammonium polyphosphate; APP) เมลาอิกแอนไฮไดรด์กราฟโพลีโพรพิลีน (Maleic anhydride grafted polypropylene; MAPP) และซีโอไซด์สังเคราะห์

(Synthetic zeolites) แล้วทำการทดสอบประสิทธิภาพการทนไฟประกอบด้วยเทคนิค เทคนิคการวัดความง่ายของการเกิดเปลวไฟ (Limiting oxygen index; LOI) เทคนิคการทดสอบการเผาไหม้ (Cone colorimeter; CONE) เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและการวัดการกระจายพลังงานของธาตุ (SEM-EDS) และ การทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่คุณสมบัติการบิด (Flexural properties) ความแข็งแรง (Tensile properties) และการตกกระทบ (Impact strength)



บทที่ 3

กรอบแนวคิดและวิธีการศึกษาวิจัย

ในการศึกษาแผ่นขึ้นไม้อัด (Particle board) จากเศษวัสดุชีวมวลในท้องถิ่น ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเน้นไปที่วัสดุชีวมวลคือเศษขี้เลื่อยที่เหลือจากอุตสาหกรรมการแปรรูปไม้ในเขตจังหวัดอุตรดิตถ์ โดยมีการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพการทนไฟของแผ่นขึ้นไม้อัดด้วยการเติมสารหน่วงไฟที่ปลอดภัยต่อผู้อยู่อาศัยในกรณีนำไปใช้เพื่อการก่อสร้าง และแผ่นขึ้นไม้อัดที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นแผ่นขึ้นไม้อัดที่มีค่าความหนาแน่นปานกลาง โดยได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับผลของการหน่วงไฟของแผ่นขึ้นไม้อัด ได้แก่ อัตราผสมของวัสดุชีวมวลกับสารหน่วงไฟ ระยะเวลาในการดูดซับสารหน่วงไฟของวัสดุชีวมวล ค่าความหนาแน่นของแผ่นขึ้นไม้อัด มอดุลัสยืดหยุ่น การดูดซึมน้ำ และสมบัติกันการหน่วงไฟ เป็นต้น โดยรายละเอียดต่าง ๆ ของระเบียบวิธีวิจัยและขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยจะได้อธิบายต่อไปในหัวข้อดังต่อไปนี้

3.1 กรอบแนวคิดในการศึกษาวิจัย

ในงานวิจัยนี้มีการเตรียมแผ่นขึ้นไม้อัด (Particle board) ที่มีคุณสมบัติการทนไฟด้วยการเติมสารหน่วงไฟเข้ากับวัสดุชีวมวล (ขี้เลื่อย) โดยใช้สารหน่วงไฟในการทดลองนี้จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ สารได-แอมโมเนียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต (di-Ammonium hydrogen orthophosphate; $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$), สารอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Aluminium hydroxide; Al_2O_3) และ สารแอมโมเนียมซัลเฟต (Ammonium sulphate; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) แล้วนำไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก โดยมีกาวเรซินชนิดผงเป็นวัสดุประสาน และนำไปทดสอบเพื่อหาค่าความหนาแน่น มอดุลัสยืดหยุ่น การดูดซึมน้ำ และสมบัติการทนไฟ และเมื่อได้อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบและสารเคมีต่าง ๆ ในการสร้างแผ่นขึ้นไม้อัดทนไฟที่มีคุณสมบัติการทนไฟที่ดีที่สุดแล้วจะได้นำไปสร้างแผ่นขึ้นไม้อัดทนไฟเพื่อทดลองนำไปประยุกต์ใช้กับงานก่อสร้างจริง ซึ่งกระบวนการต่าง ๆ ของการวิจัยจะได้แสดงในกรอบแนวคิดดังแสดงในภาพที่ 3.1

- เตรียมขึ้นไม้อัดทนไฟจากวัสดุชีวมวล (ขี้เลื่อย) ด้วยการเติมสารหน่วงไฟที่ปลอดภัย 3 ชนิด คือ
1. สารได-แอมโมเนียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต
 2. สารอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์
 3. สารแอมโมเนียมซัลเฟต



ภาพที่ 3.1 กรอบแนวความคิดของการวิจัย

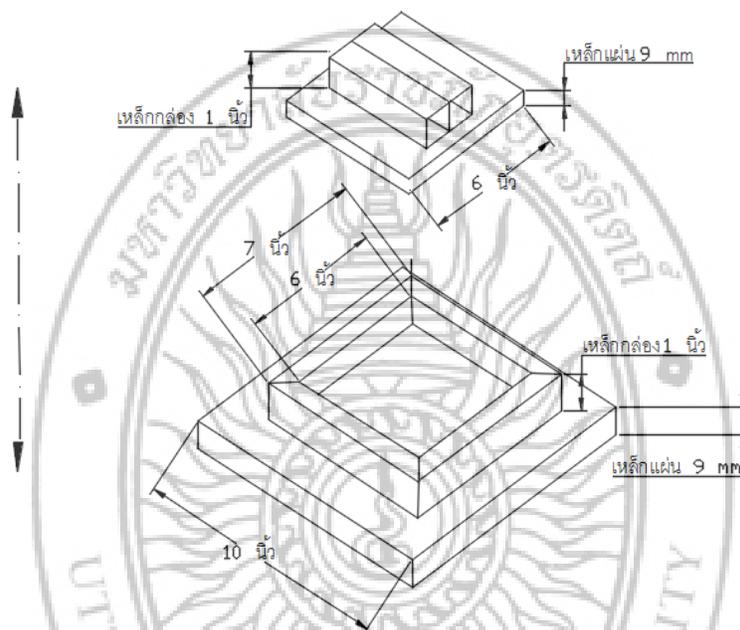
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในงานวิจัย

อุปกรณ์และเครื่องมือในงานวิจัยนี้ได้แก่ ตะแกรงกรองคัดแยกขนาด อ่างผสมและเครื่องมือคนผสม กาวลาเท็กซ์ (Latex Glue) เครื่องอัดชิ้นงานแบบแม่แรงมีเกจวัดความดัน เบ้าอัดแผ่นขึ้นไม้อัด เครื่องบันทึกข้อมูล พร้อมกับสายวัดอุณหภูมิ ชุดเครื่องมือทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ และชุดเครื่องมือทดสอบการเผาไหม้ ซึ่งจะได้มีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 3.1 และ 3.2

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือในการเตรียมสารและขึ้นรูปวัสดุ

ลำดับที่	เครื่องมือ	รุ่น	บริษัทผู้ผลิต
1	เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Mettler)	ME204	Mettler Toledo/USA
2	แม่พิมพ์ไม้อัดตัวอย่างเพื่อทดสอบการเผาไหม้ ขนาด 1×6 นิ้ว	-	-

3	แม่พิมพ์แผ่นไม้อัดตัวอย่าง ขนาด 6x6 นิ้ว	-	-
4	เครื่องอัดวัสดุ ขนาด 5,000 kg	-	-
5	ตู้อบเครื่องมือและสารเคมี (Har Air Oven)	FED115	Binder/Germany
6	ปั๊มลมเพิ่มออกซิเจนแบบลูกสูบ (Electromagnetic Air Pump) ขนาด 225x115x130 mm	AP-30	Yamano/japan
7	ชุดทดสอบการการเผาไหม้	-	-



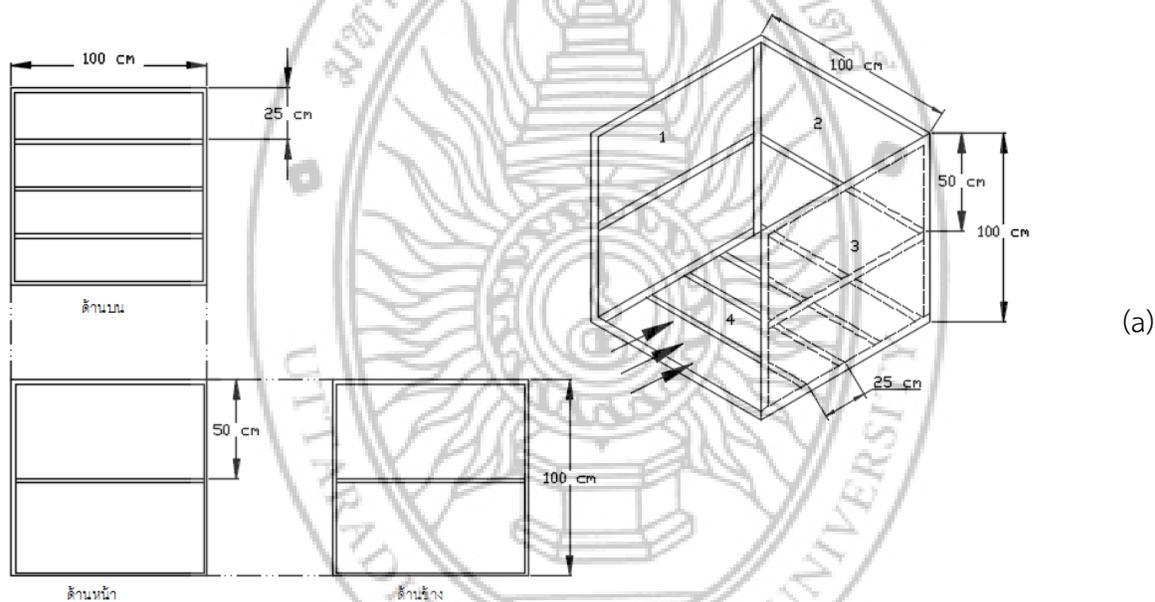
ภาพที่ 3.2 แม่พิมพ์แผ่นไม้อัดตัวอย่าง ขนาด 6x6 นิ้ว

ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์พื้นฐานในการเตรียมสารและทดลอง

ลำดับที่	อุปกรณ์	ขนาด	บริษัทผู้ผลิต
1	กระดาษกรองเบอร์ 1 (No.1 Filter Papers)	125 mm \varnothing	Whatman TM /China
2	กรวยกรองบุขนเนอร์ (Buchner Fannel)	80 mm	-
3	ขวดกรองสาร (Suction Flask)	1000ml	Schott Duran/Germany
4	ขวดน้ำกลั่น (Distilled water bottle)	500 ml	Nalgene®/Ldpe
5	ขวดวัดปริมาตร (Volumetric Flask)	100 ml	JSGW
6	คีมคีบ (Forceps)	-	-
7	ช้อนตักสารเบอร์ 10 (No.10 Spatula)	-	-
8	แท่งแก้วคนสาร (Stirring Rod)	-	-
9	บีกเกอร์ (Beaker)	100, 250, 600 ml	Borasil/India
10	หลอดหยด (Dopper)	-	-

ตารางที่ 3.3 แสดงคุณสมบัติของสารเคมีหน่วงไฟและกาวประสานที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับที่	สารเคมี	สูตรโมเลกุล	น้ำหนักโมเลกุล (g/mol)	ความบริสุทธิ์	บริษัทผู้ผลิต
1	กาวลาเท็กซ์(Latex Glue)	-	-	-	TOA/Thailand
2	ได-แอมโมเนียม ไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟส(Di-Ammonium Hydrogen Orthophosphate)	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	132.06	98.0%	Analytical Univer Reagent/Australia
3	อลูมิเนียม ไฮดรอกไซด์ (Aluminium Hydroxide)	$\text{Al}(\text{OH})_3$	78.00	90.0%	QR&C/New Zealand
4	แอมโมเนียมซัลเฟต (Ammonium Sulfate)	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	173.14	99.0%	RCI Labscan/ Thailand



ภาพที่ 3.3 ชุดทดสอบการเผาไหม้ (a) แบบห้องทดสอบการเผาไหม้ และ (b) หัวพ่นไฟ Kovea รุ่น KT-2924

3.3 การออกแบบการทดลอง

ทำการเตรียมไม้อัดทนไฟจากชีวมวลเพื่อศึกษาความสามารถในการทนไฟของสารหน่วงไฟ 3 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 3.3 ซึ่งมีการนำไปผสมร่วมกับอัตราส่วนวัสดุชีวมวลที่มีอยู่ในท้องถิ่นในที่นี้ คือ ชี้เลื่อยจาก โรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ ในเขตตำบลท่าอิฐ อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์ ซึ่งขนาดความละเอียด 2 – 5 mm และ ทำการศึกษาผลของปัจจัยดังนี้

3.3.1 การเตรียมชนิดของสารหน่วงไฟ ได้แก่ สารได-แอมโมเนียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต, สาร อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ และ สารแอมโมเนียมซัลเฟต และได้พิจารณาข้อมูลดังต่อไปนี้

3.3.1.1 ความเข้มข้นของสารหน่วงไฟที่ใช้เติม

3.3.1.2 อุณหภูมิที่ใช้ในการเติมสารหน่วงไฟ

3.3.1.3 เวลาที่ใช้ในการเติมสารหน่วงไฟ

3.3.2 ทำการหาลักษณะเฉพาะทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมี ของไม้อัดทนไฟจากชีวมวล

3.3.3 ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการทนไฟของไม้อัดทนไฟจากชีวมวล ได้แก่ การทดสอบทนไฟ และทดสอบการดูดซับน้ำ และนำต้นแบบไม้อัดทนไฟจากชีวมวลที่เตรียมได้ไปประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้าง

3.3.4 ขั้นตอนการเตรียมสารเคมีหน่วงไฟ

3.3.4.1 สารละลายได-แอมโมเนียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต

1. เตรียมความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ชั่งได-แอมโมเนียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต 5.2824 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 200 มิลลิลิตร

2. เตรียมความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ ชั่งได-แอมโมเนียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต 10.5648 กรัม ละลายใน น้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 200 มิลลิลิตร

3. เตรียมความเข้มข้น 0.6 โมลาร์ ชั่งได-แอมโมเนียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต 15.8472 กรัม ละลายใน น้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 200 มิลลิลิตร

4. เตรียมความเข้มข้น 0.8 โมลาร์ ชั่งได-แอมโมเนียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต 21.1296 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 200 มิลลิลิตร

5. เตรียมความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ ชั่งได-แอมโมเนียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต 26.4120 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 200 มิลลิลิตร

6. เตรียมความเข้มข้น 1.5 โมลาร์ ชั่งได-แอมโมเนียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต 39.6180 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 200 มิลลิลิตร

7. เตรียมความเข้มข้น 2.0 โมลาร์ ชั่งได-แอมโมเนียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต 52.8240 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ครบ 200 มิลลิลิตร

3.3.4.2 สารละลายอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์

1. เตรียมความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ชั่งอะลูมิเนียม ไฮดรอกไซด์ 3.1200 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับ ปริมาตรให้ครบ 200 มิลลิลิตร

2. เตรียมความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ ชั่งอะลูมิเนียม ไฮดรอกไซด์ 6.4000 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับ ปริมาตรให้ครบ 200 มิลลิลิตร

3. เตรียมความเข้มข้น 0.6 โมลาร์ซิงก์ออลูมิเนียม ไฮดรอกไซด์ 9.3600 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 200 มิลลิลิตร

4. เตรียมความเข้มข้น 0.8 โมลาร์ซิงก์ออลูมิเนียม ไฮดรอกไซด์ 12.4800 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 200 มิลลิลิตร

5. เตรียมความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ซิงก์ออลูมิเนียม ไฮดรอกไซด์ 15.6000 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 200 มิลลิลิตร

3.3.4.3 สารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต

1. เตรียมความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ซิงก์แอมโมเนียมซัลเฟต 5.2856 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 200 มิลลิลิตร

2. เตรียมความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ซิงก์แอมโมเนียมซัลเฟต 10.5712 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 200 มิลลิลิตร

3. เตรียมความเข้มข้น 0.6 โมลาร์ซิงก์แอมโมเนียมซัลเฟต 15.8568 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 200 มิลลิลิตร

4. เตรียมความเข้มข้น 0.8 โมลาร์ซิงก์แอมโมเนียมซัลเฟต 21.1424 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 200 มิลลิลิตร

5. เตรียมความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ซิงก์แอมโมเนียมซัลเฟต 26.4280 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 200 มิลลิลิตร

3.3.4.4 เตรียมสารละลายกาว 20% โดยเตรียมจากกาว 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ครบ 50 มิลลิลิตร

3.4 การดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยสามารถดำเนินการได้ดังนี้

3.4.1 เปรียบเทียบขั้นตอนการเติมสารกันไฟในไม้อัด

1. ซังซีเลื่อย 20.00 กรัม จำนวน 4 ปีกเกอร์

2. ปีกเกอร์ที่ 1 และ 2 แช่สารละลาย $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ เข้มข้น 1.0 โมลาร์ เวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นครบ 3 ชั่วโมงแล้วให้นำมากรองสุญญากาศจนแห้งผสมสารละลายกาว 20 เปอร์เซ็นต์ นำไปขึ้นรูปเป็นไม้อัดแห้งด้วยเครื่องอัดตัวอย่างขนาด 1×6 นิ้วอัดด้วยความดัน 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อบด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจนแห้ง

3. ปีกเกอร์ที่ 3 และ 4 ให้นำมาผสมสารละลายกาว 20 เปอร์เซ็นต์ นำไปขึ้นรูปเป็นไม้อัดแห้งด้วยเครื่องอัดตัวอย่างขนาด 1×6 นิ้วอัดด้วยความดัน 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อบด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจนแห้งแล้วนำมาแช่สารละลาย $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ เข้มข้น 1.0 โมลาร์ เวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นครบ 3 ชั่วโมงนำไปอบด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจนแห้ง

4. ตัวอย่างที่เตรียมจาก ข้อ 2 และ 3 ให้นำมาทดสอบความกันไฟโดยการเผาด้วยความร้อน 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที เผาทั้งแกน X และ แกน Y

3.4.2 เปรียบเทียบสารกันไฟในไม้อัดทั้ง 3 ชนิด

1. ชั่งซีลี้อย 20.00 กรัม จำนวน 6 ปีกเกอร์

2. ปีกเกอร์ที่ 1 และ 2 ไม่นำมาผสมสารละลายยาว 20 เปอร์เซ็นต์นำไปขึ้นรูปเป็นไม้อัดแห้งด้วยเครื่องอัดตัวอย่างขนาด 1×6 นิ้วอัดด้วยความดัน 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อบอุ่นด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจนแห้ง

3. ปีกเกอร์ที่ 3 และ 4 นำมาผสมสารละลายยาว 20 เปอร์เซ็นต์ นำไปขึ้นรูปเป็นไม้อัดแห้งด้วยเครื่องอัดตัวอย่างขนาด 1×6 นิ้วอัดด้วยความดัน 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อบอุ่นด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจนแห้งแล้ว นำมาผสมสารละลาย $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ เข้มข้น 1.0 โมลาร์ เวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นครบ 3 ชั่วโมงนำไปอบอุ่นด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจนแห้ง

4. ปีกเกอร์ที่ 5 และ 6 นำมาผสมสารละลายยาว 20 เปอร์เซ็นต์ นำไปขึ้นรูปเป็นไม้อัดแห้งด้วยเครื่องอัดตัวอย่างขนาด 1×6 นิ้วอัดด้วยความดัน 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อบอุ่นด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจนแห้งแล้ว นำมาผสมสารละลาย $\text{Al}(\text{OH})_3$ เข้มข้น 1.0 โมลาร์ เวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นครบ 3 ชั่วโมงนำไปอบอุ่นด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจนแห้ง

5. ปีกเกอร์ที่ 7 และ 8 นำมาผสมสารละลายยาว 20 เปอร์เซ็นต์ นำไปขึ้นรูปเป็นไม้อัดแห้งด้วยเครื่องอัดตัวอย่างขนาด 1×6 นิ้วอัดด้วยความดัน 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อบอุ่นด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจนแห้งแล้วนำมาผสมสารละลาย $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ เข้มข้น 1.0 โมลาร์ เวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นครบ 3 ชั่วโมงนำไปอบอุ่นด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจนแห้งพอได้ตัวอย่างที่เตรียมครบแล้วให้นำมาทดสอบความกันไฟโดยการเผาด้วยความร้อน 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที เผาทั้งแกน X และ แกน Y

3.4.3 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของสาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ กันไฟในไม้อัด

1. ชั่งซีลี้อย 20.00 กรัม จำนวน 14 ปีกเกอร์ โดยนำปีกเกอร์ทั้ง 14 ปีกเกอร์ให้นำมาผสมสารละลายยาว 20 เปอร์เซ็นต์นำไปขึ้นรูปเป็นไม้อัดแห้งด้วยเครื่องอัดตัวอย่างขนาด 1×6 นิ้วอัดด้วยความดัน 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อบอุ่นด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจนแห้ง

2. นำมาผสมสารละลาย $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ เข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5 และ 2.0 โมลาร์ ความเข้มข้นละ 2 ปีกเกอร์ตามลำดับเป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำไปอบอุ่นด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจนแห้ง พอได้ตัวอย่างที่เตรียมครบแล้วให้นำมาทดสอบความกันไฟโดยการเผาด้วยความร้อน 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที เผาทั้งแกน X และ แกน Y

3.4.4 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการผสมสาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ กันไฟในไม้อัด

1. ชั่งซีลี้อย 20.00 กรัม จำนวน 10 ปีกเกอร์ โดยนำปีกเกอร์ทั้ง 10 ปีกเกอร์ มาผสมสารละลายยาว 20 เปอร์เซ็นต์ นำไปขึ้นรูปเป็นไม้อัดแห้งด้วยเครื่องอัดตัวอย่างขนาด 1×6 นิ้วอัดด้วยความดัน 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อบอุ่นด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจนแห้ง

2. นำมาผสมสารละลาย $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ เข้มข้น 1.0 โมลาร์โดยผสมสารละลายด้วยระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง เวลาละ 2 ปีกเกอร์ ตามลำดับจากนั้นนำไปอบอุ่นด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจนแห้ง พอได้ตัวอย่างที่เตรียมครบแล้วให้นำมาทดสอบความกันไฟโดยการเผาด้วยความร้อน 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที เผาทั้งแกน X และ แกน Y

3.4.5 อัตราการดูดซับน้ำ

1. ชั่งซีลี้อย 20.00 กรัม จำนวน 7 ปีกเกอร์ โดยนำปีกเกอร์ทั้ง 7 ปีกเกอร์ให้นำมาผสมสารละลายกวาว 20 เปอร์เซ็นต์นำไปขึ้นรูปเป็นไม้อัดแห้งด้วยเครื่องอัดตัวอย่างขนาด 1×6 นิ้ว อัดด้วยความดัน 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ไปด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจนแห้ง

2. นำไม้อัดแห้งที่ 1 และ 2 มาแช่สารละลาย $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.2 และ 1.0 โมลาร์ ตามลำดับบอบด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจนแห้ง

3. นำไม้อัดแห้งที่ 3 และ 4 มาแช่สารละลาย $\text{Al}(\text{OH})_3$ 0.2 และ 1.0 โมลาร์ ตามลำดับบอบด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจนแห้ง

4. นำไม้อัดแห้งที่ 5 และ 6 มาแช่สารละลาย $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 0.2 และ 1.0 โมลาร์ตามลำดับบอบด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจนแห้ง

5. ไม้อัดแห้งที่ 7 ไม่ต้องแช่สารเคมีพอได้ตัวอย่างที่เตรียมครบแล้วให้นำมาทดสอบอัตราการดูดซับน้ำ โดยการนำตัวอย่างที่เตรียมทั้งหมดมาชั่งน้ำหนักแห้งของไม้อัดแห้ง แล้วนำมาแช่น้ำขึ้นมาชั่งน้ำหนักเปียกทุก ๆ 10 นาที จนครบ 120 นาที แล้วนำมาคำนวณหาอัตราการดูดซับน้ำตามสมการที่ (3.2)

3.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

3.5.1 ความหนาแน่นของชิ้นงาน (Density) ตัดแผ่นทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 5908-1994 ขนาด 90 × 90 mm แล้วนำชิ้นทดสอบไปชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด วัดความกว้างและความยาวของชิ้นทดสอบขนานกับขอบ แล้วหาค่าเฉลี่ยวัดความหนาของชิ้นทดสอบ 4 ตำแหน่งโดยใช้ไมโครมิเตอร์เป็นตัววัดแล้วหาค่าเฉลี่ยความหนา ดังสมการที่ (3.1)

$$\text{ความหนาแน่น (กรัม/ซม}^3\text{)} = m_1 / V \quad (3.1)$$

เมื่อ m_1 = มวล (กรัม)

V = ปริมาตร (ซม³)

3.5.2 การดูดซึมน้ำ (Water absorption) ตัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 5908-1994 ขนาด 50 × 50 mm แล้วนำชิ้นทดสอบไปชั่งก่อนการแช่น้ำ จากนั้นวางชิ้นทดสอบในระนาบเดียวกับระดับผิวน้ำโดยให้ขอบบนอยู่ใต้ผิวน้ำประมาณ 20 มล. ชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นควรวางห่างกันและห่างผนังของภาชนะพอสมควร เมื่อแช่ชิ้นทดสอบครบ 24 ชั่วโมงแล้วจึงนำชิ้นทดสอบขึ้นจากน้ำ โดยไม่มีการซับน้ำทำเช่นนี้ทุกชิ้นทดสอบและทำเหมือนกันทุกสูตรจากนั้นนำไปชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอนอีกครั้ง ใช้ชิ้นทดสอบ 3 ชิ้นต่อหนึ่งสูตรการผลิตแผ่นไม้อัดแล้วหาค่าเฉลี่ย ดังสมการที่ (3.2)

$$\% \text{ การดูดซึมน้ำ} = [(W_2 - W_1) / W_1] \times 100 \quad (3.2)$$

เมื่อ W_1 = น้ำหนักก่อนแช่น้ำ (กรัม)

W_2 = น้ำหนักหลังแช่น้ำ (กรัม)

3.5.3 การพองตัวทางความหนา (Thickness swelling) ตัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 5908-1994 ขนาด 50 × 50 mm วัดความหนาชิ้นทดสอบทั้ง 4 มุม หาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาก่อนแช่น้ำ นำชิ้นทดสอบไปแช่

น้ำในภาชนะที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแช่ขึ้นทดสอบครบ 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำขึ้นทดสอบขึ้นจากน้ำและนำไปวัดความหนาตามตำแหน่งเดิม หาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาหลังแช่น้ำ ใช้ขึ้นทดสอบ 5 ชิ้นต่อหนึ่งสูตรการผลิตแผ่นใยไม้อัด แล้วหาค่าเฉลี่ย ดังสมการที่ (3.3)

$$\% \text{ การพองตัวทางความหนา} = [(t_2 - t_1) / t_1] \times 100 \quad (3.3)$$

เมื่อ t_1 = ความหนาก่อนแช่น้ำ (mm)

t_2 = ความหนาหลังแช่น้ำ (mm)

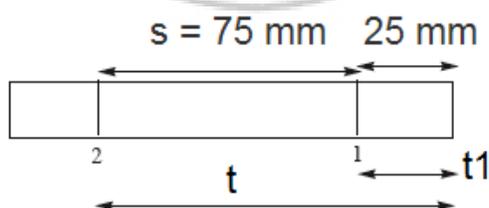
3.5.4 วิธีการทดสอบอัตราการเผาไหม้ (Rate of burning test) (ASTM D 635) ในการเตรียมตัวอย่างวัสดุไม้อัดเพื่อทดสอบนั้นได้ตัวอย่างขนาดพื้นที่ 1 นิ้ว \times 6 นิ้ว หรือ 25.4 mm \times 152.4 mm และมีความหนา 10 mm และได้นำตัวอย่างขึ้นไม้อัดไปปรับขนาดให้ได้ตามมาตรฐานการทดสอบ คือให้มีขนาด กว้าง 13 mm \times ยาว 125 mm \times หนา 9 mm และได้นำตัวอย่างขึ้นใยไม้อัดที่ได้วางไว้ 7 วัน ที่อุณหภูมิห้อง จำนวน 3 ชิ้นต่อ 1 ตัวอย่าง วัดความยาวจากส่วนปลายของขึ้นทดสอบด้านใดด้านหนึ่งให้ได้ความยาว 25 mm ทำเครื่องหมายแสดงตำแหน่งที่ 1 จากนั้นวัดต่อไปอีก 75 mm เป็นตำแหน่งที่ 2 ดังแสดงในภาพที่ 3.4 จับชิ้นงานในแนวราบขนานกับพื้น นำหัวพ่นไฟวางอยู่บริเวณด้านล่างของแท่งขึ้นใยไม้อัดอีกด้านหนึ่งโดยให้ตะเกียงเบนเสนเอียงทำมุม 45° กับแนวราบปรับตำแหน่งของตัวอย่างให้เหมาะสม แล้วเลื่อนตะเกียงเข้าหาตัวอย่างเป็นเวลา 30 วินาที แล้วดึงตะเกียงออกบันทึกเวลาหลังจากดึงเปลวไฟออกจากตัวอย่างจนกระทั่งไฟดับ หากดึงเปลวไฟออกมาแล้วไฟดับทันทีให้บันทึกเวลาเป็น 0 วินาที หรือรายงานว่าอยู่ในระดับ “ไม่เกิดการเผาไหม้” หากขณะเผาไหม้เปลวไฟลามเลยขีดตำแหน่งที่ 1 ก่อนเวลา 30 วินาที หรือหลังเวลา 30 วินาที ให้จับเวลาใหม่โดยเริ่มจับที่ตำแหน่งที่ 1 แล้วรอจนกระทั่งเปลวไฟดับลงหรือถึงตำแหน่งที่ 2 ถ้าตัวอย่างติดไฟเพียงครั้งเดียวแล้วดับให้รายงานว่าอยู่ในระดับ “สามารถหยุดการเผาไหม้ได้ด้วยตัวเอง” สำหรับตัวอย่างที่ติดไฟได้ต้องวัดอัตราของการลามไฟในหน่วย mm ต่อ นาที และรายงานผลเป็น “อัตราการเผาไหม้” วิธีการคำนวณ ดังสมการที่ (3.4)

$$\text{อัตราการเผาไหม้ (Rate of burning)} = S / (t - t_1) \quad (3.4)$$

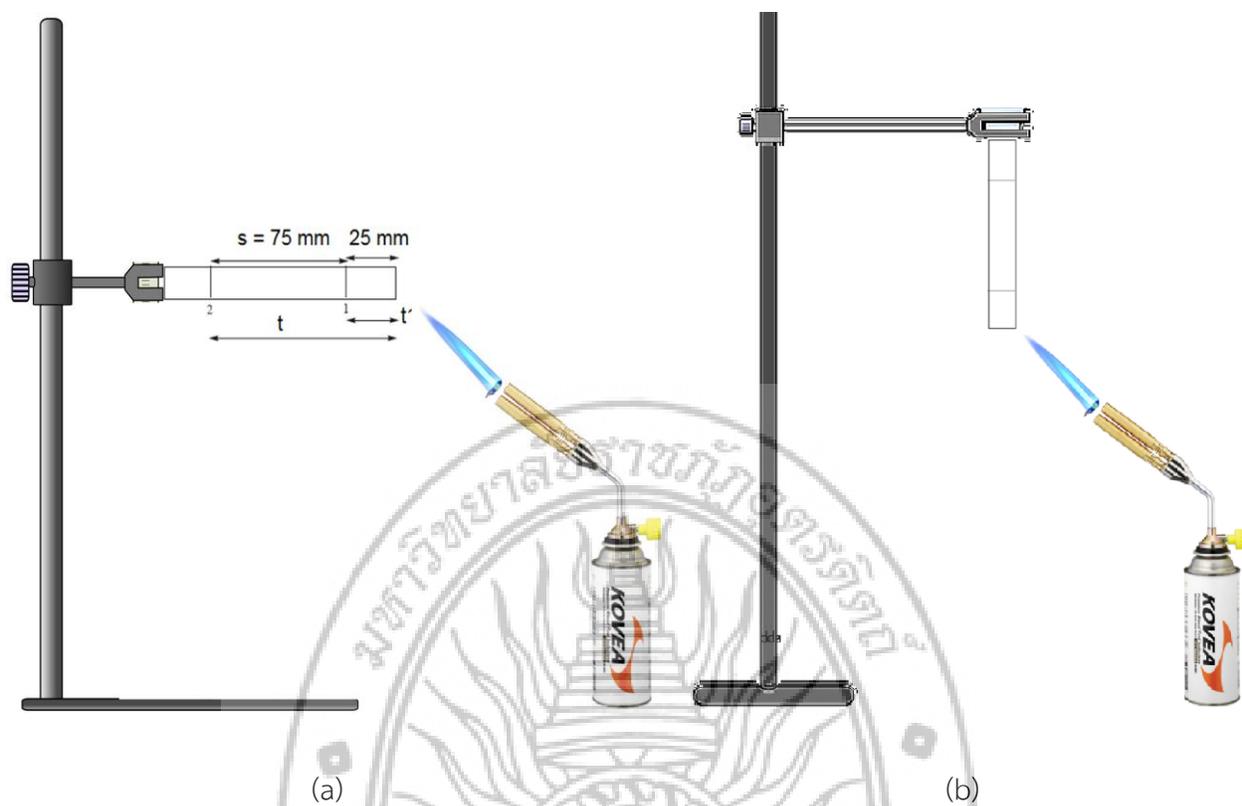
เมื่อ S คือ ความยาวชิ้นงานในช่วงที่กำหนด = 75 mm

t_1 คือ เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้เริ่มต้นจนถึงขีดแรก (นาที)

t คือ เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้เริ่มต้นจนถึงขีดที่สอง (นาที)



ภาพที่ 3.4 ตัวอย่างขึ้นไม้อัดในการทดสอบอัตราการเผาไหม้เพื่อศึกษาการทนไฟ



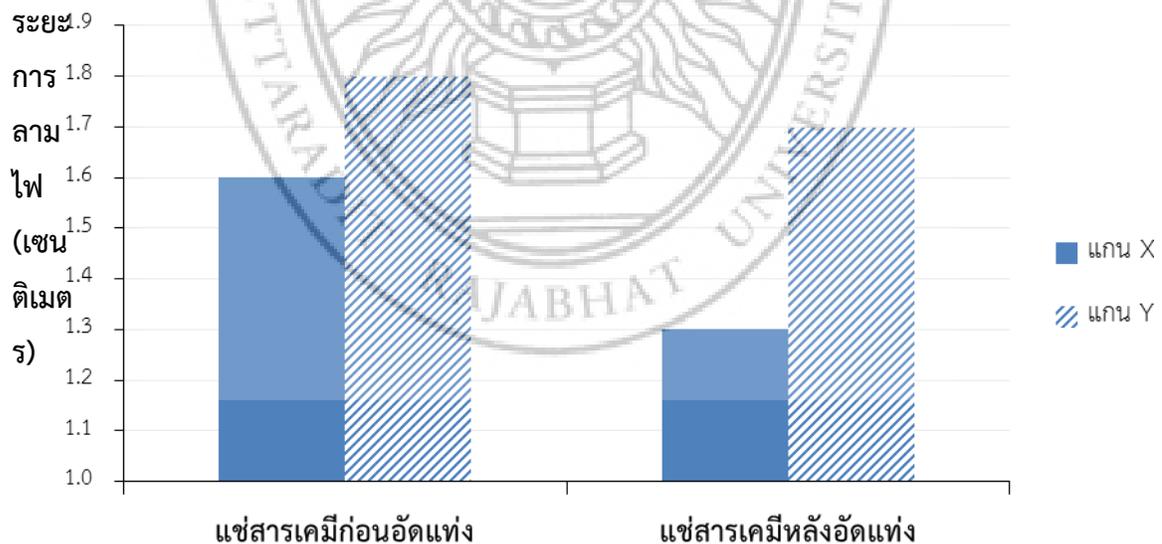
ภาพที่ 3.5 การทดสอบอัตราการเผาไหม้ของชิ้นไม้อัดเพื่อศึกษาการทนไฟ (a) ทดสอบการเผาไหม้ในแนวแกน X และ (b) ทดสอบการเผาไหม้ในแนวแกน Y

บทที่ 4 ผลการศึกษาวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษถึงการเติมสารเคมีเพื่อลดการลามไฟในไม้อัด โดยเปรียบเทียบขั้นตอนการเติมสารลดการลามไฟระหว่างแช่สารเคมีก่อนอัดแห้ง และแช่สารเคมีหลังอัดแห้ง เปรียบเทียบสารลดการลามไฟทั้ง 3 ชนิด ดังนี้ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{Al}(\text{OH})_3$ และ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ เปรียบเทียบความเข้มข้น และระยะเวลาในการแช่สารเพื่อหาว่าการเติมสารเคมีลดการลามไฟสภาวะใดมีประสิทธิภาพมากที่สุด และในการทดลองนี้ได้เตรียมสารละลายความเข้มข้น 20% ซึ่งเตรียมจากกาว 10 กรัมละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ครบ 50 มิลลิลิตร และเป็นผลทำให้แผ่นไม้อัดแต่ละชิ้นจะมีค่าความแข็งและความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกัน คือ มีผลการทดสอบแรงกดเฉลี่ยของทุกชิ้นไม้อัดอยู่ที่ 98.50 kPa และได้มีผลการทดลองในปริมาณทางเคมีและทางฟิสิกส์อื่น ๆ ดังนี้

4.1 เปรียบเทียบขั้นตอนการเติมสารเพื่อใช้ลดการลามไฟ

เปรียบเทียบขั้นตอนการเติมสารลดการลามไฟระหว่างแช่สาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ก่อนอัดแห้งและแช่สาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ หลังอัดแห้งโดยแช่สารเคมีเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ความเข้มข้น 1 โมลาร์ โดยทดสอบจากการเผาด้วยความร้อน 800 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที ทั้งแกน X, Y เพื่อหาระยะที่ถูกเผา(เซนติเมตร) เพื่อเปรียบเทียบการแช่สาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ก่อนอัดแห้งและแช่สาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ หลังอัดแห้งแบบใดที่สามารถลดการลามไฟได้ดี ผลแสดงดังภาพที่ 4.1

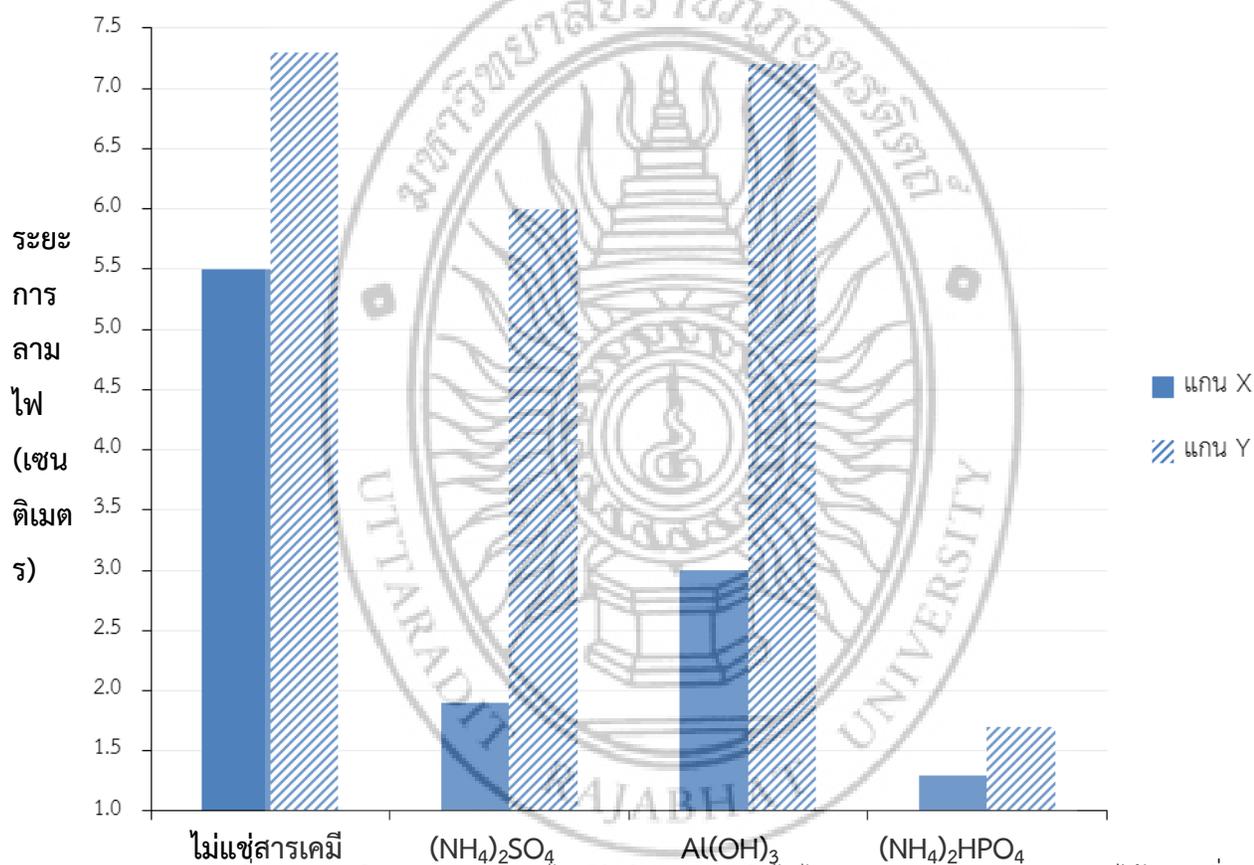


รูปที่ 4.1 ผลการเปรียบเทียบขั้นตอนการเติมสารเพื่อใช้ลดการลามไฟ

จากภาพที่ 4.1 แร่สาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ก่อนอัดแห้งเผาตามแกน X, Y ได้ระยะที่ถูกเผา (เซนติเมตร)เท่ากับ 1.6 และ 1.8 เซนติเมตรตามลำดับ และแร่สาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ หลังอัดแห้งเผาตามแกน X, Y ได้ 1.3 และ 1.7 เซนติเมตรตามลำดับ

4.2 การเปรียบเทียบสารลดการลามไฟในไม้อัดทั้ง 3 ชนิด

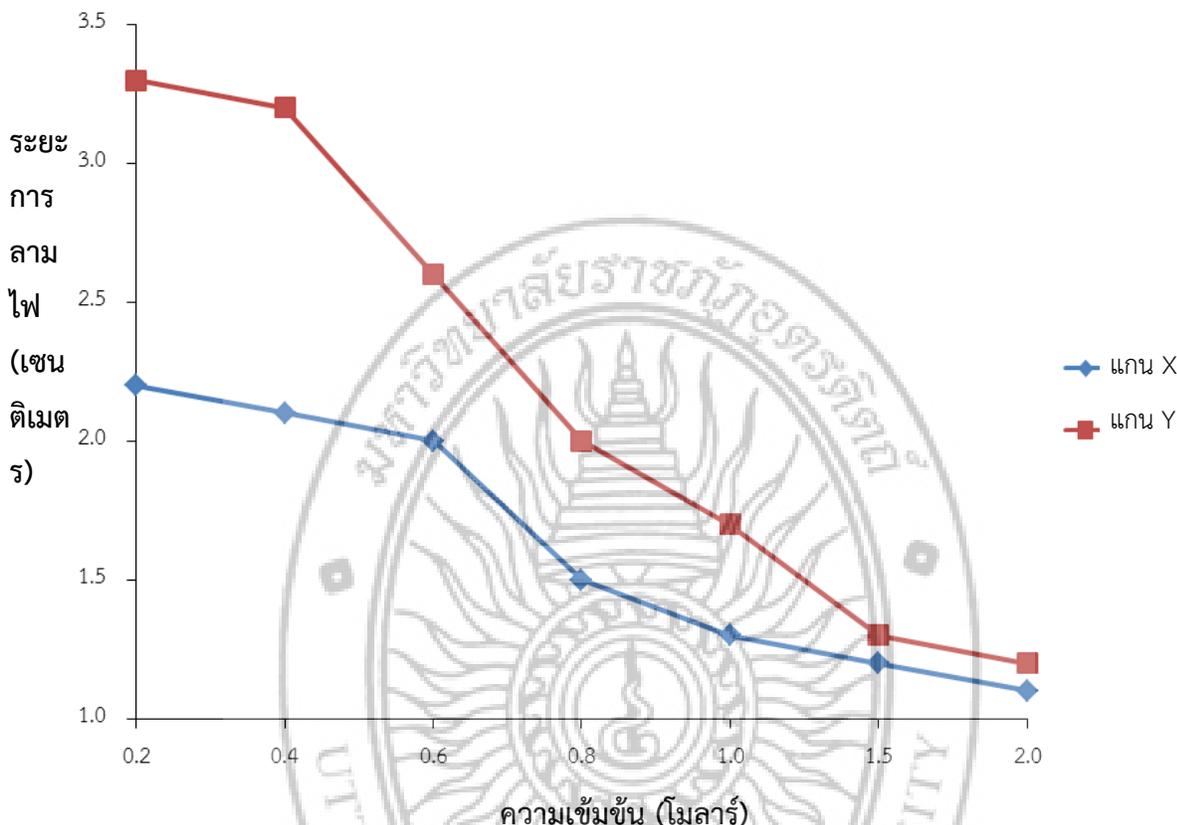
เปรียบเทียบการเติมสารกันไฟหลังอัดแห้ง ได้แก่ ไม่ใส่สารเคมี, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{Al}(\text{OH})_3$ และ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ โดยความเข้มข้นของสารทั้งสามชนิด 1.0 โมลาร์ แกน X กับ ระยะที่ถูกเผา (เซนติเมตร) แกน Y จากการแช่สารเคมีจำนวน 3 ชั่วโมง ทดสอบการเผาด้วยความร้อน 800 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที ทั้งแกน X, Y เพื่อหาสารลดการลามไฟชนิดใดมีประสิทธิภาพในการลดการลามไฟได้ดีที่สุด ผลแสดงดังภาพที่ 4.2



จากภาพที่ 4.2 การเติมสารลดการลามไฟหลังอัดของสารกันไฟไม่ใส่สาร เเผาตามแกน X, Y ได้ระยะที่ถูกเผา (เซนติเมตร) เท่ากับ 5.5 และ 7.3 เซนติเมตรตามลำดับ แร่สาร $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ เเผาตามแกน X, Y ได้ระยะที่ถูกเผา (เซนติเมตร) เท่ากับ 1.9 และ 6 เซนติเมตรตามลำดับ แร่สาร $\text{Al}(\text{OH})_3$ เเผาตามแกน X, Y ได้ระยะที่ถูกเผา (เซนติเมตร) เท่ากับ 3 และ 7.2 เซนติเมตรตามลำดับ และแร่สาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ เเผาตามแกน X, Y ได้ระยะที่ถูกเผา (เซนติเมตร) เท่ากับ 1.3 และ 1.7 เซนติเมตรตามลำดับ

4.3 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของสาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ เพื่อใช้ลดการลามไฟในไม้อัด

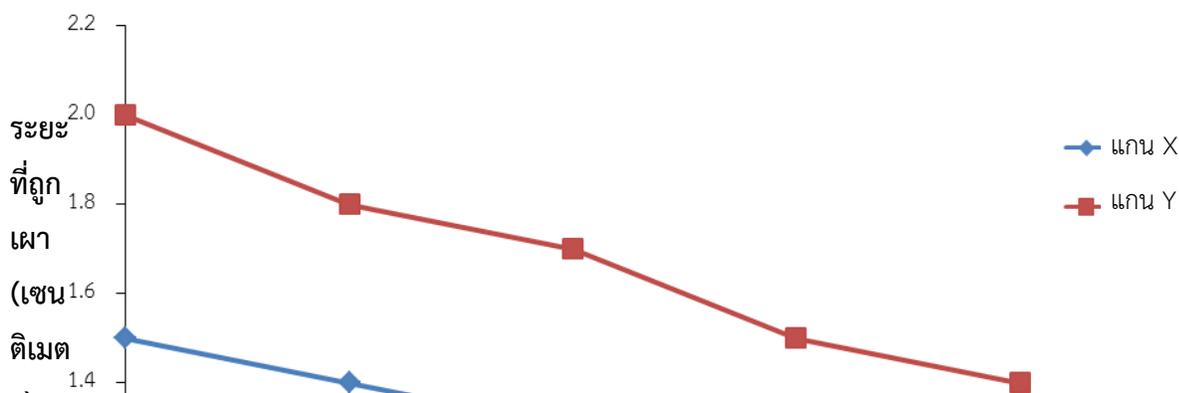
การเปรียบเทียบการเติมสาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ เพื่อใช้ลดการลามไฟในไม้อัดโดยการแช่สารหลังอัดแห้งจำนวน 3 ชั่วโมง ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5 และ 2.0 โมลาร์ แกน X กับ ระยะที่ถูกเผา (เซนติเมตร) แสดงในแกน Y ทดสอบการเผาด้วยความร้อน 800 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที ทั้งแกน X, Y ผลแสดงดังภาพที่ 4.3



จากภาพที่ 4.3 เปรียบเทียบความเข้มข้นของสาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ เพื่อใช้ลดการลามไฟในไม้อัดโดยการแช่สารหลังอัดแห้งในความเข้มข้นต่าง เผาตามแกน X, Y ด้วยความร้อน 800 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที ความเข้มข้นของสาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ เท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5 และ 2.0 โมลาร์ ระยะที่ถูกเผาตามแกน X ได้เท่ากับ 2.2, 2.1, 2.0, 1.5, 1.3, 1.2 และ 1.1 เซนติเมตรตามลำดับ แกน Y ได้เท่ากับ ได้ 3.3, 3.2, 2.6, 2.0, 1.7, 1.3 และ 1.2 เซนติเมตรตามลำดับ

4.4 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการแช่สาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ เพื่อใช้ลดการลามไฟ

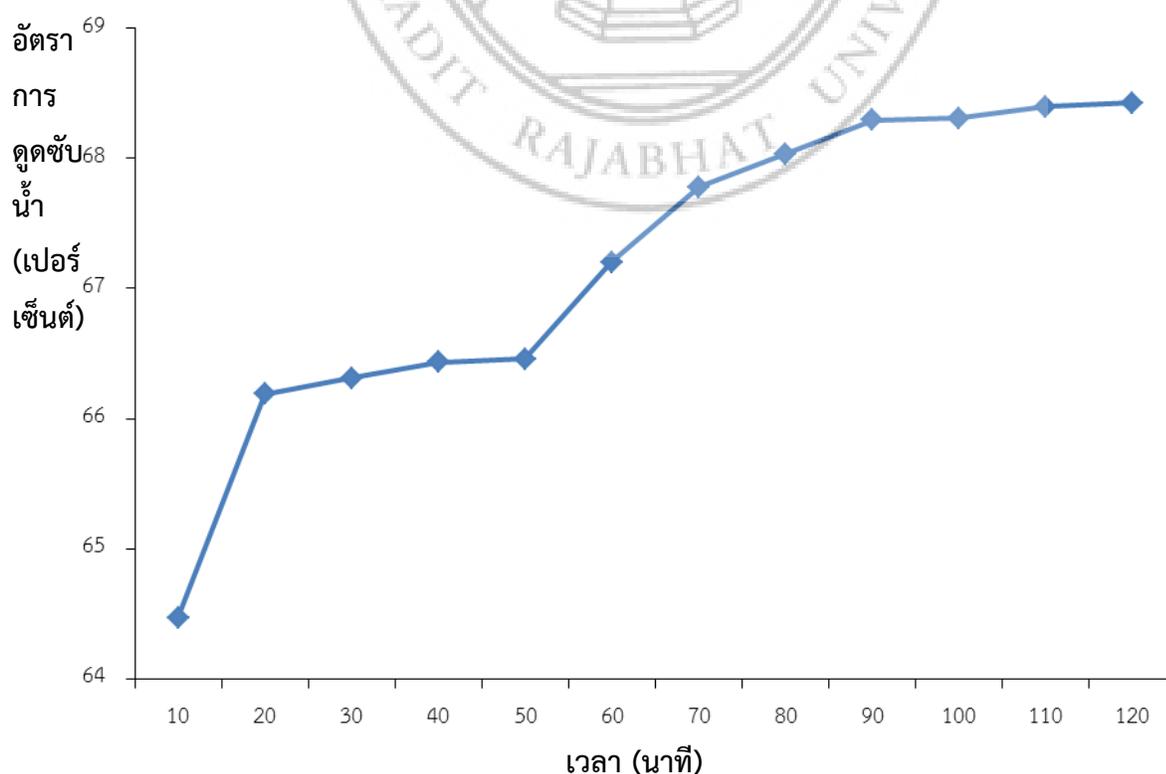
การเปรียบเทียบการเติมสาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ หลังอัดแห้งโดยการแช่สารระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง แสดงในแกน X กับ ระยะที่ถูกเผา(เซนติเมตร) แกน Y ความเข้มข้นของสาร 1 โมลาร์ ทดสอบการเผาด้วยความร้อน 800 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาทีทั้งแกน X, Y ผลแสดงดังภาพที่ 4.4



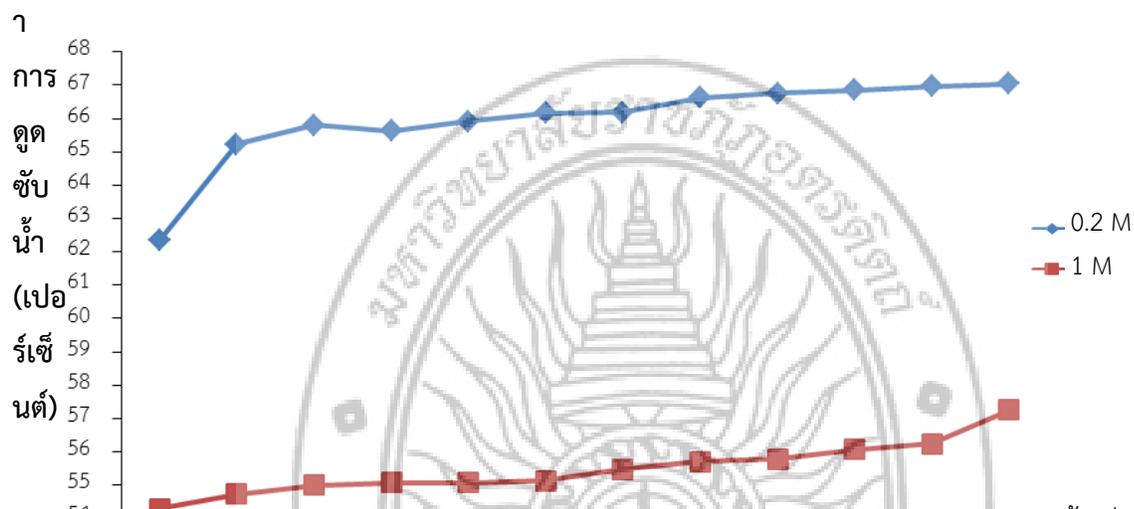
จากภาพที่ 4.4 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการแช่สาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ เพื่อใช้ลดการลามไฟในไม้อัดหลังอัดแห้ง พบว่าระยะที่ถูกเผาตามแกน X ได้เท่ากับ 1.5, 1.4, 1.3, 1.4 และ 1.1 เซนติเมตร แกน Y ได้เท่ากับ 2.0, 1.8, 1.7, 1.5, 1.4 เซนติเมตร ระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมงตามลำดับ

4.5 อัตราการดูดซับน้ำ

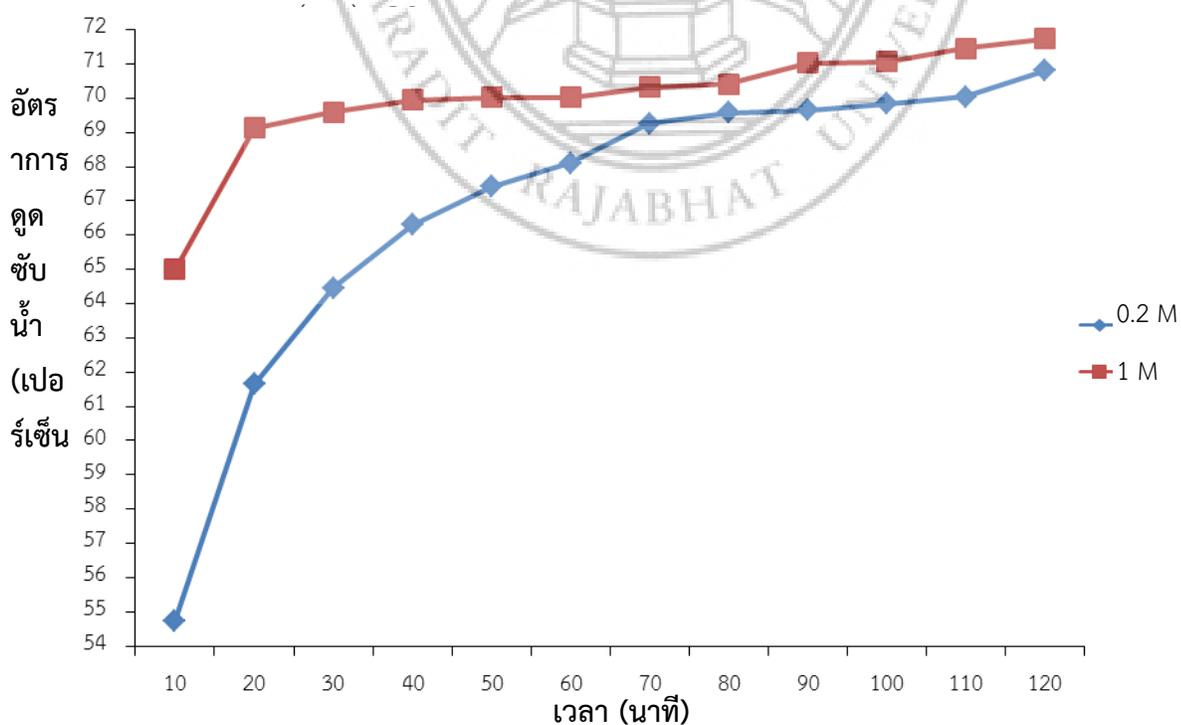
ความสัมพันธ์อัตราการดูดซับน้ำของไม้อัด ทดสอบดังนี้ ไม่แช่สาร, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.2 และ 1.0 โมลาร์ $\text{Al}(\text{OH})_3$ 0.2 และ 1.0 โมลาร์ และ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 0.2 และ 1.0 โมลาร์ โดยอัตราการดูดซับน้ำ(เปอร์เซ็นต์) แกน X กับ เวลา(นาที) แกน Y จะทดสอบทุก ๆ 10 นาที จำนวน 120 นาที คำนวณจากสูตรอัตราการดูดซับน้ำดังผลแสดงดังภาพที่ 4.5 - 4.8



จากภาพที่ 4.5 นาที่ที่ 10 มีการดูดซับน้ำ 64.50 เปอร์เซ็นต์อัตราการดูดซับน้ำของไม้อัดที่ไม่แช่สารเคมี มีอัตราการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นทุกๆ 10 นาที อัตราการดูดซับน้ำได้สูงสุดคือ 68.42 เปอร์เซ็นต์ 120 นาที

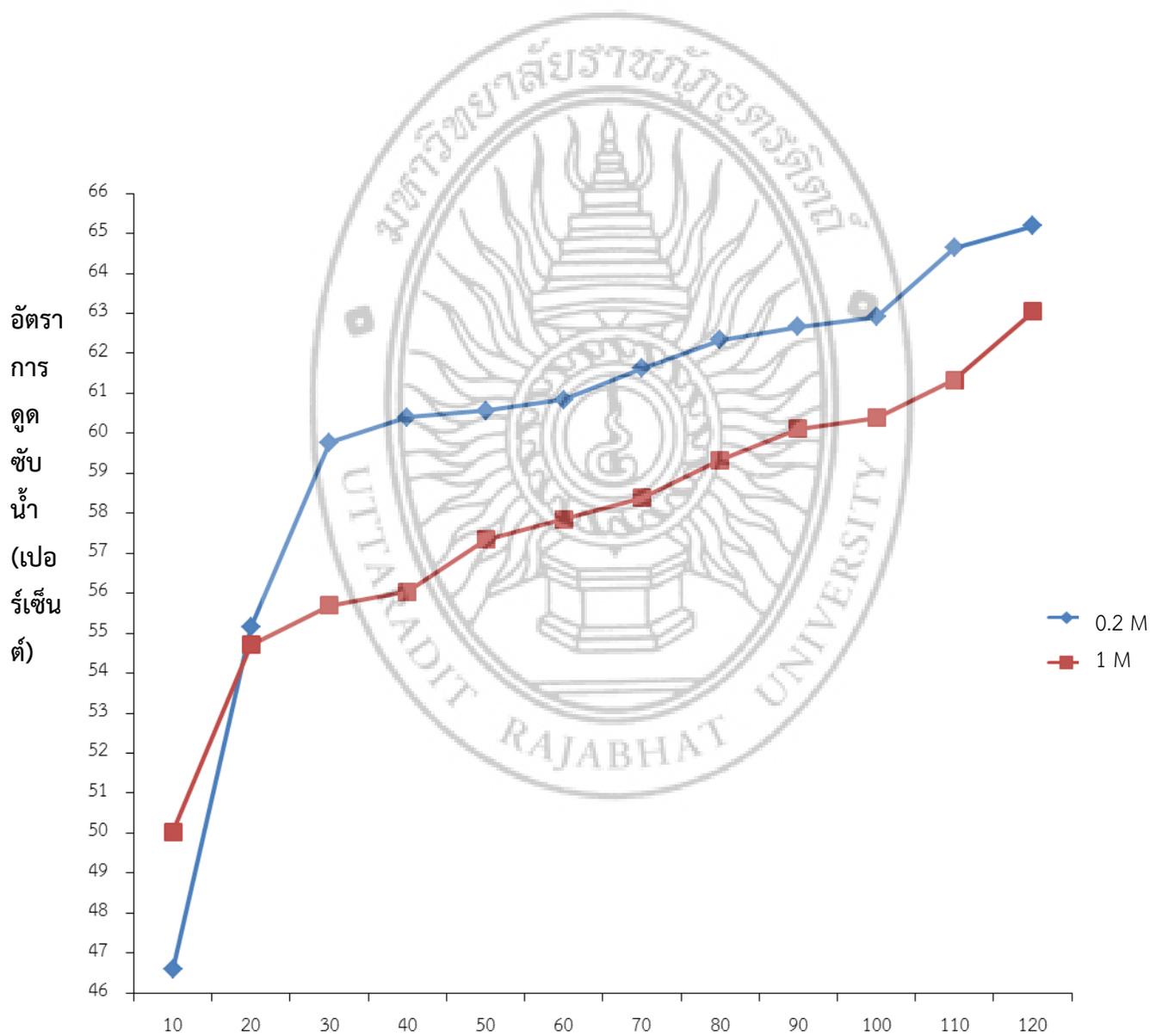


จากภาพที่ 4.6 อัตราการดูดซับน้ำของไม้อัดที่เติมสาร $(NH_4)_2SO_4$ มีอัตราการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นทุกๆ 10 นาที และไม้อัดที่เติมสารที่มีความเข้มข้นมากอัตราการดูดซับน้ำจะน้อยกว่าไม้อัดที่เติมสารที่มีความเข้มข้นน้อย ที่ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ และ 1.0 โมลาร์ มีการอัตราการดูดซับน้ำ 67.04, 57.24เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับสามารถดูดซับน้ำได้ดีที่สุด นาที 120 นาที



ภาพที่ 4.7 อัตราการดูดซับน้ำของไม้อัดที่แช่ $Al(OH)_3$

จากภาพที่ 4.7 อัตราการดูดซับน้ำของไม้อัดที่เติมสาร $\text{Al}(\text{OH})_3$ มีอัตราการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น และ ไม้อัดที่เติมสารที่ความเข้มข้นมากอัตราการดูดซับน้ำมากกว่าไม้อัดที่เติมสารที่ความเข้มข้นน้อยที่ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ และ 1.0 โมลาร์ มีการอัตราการดูดซับน้ำ 70.79, 71.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สามารถดูดซับน้ำได้ดีที่สุด นานที่ 120 นาที



จากภาพที่ 4.8 อัตราการดูดซับน้ำของไม้อัดที่เติมสาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ มีอัตราการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น และไม้อัดที่เติมสารที่ความเข้มข้นมากอัตราการดูดซับน้ำจะน้อยกว่าไม้อัดที่เติมสารที่ความเข้มข้นน้อย ที่ความเข้มข้น

0.2 โมลาร์ และ 1.0 โมลาร์ มีการอัตราการดูดซับน้ำ 65.19, 63.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับสามารถดูดซับน้ำได้ดีที่สุด นานที่ 120 นาที



บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงกระบวนการการเติมสารเคมีเพื่อลดการลามไฟในไม้อัด โดยเปรียบเทียบขั้นตอนการเติมสารลดการลามไฟระหว่างแชนสารเคมีก่อนอัดแห้ง และแชนสารเคมีหลังอัดแห้ง เปรียบเทียบสารลดการลามไฟทั้ง 3 ชนิด ดังนี้ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{Al}(\text{OH})_3$ และ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ เปรียบเทียบความเข้มข้น และระยะเวลาในการแชนสารเพื่อหาว่าการเติมสารเคมีลดการลามไฟสถานะใดมีประสิทธิภาพมากที่สุด และในการทดลองนี้ได้เตรียมสารละลายความเข้มข้น 20% ซึ่งเตรียมจากมวล 10 กรัมละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ครบ 50 มิลลิลิตร และเป็นผลทำให้แผ่นไม้อัดแต่ละชิ้นจะมีค่าความแข็งและความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกัน คือ มีผลการทดสอบแรงกดเฉลี่ยของทุกชิ้นไม้อัดอยู่ที่ 98.50 kPa

เมื่อเติมสารกันไฟหลังอัดแห้ง ได้แก่ ไม้แชนสารเคมี, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{Al}(\text{OH})_3$ และ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ โดยความเข้มข้นของสารทั้งสามชนิด 1.0 โมลาร์ แกน X กับ ระยะที่ถูกเผา (เซนติเมตร) แกน Y จากการแชนสารเคมีจำนวน 3 ชั่วโมง ทดสอบการเผาด้วยความร้อน 800 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที ทั้งแกน X, Y ได้ระยะที่ถูกเผา(เซนติเมตร) เท่ากับ 5.5 และ 7.3 เซนติเมตรตามลำดับ แชนสาร $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ เผาตามแกน X, Y ได้ระยะที่ถูกเผา(เซนติเมตร) เท่ากับ 1.9 และ 6 เซนติเมตรตามลำดับ แชนสาร $\text{Al}(\text{OH})_3$ เผาตามแกน X, Y ได้ระยะที่ถูกเผา(เซนติเมตร) เท่ากับ 3 และ 7.2 เซนติเมตรตามลำดับ และแชนสาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ เผาตามแกน X, Y ได้ระยะที่ถูกเผา (เซนติเมตร) เท่ากับ 1.3 และ 1.7 เซนติเมตรตามลำดับ

เมื่อเติมสาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ เพื่อใช้ลดการลามไฟในไม้อัดโดยการแชนสารหลังอัดแห้งจำนวน 3 ชั่วโมง ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5 และ 2.0 โมลาร์ แกน X กับ ระยะที่ถูกเผา (เซนติเมตร) แสดงในแกน Y ทดสอบการเผาด้วยความร้อน 800 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที ทั้งแกน X, Y ระยะที่ถูกเผาตามแกน X ได้เท่ากับ 2.2, 2.1, 2.0, 1.5, 1.3, 1.2 และ 1.1 เซนติเมตรตามลำดับ แกน Y ได้เท่ากับ 3.3, 3.2, 2.6, 2.0, 1.7, 1.3 และ 1.2 เซนติเมตรตามลำดับ

การศึกษาค่าความสัมพันธ์อัตราการดูดซับน้ำของไม้อัด ทดสอบดังนี้ ไม้แชนสาร, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.2 และ 1.0 โมลาร์ $\text{Al}(\text{OH})_3$ 0.2 และ 1.0 โมลาร์ และ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 0.2 และ 1.0 โมลาร์ โดยอัตราการดูดซับน้ำ(เปอร์เซ็นต์) แกน X กับ เวลา(นาที) แกน Y จะทดสอบทุก ๆ 10 นาที จำนวน 120 นาที อัตราการดูดซับน้ำของไม้อัดที่เติมสาร $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ มีอัตราการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นทุกๆ 10 นาที และไม้อัดที่เติมสารที่ความเข้มข้นมากอัตราการดูดซับน้ำจะน้อยกว่าไม้อัดที่เติมสารที่ความเข้มข้นน้อย ที่ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ และ 1.0 โมลาร์ มีการอัตราการดูดซับน้ำ 67.04, 57.24เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับสามารถดูดซับน้ำได้ดีที่สุด นาที 120 นาที อัตราการดูดซับน้ำของไม้อัดที่เติมสาร $\text{Al}(\text{OH})_3$ มีอัตราการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น และ ไม้อัดที่เติมสารที่ความเข้มข้นมากอัตราการดูดซับน้ำมากกว่าไม้อัดที่เติมสารที่ความเข้มข้นน้อยที่ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ และ 1.0 โมลาร์ มีการอัตราการดูดซับน้ำ 70.79, 71.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับสามารถดูดซับน้ำได้ดีที่สุด นาที 120 นาที และอัตราการดูดซับน้ำของไม้อัดที่เติมสาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ มีอัตราการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น และไม้อัดที่เติมสารที่ความเข้มข้นมากอัตราการดูดซับน้ำจะน้อยกว่าไม้อัดที่

เติมสารที่ความเข้มข้นน้อย ที่ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ และ 1.0 โมลาร์ มีการอัตราการดูดซับน้ำ 65.19, 63.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับสามารถดูดซับน้ำได้ดีที่สุด นานที่ 120 นาที

5.2 อภิปรายผล

จากผลการทดลองของสารเคมีหน่วงไฟหลังอัดแท่งและเปรียบเทียบสารลดการลามไฟโดยการเผาของการเติมสารเคมีทั้ง 3 ชนิด ดังนี้ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{Al}(\text{OH})_3$ และ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ซึ่งเป็นสารเคมีที่มีความปลอดภัยต่อผู้ผลิตและผู้ใช้ไม้อัด และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นและปริมาณของสารแต่ละชนิดจะทำให้ผลของประสิทธิภาพการหน่วงไฟที่สูงขึ้น โดย สาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ มีประสิทธิภาพการหน่วงไฟดีที่สุดและมีผลอัตราการดูดซับน้ำของไม้อัดที่เติมสาร $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ มีค่าดีที่สุดคือสามารถดูดซับน้ำได้น้อยกว่าไม้อัดที่ผสมสารอื่น และจะมีอัตราการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นทุก ๆ 10 นาที แต่จะมีการอิมตัวที่เวลา 30 นาทีเป็นต้นไป และไม้อัดที่เติมสารที่ความเข้มข้นมากอัตราการดูดซับน้ำจะน้อยกว่าไม้อัดที่เติมสารที่ความเข้มข้นน้อย ที่ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ และ 1.0 โมลาร์ มีการอัตราการดูดซับน้ำ 67.04, 57.24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับสามารถดูดซับน้ำได้ดีที่สุด นานที่ 120 นาที



บรรณานุกรม

- [1] Liidakis, S., et al., Thermal analysis of *Pinus sylvestris* L. wood samples treated with a new gel–mineral mixture of short– and long–term fire retardants. *Thermochimica Acta*, 2013. 568: p. 156– 160.
- [2] Stevens, R., et al., The structure–activity relationship of fire retardant phosphorus compounds in wood. *Polymer Degradation and Stability* 2006. 91: p. 832–841.
- [3] Terzi, E., et al., Termite resistance of solid wood and plywood treated with quaternary ammonia compounds and common fire retardants. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2011. 65: p. 565–568.
- [4] Gu, J.–w., et al., Study on preparation and fire–retardant mechanism analysis of intumescent flame–retardant coatings. *Surface & Coatings Technology*, 2007. 201 p. 7835–7841.
- [5] Pabeliña, K.G., C.O. Lumban, and H.J. Ramos, Plasma impregnation of wood with fire retardants. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 2012. 272: p. 365–369.
- [6] Jiang, J., et al., Effect of nitrogen phosphorus flame retardants on thermal degradation of wood. *Construction and Building Materials*, 2010. 24 p. 2633–2637.
- [7] Zhang, Z.X., et al., Effect of flame retardants on mechanical properties, flammability and foamability of PP/wood–fiber composites. *Composites: Part B*, 2012. 43: p. 150–158.
- [8] Arao, Y., et al., Improvement on fire retardancy of wood flour/polypropylene composites using various fire retardants. *Polymer Degradation and Stability* 2014. 100: p. 79–85.
- [9] Kim, N.K. and D. Bhattacharyya, Development of fire resistant wool polymer composites: Mechanical performance and fire simulation with design perspectives. *Materials and Design*, 2016. 106 p. 391–403.
- [10] Bai, G., C. Guo, and L. Li, Synergistic effect of intumescent flame retardant and expandable graphite on mechanical and flame–retardant properties of wood flour–polypropylene composites. *Construction and Building Materials*, 2014. 50: p. 148–153.
- [11] Wang, W., et al., Synergistic effect of synthetic zeolites on flame–retardant wood–flour/polypropylene composites. *Construction and Building Materials*, 2015. 79 p. 337–344.
- [12] Fateh T, Rogaume T, Richard F. (2014). Multi-scale modeling of the thermal decomposition of fire retardant plywood. *Fire safety journal*, 64, 36-47.

- [13] Kartal N, Ayralais N, Imamura Y.(2007). Decay and termite resistance of plywood treated with various fire retardants. *Building and Environment*, 42, 1207-1211.
- [14] Liodakis S, Tsapara V, Agiovlasis I.P., Vorisis D. (2013) Thermal analysis of *Pinus sylvestris* L. wood samples treated with a new gel-mineral mixture of short.
- [15] Stevens R, Dass S, Bezemer R, Kranenbarg. (2006). The structure – activity relationship of fire retardant phosphorus compounds in wood. *Polymer Degradation and Stability*, 91, 832-841.
- [16] จิตรววรรณ ไวสาหลง. (2559). การสังเคราะห์สารหน่วงไฟกลุ่มฟอสฟอรัสที่ปราศจากธาตุฮาโลเจน สำหรับใช้งานบนผ้าฝ้าย. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- [17] สารหน่วงไฟ. สืบค้น 6 มีนาคม 2561, จาก http://www.dnp.go.th/forestfire/FIRESCIENCE/lesson%2010/lesson10_4.htm
- [18] ธนาวดี ลี้จากภัย. (2546, ตุลาคม-ธันวาคม). สารหน่วงการติดไฟ Flame Retardant. M•T•E•C, 30-33.
- [19] แอมโมเนียมซัลเฟต. สืบค้น 8 มีนาคม 2561, จาก <http://m.th.chinaammoniumsulfate.com/info/ammoniumsulfatenh42so4a-2507655.html>





ภาคผนวก

ตารางที่ 1 แสดงผลเปรียบเทียบขั้นตอนการเติมสารเพื่อใช้ลดการลามไฟ

สาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ความเข้มข้น 1 โมลาร์	แช่สารเคมีก่อนอัดแท่ง	แช่สารเคมีหลังอัดแท่ง
ทดสอบเผาแกน X	1.6 cm	1.3 cm
ทดสอบเผาแกน Y	1.8 cm	1.7 cm

ตารางที่ 2 แสดงผลการเปรียบเทียบสารลดการลามไฟในไม้อัดทั้ง 3 ชนิด

สารความเข้มข้น 1 โมลาร์	ไม่แช่สารเคมี	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	$\text{Al}(\text{OH})_3$	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$
ทดสอบเผาแกน X	5.5 cm	1.9 cm	3.0 cm	1.3 cm
ทดสอบเผาแกน Y	7.3 cm	6.0 cm	7.2 cm	1.7 cm

ตารางที่ 3 แสดงผลการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ เพื่อใช้ลดการลามไฟในไม้อัด

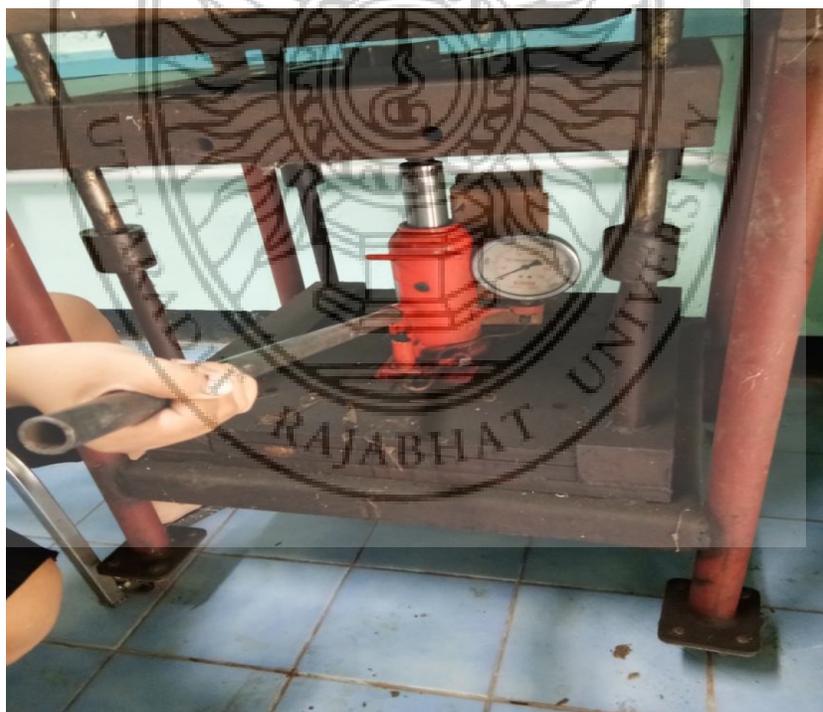
สาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	0.2 M	0.4 M	0.6 M	0.8 M	1 M	1.5 M	2.0 M
ทดสอบเผาแกน X	2.2 cm	2.1 cm	2.0 cm	1.5 cm	1.3 cm	1.2 cm	1.1 cm
ทดสอบเผาแกน Y	3.3 cm	3.2 cm	2.6 cm	2.0 cm	1.7 cm	1.3 cm	1.2 cm

ตารางที่ 4 แสดงผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการแช่สาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ เพื่อใช้ลดการลามไฟ

ระยะเวลาการแช่สาร $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	5 ชั่วโมง
ทดสอบเผาแกน X	1.5 cm	1.4 cm	1.3 cm	1.4 cm	1.1 cm
ทดสอบเผาแกน Y	2.0 cm	1.8 cm	1.7 cm	1.5 cm	1.4 cm

สารเคมี	ความเข้มข้น (M)	อัตราการดูดซับน้ำ						
		10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที	60 นาที	7
ไม่แช่สารเคมี	0	64.4676	66.1898	66.3114	66.4336	66.4602	67.202	6
(NH ₄) ₂ SO ₄	0.2	62.3346	65.233	65.7944	65.6309	65.911	66.171	6
	1	54.2958	54.7365	54.9902	55.0698	55.0664	55.1344	5
Al(OH) ₃	0.2	54.7319	61.6402	64.459	66.3065	67.4229	68.1004	6
	1	64.9982	69.1236	69.5861	69.942	70.0127	70.0202	7
(NH ₄) ₂ HPO ₄	0.2	46.5836	55.145	59.7691	60.4033	60.5599	60.8466	6
	1	50.0353	54.7098	55.7038	56.0418	57.3491	57.8445	5







การทดสอบระเหยการลามไฟในแกน X

