

นิพนธ์ต้นฉบับ

อิทธิพลของการเติมสารประกอบโบรอนต่อคุณสมบัติทางกายภาพเชิงกล
และการหน่วงไฟในแผ่นชั้นไม้อัด

Effect of Added Boron Compounds on Physical, Mechanical
and Fire Retardant Properties in Particleboard

สุภาวรรณ พึ่งสุข¹
ทรงกลด จารุสมบัติ^{1*}
ธีระ วิณิน²

Suphawan Prungsuk¹
Songklod Jarusombuti^{1*}
Teera Veenin²

¹คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

²สมาคมศิษย์เก่าวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

Forestry Alumni Association, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

*Corresponding author, E-mail: fforsoj@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 28 กันยายน 2561

รับแก้ไข 1 พฤศจิกายน 2561

รับลงพิมพ์ 9 พฤศจิกายน 2561

ABSTRACT

This research studies on properties of added boron compound particleboard panels for improving of the potential in fire retardant. Using Boric acid and Borax (BA : BX) mixture (1 : 1.5), BA : BX (1.5 : 1) and Disodium octaborate tetrahydrate (DOT), at 1%, 1.5% and 2% content were applied to the particleboard with urea formaldehyde. Physical and mechanical properties of treated particleboard were evaluated according to Thai Industrial Standard for Flat Pressed Particleboards (TIS) 876-2004. Fire retardant property was determined by flammability testing (25.853) provided by Federal Aviation Regulations (FAR). Particleboard treated with BA : BX (1 : 1.5) at 2% showing the best fire-retardant property, particularly in terms of burn length and flame time, but modulus of rupture and internal bonding value of particleboard did not meet the standard of TIS 876-2004. The fire retardants affected the physical and mechanical properties of particleboard. However, boron compounds had excellent fire retardants effectiveness over untreated.

Keywords: Boron compounds, Fire retardant, Particleboard, Rubberwood

บทคัดย่อ

การศึกษาคุณสมบัติของแผ่นขึ้นไม้อัดที่เติมสารประกอบโบรอนในการเพิ่มประสิทธิภาพการหน่วงไฟ โดยใช้กรดบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ อัตราส่วน 1 ต่อ 1.5, กรดบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ อัตราส่วน 1.5 ต่อ 1 และสารไดโซเดียมออกตะบอเรตเตตระไฮเดรต โดยมีความเข้มข้นของสารหน่วงไฟ ได้แก่ ร้อยละ 1, 1.5 และ 2 ของปริมาณกาวยูเรียฟอรัลดีไฮด์ เพื่อทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลตามมาตรฐาน Thai Industrial Standard for Flat Pressed Particleboards (TIS) 876-2004 และทดสอบความสามารถในการติดไฟตามมาตรฐาน Federal Aviation Regulations (FAR) 25.853 ปรากฏว่าแผ่นขึ้นไม้อัดที่มีอัตราส่วนของกรดบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1 ต่อ 1.5 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 มีการหน่วงไฟได้ดีที่สุด แต่มีค่ามอดูลัสแตกหักและความต้านแรงดึงต่ำกว่ากับผิวหน้าที่ไม่ผ่านมาตรฐาน TIS 876-2004 อย่างไรก็ตามแผ่นขึ้นไม้อัดที่ผสมสารประกอบโบรอนทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลลดลง แต่ประสิทธิภาพการหน่วงไฟดีกว่าแผ่นขึ้นไม้อัดที่ไม่มีสารประกอบโบรอน

คำสำคัญ: สารประกอบโบรอน การหน่วงไฟ แผ่นขึ้นไม้อัด ไมยางพารา

คำนำ

ในปัจจุบันอาคารบ้านเรือนมักมีเหตุจากเพลิงไหม้บ่อยครั้ง สาเหตุมาจากอุบัติเหตุ ความประมาทหรือภัยธรรมชาติ ซึ่งสารหน่วงไฟมีความสำคัญในการปรับปรุงคุณสมบัติของชิ้นงานที่ไม่ต้องการให้เกิดการติดไฟ สามารถดับลงได้เองเมื่อไม่สัมผัสกับเปลวไฟ มีบทบาทสำคัญในการแก้ไขข้อจำกัดด้านการทนความร้อน ช่วยลดการแพร่กระจายของไฟ ทำให้การลุกลามไฟช้าลงและยับยั้งการก่อตัวของควัน เพื่อช่วยลดการสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สิน สารหน่วงไฟที่ใช้ทั่วไป ได้แก่ ฟอสฟอรัส, ไนโตรเจน, โบรอนและอื่นๆ (Rowell and Dietsberger, 2013) มีการพัฒนาสารหน่วงไฟให้มีส่วนประกอบที่ปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ชิ้นส่วนในอุตสาหกรรมยานยนต์, วัสดุก่อสร้าง และเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น

สารประกอบโบรอนโดยทั่วไปนำมาป้องกันการทำลายจากการเชื้อราในเนื้อไม้ซึ่งได้แก่กรดบอริก, เกลือบอแรกซ์ และสารไดโซเดียมออกตะบอเรตเตตระไฮเดรต อีกทั้งเป็นพิษต่อมนุษย์และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมต่ำ ไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนสี ราคาไม่แพงและหาได้ง่าย เป็นสารที่สามารถสัมผัสได้โดยไม่เกิดอันตราย นอกจากคุณสมบัติดังกล่าวแล้วสารประกอบ

โบรอนสามารถนำมาหน่วงไฟได้ (Chen *et al.*, 1997) โดยปกติกรดบอริกและเกลือบอแรกซ์จะถูกนำมาใช้งานร่วมกัน เนื่องจากเกลือบอแรกซ์เป็นสารที่ช่วยลดการลามไฟทำให้มีการเผาไหม้บนผิววัสดุลดลง ส่วนกรดบอริกเป็นสารที่ลดการระอุของเปลวไฟแต่ช่วยลดการลามไฟได้เพียงเล็กน้อย (Baysal *et al.*, 2007; Yu *et al.*, 2017)

แผ่นขึ้นไม้อัด ประกอบด้วยชิ้นไม้หรือวัสดุ lignocellulosic ที่ถูกย่อยให้มีขนาดต่างๆ โดยใช้สารยัดติดและปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ ความร้อน, ความดัน, ความชื้น, ตัวเร่งปฏิกิริยาและอื่นๆ ในการผลิตเป็นแผ่นขึ้นไม้อัด (Thoemen *et al.*, 2010) ซึ่งถูกนำมาใช้งานเป็นจำนวนมากภายในอาคารบ้านเรือน เช่น ผนัง, เฟอร์นิเจอร์ และสิ่งตกแต่ง เป็นต้น โดยแผ่นขึ้นไม้อัดนั้นมีข้อเสียคือ มีคุณสมบัติการหน่วงไฟต่ำ เนื่องจากไม้เป็นวัสดุที่เกิดการเผาไหม้ได้ดี (Kollmann and Cote, 1968) ดังนั้นแผ่นขึ้นไม้อัดโดยทั่วไปไม่สามารถหน่วงไฟได้ ซึ่งอาจกลายเป็นเชื้อเพลิงที่ทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้ การที่จะลดการลุกลามของเพลิงไหม้บนแผ่นขึ้นไม้อัดนั้นต้องใช้สารหน่วงไฟช่วยในการยับยั้งการลุกลามของไฟ (Baysal *et al.*, 2007; Nussbaum, 1988) ดังนั้นการวิจัยนี้เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารประกอบโบรอนต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของแผ่นขึ้นไม้อัด

จากไม้ยางพาราที่มีประสิทธิภาพในการหน่วงไฟบนแผ่นขึ้นไม้อัด

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบ

ในการทดลองชนิดไม้ที่นำมาใช้ คือ ไม้ยางพารา (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) จากบริษัท เมโทรปาร์ติเคิล จำกัด ที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 5-7 ส่วนสารหน่วงไฟที่ใช้คือ สารประกอบโบรอน ได้แก่ กรดบอริก (Boric acid : BA) เกลือบอแรกซ์ (Borax : BX) และสารไดโซเดียมออกตะโบเรตเตตระไฮเดรต (Disodium octaborate tetrahydrate : DOT) ที่ได้จากบริษัท เชียงไทยเทคคิง จำกัด สำหรับใช้ในการทดลอง คือ กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ มีปริมาณเนื้อกาวร้อยละ 65 จากบริษัท ทีโอเอ-โคฟเคม อินดัสตริส จำกัด

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมกาว

กาวที่ใช้ในงานวิจัยคือ กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ โดยปริมาณกาวชั้นผิวและชั้นไส้ร้อยละ 12 ค่อน้ำหนักอบแห้งของขึ้นไม้ สารประกอบโบรอนที่ใช้ได้แก่ กรดบอริกต่อกะลือบอแรกซ์ที่มีอัตราส่วน 1 ต่อ 1.5, กรดบอริกต่อกะลือบอแรกซ์ที่มีอัตราส่วน 1.5 ต่อ 1 และสารไดโซเดียมออกตะโบเรตเตตระไฮเดรต โดยใช้ความเข้มข้น 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 1, 1.5 และ 2 ค่อน้ำหนักของกาว ซึ่งน้ำหนักกาวแล้วเทลงในเครื่องปั่น จากนั้นใส่สารลงไปในการปั่นจนกระทั่งเป็นเนื้อเดียวกัน

2. การเตรียมแผ่นขึ้นไม้อัด

นำขึ้นไม้ใส่ในเครื่องผสมกาว แล้วนำกาวที่ผสมสารประกอบโบรอนจึงพ่นลงบนขึ้นไม้ ขณะที่เครื่องผสมกาวกำลังหมุน เมื่อพ่นกาวจนหมดจึงนำไม้ออกจากเครื่องผสมกาว ซึ่งน้ำหนักให้ได้ความหนาแน่นของแผ่นขึ้นไม้อัด 750 กิโลกรัมต่อตารางเมตร โดยอัตราส่วนชั้นผิวต่อชั้นไส้ร้อยละ 40 ต่อ 60 โดยน้ำหนัก

จากนั้นโรยขึ้นไม้ลงในกล่องที่มีขนาด 35x35 เซนติเมตร ใช้แท่งเหล็กที่มีความหนา 10 มิลลิเมตร แล้วนำเข้าเครื่องอัดรีดโดยอัดด้วยความดัน 35 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จำนวน 3 ชั้น เมื่ออัดแผ่นเสร็จแล้ว นำไปปรับสภาวะ 7 วัน

3. การทดสอบคุณสมบัติแผ่นขึ้นไม้อัด

การทดสอบหาความหนาแน่น (Density), ความชื้น (Moisture content : MC), การพองตัวตามความหนา (Thickness swelling : TS), ทดสอบความต้านแรงดึงตั้งฉากผิวหน้า (Internal bonding : IB), ทดสอบค่ามอดูลัสแตกหัก (Modulus of rupture : MOR) และค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity : MOE) ใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐาน Thai Industrial Standard for Flat Pressed Particleboards 876-2004 (Thai Industrial Standard, 2004) สำหรับการทดสอบความสามารถในการหน่วงไฟตามมาตรฐาน Federal aviation regulations (FAR) 25.853 (Horner, 2000) เพื่อทดสอบหาระยะเวลาการเผาไหม้ (Flame Time : FT) และระยะการเผาไหม้ (Burn Length : BL) การวิจัยนี้ใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลในแผนแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (1 Control+3x3 factorials in completely randomized design) และวิเคราะห์ข้อมูลค่าความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test

ผลและวิจารณ์

แผ่นขึ้นไม้อัดที่มีนำมาทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ความชื้น และการพองตัวตามความหนา ทดสอบหาคุณสมบัติเชิงกล ได้แก่ มอดูลัสแตกหัก มอดูลัสยืดหยุ่น ความต้านแรงดึงตั้งฉากผิวหน้า และทดสอบการหน่วงไฟ ตาม Table 1 ดังนี้

Table 1 Average values of physical, mechanical and fire retardant properties of the specimens.

Type		Std.	Control	BA:BX (1:1.5)		BA:BX (1:1.5)		BA:BX (1.5:1)		BA:BX (1.5:1)		DOT 1%	DOT 1.5%	DOT 2%	P-value
Density (kg/m³)		400-900	773.65 ^{ab}	776.25 ^a	770.63 ^{ab}	759.60 ^b	777.23 ^a	776.50 ^a	758.69 ^b	758.53 ^b	767.06 ^{ab}	772.99 ^{ab}	0.04*		
	Avg		1.22	6.75	2.76	10.57	3.86	2.23	10.65	7.36	9.81	16.26			
MC (%)	SD	4-13	8.24 ^c	8.31 ^{bc}	8.26 ^{bc}	8.29 ^{bc}	8.34 ^{abc}	8.39 ^{ab}	8.44 ^a	8.28 ^{bc}	8.32 ^{bc}	8.32 ^{bc}	0.03*		
	Avg		0.02	0.02	0.02	0.07	0.11	0.04	0.08	0.02	0.01	0.12			
TS (%)	SD	≤12	3.92 ^{de}	5.95 ^c	4.41 ^d	7.83 ^{ab}	3.08 ^c	4.06 ^{de}	8.36 ^a	7.66 ^{ab}	6.57 ^c	6.96 ^{bc}	0.00*		
	Avg		0.35	0.63	0.37	0.11	0.11	0.71	0.50	0.69	0.95	0.65			
IB (MPa)	SD	≥0.40	0.49 ^a	0.32 ^{cde}	0.27 ^{ef}	0.33 ^{cd}	0.48 ^a	0.42 ^b	0.34 ^c	0.24 ^f	0.28 ^{def}	0.28 ^{def}	0.00*		
	Avg		0.01	0.01	0.03	0.05	0.03	0.06	0.03	0.06	0.03	0.01			
MOR (MPa)	SD	≥14	18.96 ^a	16.81 ^{bc}	16.41 ^c	13.71 ^e	19.84 ^a	17.68 ^b	15.18 ^d	17.32 ^{bc}	16.53 ^c	13.69 ^e	0.00*		
	Avg		0.99	0.13	0.23	1.13	0.10	0.24	0.43	0.23	0.31	0.47			
MOE (MPa)	SD	≥1800	2433.00 ^b	2315.92 ^c	2338.75 ^c	2298.33 ^{cd}	2379.92 ^{bc}	2222.92 ^{de}	2157.50 ^e	2532.58 ^a	2392.00 ^b	2157.17 ^f	0.00*		
	Avg		14.29	15.01	68.91	94.97	62.64	28.13	23.72	39.26	20.11	28.38			
FT (second)	SD	-	49.63 ^a	42.83 ^{ab}	33.27 ^{ab}	27.47 ^b	43.87 ^{ab}	42.60 ^{ab}	47.27 ^{ab}	43.90 ^{ab}	46.00 ^{ab}	31.57 ^{ab}	0.23 ^{ns}		
	Avg		21.37	15.82	3.20	2.60	6.22	4.30	11.61	4.61	11.24	5.91			
BL (mm)	SD	-	132.84 ^{ab}	106.93 ^d	106.43 ^d	82.55 ^e	111.17 ^{cd}	107.95 ^d	103.72 ^d	125.98 ^{bc}	145.03 ^a	105.83 ^d	0.00*		
	Avg		5.61	16.53	5.74	11.00	8.44	0.00	11.20	11.21	1.76	3.67			

Remarks: Avg = Average; SD = Standard Deviation; std. = standard; * = significant; ns = non-significant

คุณสมบัติทางกายภาพ

1. ความหนาแน่นและความชื้น

จากการทดสอบแผ่นชิ้นไม้อัดตามมาตรฐาน

Thai Industrial Standard for Flat Pressed Particleboards (TIS 876-2004) (Thai Industrial Standard, 2004) แผ่นชิ้นไม้อัดที่ไม่ผสมสารประกอบโบรอนมีความหนาแน่นเฉลี่ย 773.65 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แผ่นชิ้นไม้อัดที่มีกรดบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1 ต่อ 1.5 ร้อยละ 1, 1.5 และ 2 มีความหนาแน่นเฉลี่ยในช่วง 759.60-776.25 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แผ่นชิ้นไม้อัดที่ผสมกรดบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1.5 ต่อ 1 ร้อยละ 1, 1.5 และ 2 มีความหนาแน่นเฉลี่ยในช่วง 758.53-777.23 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แผ่นชิ้นไม้อัดที่ผสมสารไดโซเดียมออกเตบอเรตเตตระไฮเดรต ร้อยละ 1, 1.5 และ 2 มีความหนาแน่นเฉลี่ยในช่วง 758.53-772.99 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นแผ่นชิ้นไม้อัดทั้งที่ไม่ผสมสารประกอบโบรอนและผสมสารประกอบโบรอน

มีค่าที่ผ่านมาตรฐาน TIS 876-2004 (Thai Industrial Standard, 2004) โดยกำหนดความหนาแน่นในช่วง 400-900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แสดงใน Figure 1

จากการทดสอบแผ่นชิ้นไม้อัดตามมาตรฐาน TIS 876-2004 แผ่นชิ้นไม้อัดที่ไม่ผสมสารประกอบโบรอนมีค่าความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 8.24 แผ่นชิ้นไม้อัดที่ผสมกรดบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1 ต่อ 1.5 ร้อยละ 1, 1.5 และ 2 มีค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 8.26-8.31 แผ่นชิ้นไม้อัดที่มีส่วนผสมของกรดบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1.5 ต่อ 1 ร้อยละ 1, 1.5 และ 2 มีค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 8.34-8.44 ส่วนแผ่นชิ้นไม้อัดที่ผสมสารไดโซเดียมออกเตบอเรตเตตระไฮเดรต ร้อยละ 1, 1.5 และ 2 มีค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 8.28-8.32 ซึ่งเป็นแผ่นชิ้นไม้อัดทั้งที่ไม่ผสมสารประกอบโบรอนและผสมสารประกอบโบรอนมีค่าที่ผ่านมาตรฐาน TIS 876-2004 โดยกำหนดความชื้นในช่วงร้อยละ 4-13 (Thai Industrial Standard, 2004) แสดงใน Figure 2

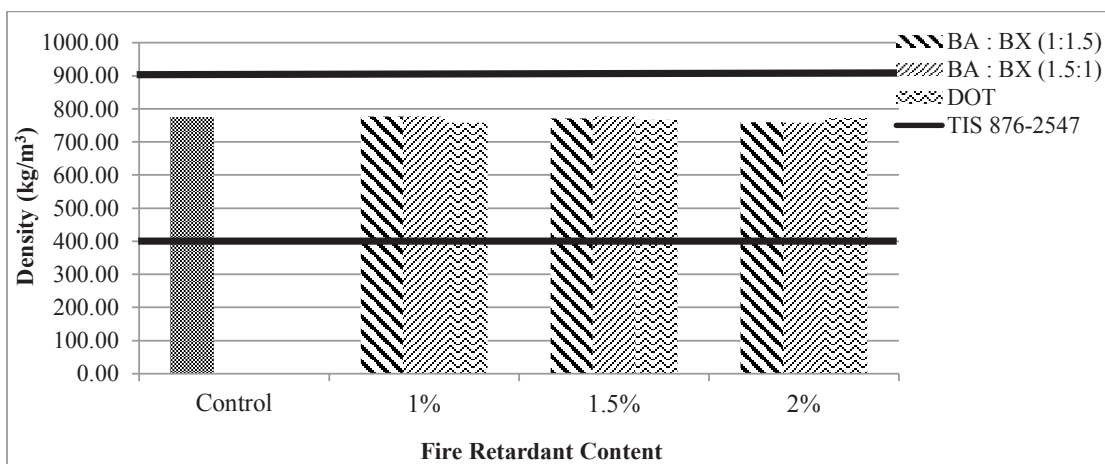


Figure 1 Density of the specimens.

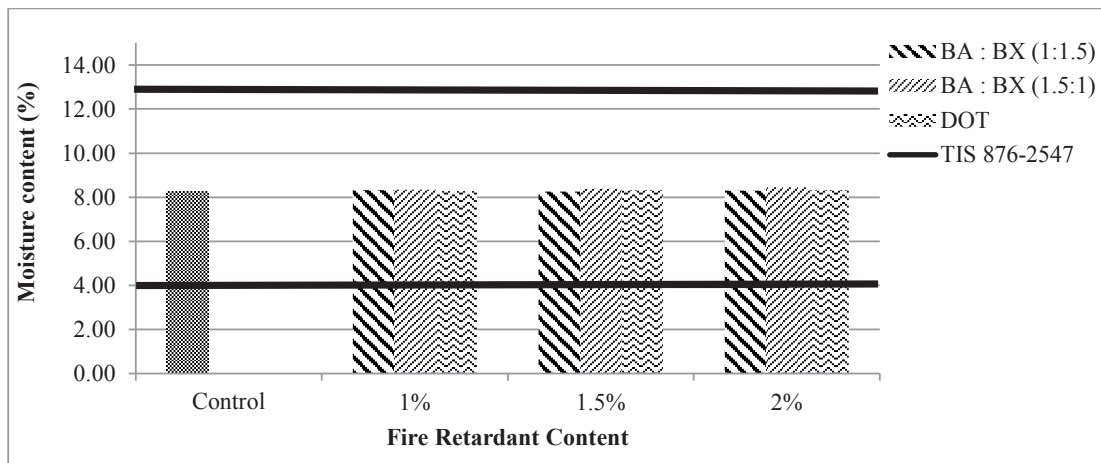


Figure 2 Moisture content of the specimens.

2. การพองตัวตามความหนา

ค่าการพองตัวตามความหนาของแผ่นขึ้นไม้อัด แผ่นขึ้นไม้อัดที่ไม่ผสมสารประกอบโบรอนมีค่าการพองตัวตามความหนาเฉลี่ยร้อยละ 3.92 แผ่นขึ้นไม้อัดที่มีส่วนผสมของกรดบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1 ต่อ 1.5 ร้อยละ 1, 1.5 และ 2 มีค่าการพองตัวตามความหนาเฉลี่ยร้อยละ 5.95, 4.41 และ 7.83 ตามลำดับ แผ่นขึ้นไม้อัดที่มีส่วนผสมของกรดบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1.5 ต่อ 1 ร้อยละ 1, 1.5 และ 2 มีค่าการพองตัวตามความหนาเฉลี่ยร้อยละ 3.08, 4.06 และ 8.36 ตามลำดับ ส่วนแผ่นขึ้นไม้อัดที่มีส่วนผสมของสารโซเดียมออกเตบอเรตเตตระไฮเดรต ร้อยละ 1, 1.5 และ 2 มีค่าการพองตัวตามความหนาเฉลี่ยร้อยละ 7.66, 6.57 และ 6.96 ตามลำดับ โดยแผ่นขึ้นไม้อัดที่ไม่ผสมสารประกอบโบรอนและแผ่นขึ้นไม้อัดที่ผสมสารประกอบโบรอนทุกระดับความเข้มข้นมีค่าเฉลี่ยการพองตัวตามความหนาผ่านเกณฑ์มาตรฐาน TIS 876-2004 โดยกำหนดค่าการพองตัวตามความหนาของแผ่นขึ้นไม้อัดน้อยกว่า

หรือเท่ากับร้อยละ 12 (Thai Industrial Standard, 2004) ปรากฏใน Figure 3

การพองตัวตามความหนาของแผ่นขึ้นไม้อัดที่มีกรดบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1.5 ต่อ 1 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 มีการพองตัวน้อยกว่าแผ่นขึ้นไม้อัดที่ไม่ผสมสารประกอบโบรอน ซึ่งค่าการพองตัวตามความหนาจะเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของสารประกอบโบรอนที่มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ayrimis *et al.* (2012) ในการทดลองแผ่นขึ้นไม้อัดที่ผสมสารประกอบโบรอนโดยใช้กรดบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1 ต่อ 1 ที่มีระดับความเข้มข้นร้อยละ 4, 8 และ 12 พบว่าเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารประกอบโบรอนส่งผลให้ค่าการพองตัวตามความหนาเพิ่มขึ้นตามลำดับ เนื่องจากสารหน่วงไฟเป็นสารที่ดูดความชื้นได้ง่าย อีกทั้งกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์มีคุณสมบัติที่ไม่กั้นน้ำจึงทำให้เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารหน่วงไฟจึงมีการดูดซึมน้ำได้ง่ายยิ่งขึ้น

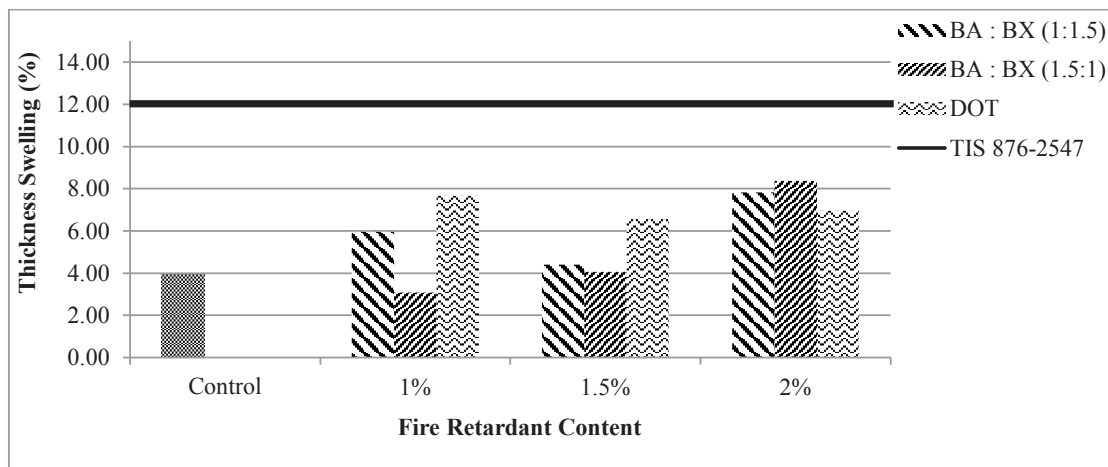


Figure 3 Thickness swelling of the specimens.

คุณสมบัติทางเชิงกล

1. มอดูลัสแตกหัก

ค่ามอดูลัสแตกหักของแผ่นชิ้นไม้อัด แผ่นชิ้นไม้อัดที่ไม่ผสมสารประกอบโบรอนมีค่ามอดูลัสแตกหักเฉลี่ย 18.96 เมกะพาสกาล แผ่นชิ้นไม้อัดที่มีส่วนผสมกรดบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1 ต่อ 1.5 ร้อยละ 1 และ 1.5 มีค่ามอดูลัสแตกหักเฉลี่ย 16.81 และ 16.41 เมกะพาสกาล ตามลำดับ แผ่นชิ้นไม้อัดที่ผสมกรดบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1.5 ต่อ 1 ร้อยละ 1, 1.5 และ 2 มีค่ามอดูลัสแตกหักเฉลี่ย 19.84, 17.68 และ 15.18 เมกะพาสกาล ตามลำดับ ส่วนแผ่นชิ้นไม้อัดที่มีส่วนผสมของสารไดโซเดียมออกเตทโบเรตเตตระไฮเดรต ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 1.5 มีค่ามอดูลัสแตกหักเฉลี่ย 17.32 และ 16.53 เมกะพาสกาล ตามลำดับ ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน TIS 876-2004 โดยกำหนดค่ามอดูลัสแตกหักของแผ่นชิ้นไม้อัดมากกว่าหรือเท่ากับ 14 เมกะพาสกาล (Thai Industrial Standard, 2004) ส่วนแผ่นชิ้นไม้อัดที่มีส่วนผสมของกรดบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1 ต่อ 1.5 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 และแผ่นชิ้นไม้อัดที่มีส่วนผสมของสารไดโซเดียมออกเตทโบเรตเตตระไฮเดรต ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 มีค่ามอดูลัสแตกหักเฉลี่ย

13.71 และ 13.69 เมกะพาสกาล ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน TIS 876-2004 (Thai Industrial Standard, 2004) แสดงใน Figure 4

จากการทดสอบแผ่นชิ้นไม้อัดที่ผสมสารประกอบโบรอนมีค่าความแข็งแรงลดลงเมื่อเทียบกับแผ่นชิ้นไม้อัดที่ไม่มีสารประกอบโบรอน โดยสารประกอบโบรอนที่มีอัตราส่วนกรดบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1.5 ต่อ 1 จะมีค่าความแข็งแรงที่มากที่สุดเทียบกับสารประกอบโบรอนที่มีกรดบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1 ต่อ 1.5 และ สารไดโซเดียมออกเตทโบเรตเตตระไฮเดรตในระดับความเข้มข้นเดียวกัน เมื่อระดับความเข้มข้นของสารประกอบโบรอนมากทำให้ค่ามอดูลัสแตกหักลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nagieb *et al.* (2011) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของสารประกอบโบรอนต่อคุณสมบัติเชิงกลโดยใช้กรดบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 5 ต่อ 1 ที่ 3 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ ร้อยละ 0.5, 1 และ 2 พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารประกอบโบรอนทำให้มอดูลัสแตกหักมีค่าลดลง เนื่องจากสารหน่วงไฟเป็นเกลืออนินทรีย์เป็นได้ทั้งกรดหรือด่าง ส่งผลให้เซลล์โลสในไม้เสื่อมสภาพ ทำให้คุณสมบัติความแข็งแรงลดลง (Ustaomer and Usta, 2012)

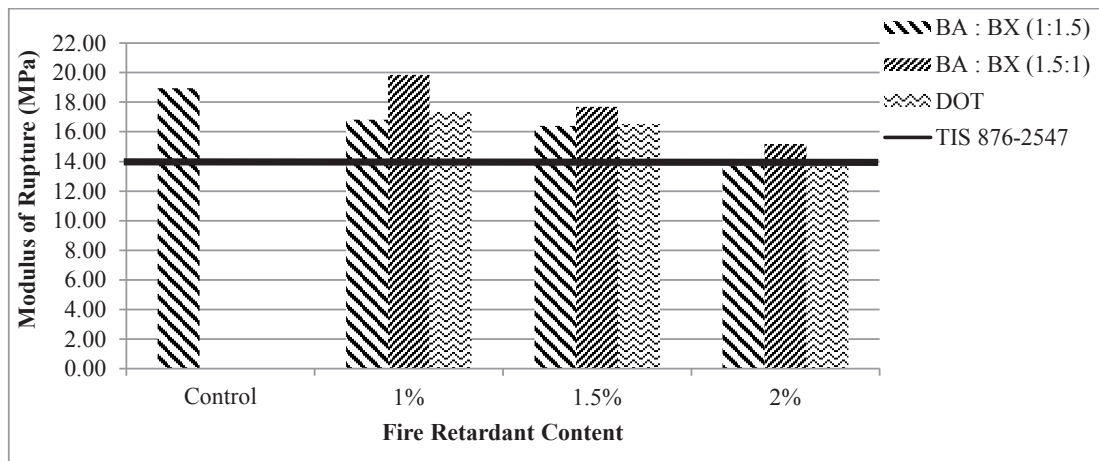


Figure 4 Modulus of rupture of the specimens.

2. มอดูลัสยืดหยุ่น

ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นชิ้นไม้อัดที่ได้จากการทดสอบแผ่นชิ้นไม้อัดที่ไม่ผสมสารประกอบโบรอน มีค่ามอดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ย 2433.00 เมกะพาสกาล แผ่นชิ้นไม้อัดที่มีส่วนผสมกรดบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1 ต่อ 1.5 ร้อยละ 1, 1.5 และ 2 มีค่ามอดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ย 2315.92, 2338.75 และ 2298.33 เมกะพาสกาล ตามลำดับ ส่วนแผ่นชิ้นไม้อัดที่มีส่วนผสมกรดบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1.5 ต่อ 1 ร้อยละ 1, 1.5 และ 2 มีค่ามอดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ย 2379.92, 2222.92 และ 2157.50 เมกะพาสกาล ตามลำดับ ส่วนแผ่นชิ้นไม้อัดที่มีส่วนผสมของสารไดโซเดียมออกเตทเตตระไฮเดรต ร้อยละ 1, 1.5 และ 2 มีค่ามอดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ย 2532.58, 2392.00 และ 2157.17 เมกะพาสกาล ตามลำดับ ซึ่งแผ่นชิ้นไม้อัดที่ไม่ผสมสารประกอบโบรอนและแผ่นชิ้นไม้อัดที่ผสมสารประกอบโบรอนทุกระดับความเข้มข้น มีค่าเฉลี่ยมอดูลัสยืดหยุ่นผ่านเกณฑ์มาตรฐาน TIS 876-2004 โดยกำหนดค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นชิ้นไม้อัดมากกว่าหรือเท่ากับ 1800 เมกะพาสกาล (Thai Industrial Standard, 2004) แสดงใน Figure 5

จากการทดสอบแผ่นชิ้นไม้อัดที่มีสารประกอบโบรอนพบว่ามอดูลัสยืดหยุ่นลดลง เมื่อเทียบกับ

แผ่นชิ้นไม้อัดที่ไม่มีสารประกอบโบรอนแต่ในแผ่นชิ้นไม้อัดที่มีสารไดโซเดียมออกเตทเตตระไฮเดรต ร้อยละ 1 มีค่ามอดูลัสยืดหยุ่นที่มากกว่าแผ่นชิ้นไม้อัดที่ไม่มีสารประกอบโบรอน แสดงถึงแผ่นชิ้นไม้อัดที่ไม่สามารถแตกหักได้ง่าย แผ่นชิ้นไม้อัดที่มีสารประกอบโบรอนความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 1.5 แผ่นชิ้นไม้อัดที่มีสารไดโซเดียมออกเตทเตตระไฮเดรตมีค่ามอดูลัสยืดหยุ่นมากกว่าแผ่นชิ้นไม้อัดที่มีส่วนผสมของกรดบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1 ต่อ 1.5 และกรดบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1.5 ต่อ 1 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 ส่วนแผ่นชิ้นไม้อัดที่มีส่วนผสมของกรดบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1 ต่อ 1.5 มีค่ามอดูลัสยืดหยุ่นสูงกว่าแผ่นชิ้นไม้อัดที่มีส่วนผสมของกรดบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1.5 ต่อ 1 และแผ่นชิ้นไม้อัดที่มีส่วนผสมของสารไดโซเดียมออกเตทเตตระไฮเดรต จากการทดสอบค่าของมอดูลัสยืดหยุ่นเมื่อเพิ่มสารประกอบโบรอนในแผ่นชิ้นไม้อัดจะมีค่าลดลง เนื่องจากการที่พันธะของกลูโคสถูกไฮโดรไลซิสจากการที่เติมสารหน่วงไฟในขณะที่ทำการอัดรีด ทำให้โครงสร้างของเซลล์โลสในไม้สั้นลงค่ามอดูลัสยืดหยุ่นจึงลดลง (Nagieb *et al.*, 2011; Zaidon *et al.*, 1998)

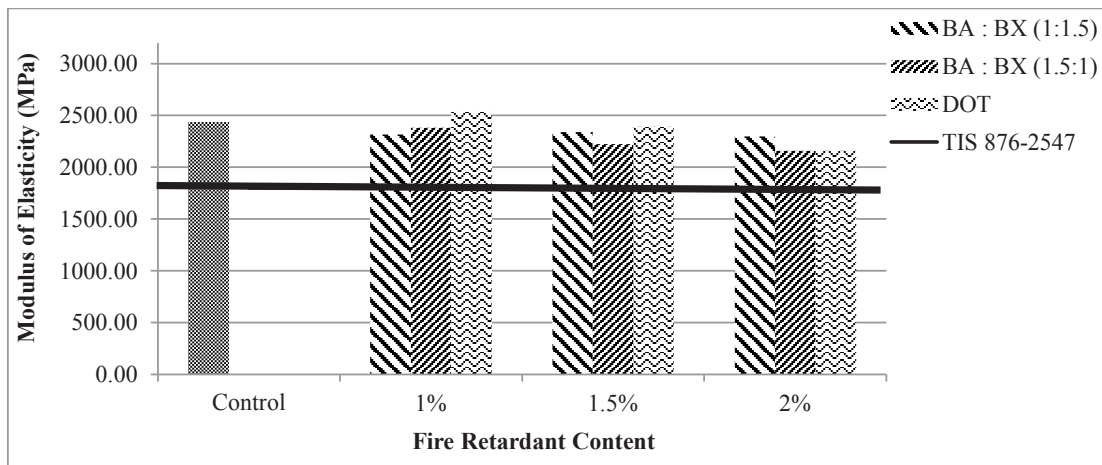


Figure 5 Modulus of elasticity of the specimens.

3. ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

ค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นชิ้นไม้อัด แผ่นชิ้นไม้อัดที่ไม่ผสมสารประกอบโบรอนมีค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเฉลี่ย 0.49 เมกะพาสกาล แผ่นชิ้นไม้อัดที่ผสมกรดบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1 ต่อ 1.5 ร้อยละ 1, 1.5 และ 2 มีค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเฉลี่ย 0.32, 0.27 และ 0.33 เมกะพาสกาล ตามลำดับ ส่วนแผ่นชิ้นไม้อัดที่ผสมกรดบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1.5 ต่อ 1 ร้อยละ 1, 1.5 และ 2 มีค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเฉลี่ย 0.48, 0.42 และ 0.34 เมกะพาสกาล ตามลำดับ

ส่วนแผ่นชิ้นไม้อัดที่มีส่วนผสมของสารไดโซเดียมออกตะโบเรตเตตระไฮเดรต ร้อยละ 1.5 และ 2 มีค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเฉลี่ย 0.24, 0.28 และ 0.28 เมกะพาสกาล ตามลำดับ แผ่นชิ้นไม้อัดที่ไม่ผสมสารประกอบโบรอน และแผ่นชิ้นไม้อัดที่ผสมกรดบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1.5 ต่อ 1 ร้อยละ 1 และ 1.5 เท่านั้นที่มีค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเฉลี่ยที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน TIS 876-2004 โดยกำหนดค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นชิ้นไม้อัดมากกว่าหรือเท่ากับ 0.40 เมกะพาสกาล (Thai Industrial Standard, 2004) แสดงใน Figure 6

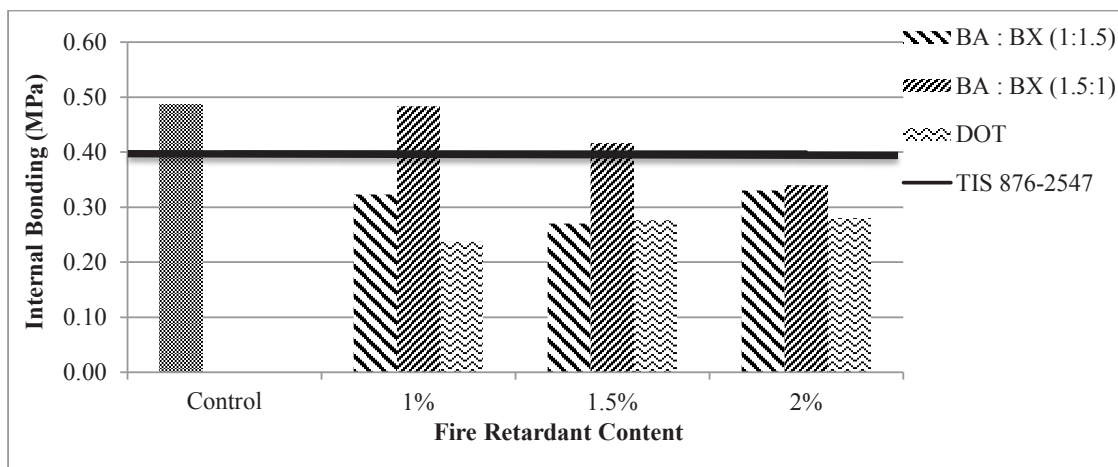


Figure 6 Internal bonding of the specimens.

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงตั้งฉาก ผิวหน้าแผ่นชิ้นไม้อัดที่ผสมกรบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1.5 ต่อ 1 มีค่ามากกว่าแผ่นชิ้นไม้แผ่นชิ้นไม้อัดที่ผสมกรบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1 ต่อ 1.5 และที่ผสมสารไดโซเดียมออกตะบอเรตเตตระไฮเดรตในทุกระดับความเข้มข้น ในแผ่นชิ้นไม้อัดที่ไม่มีสารประกอบโบรอน มีค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสูงกว่าแผ่นชิ้นไม้อัดที่ผสมสารประกอบโบรอน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Yalinkilic *et al.* (1998) ที่ผสมกรบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 5 ต่อ 1 ในกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์บนแผ่นชิ้นไม้อัด ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.25, 1 และ 4.70 เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้น ส่งผลให้ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้ามีการยึดเหนี่ยวภายในแผ่นชิ้นไม้อัดลดลง เนื่องจากความเป็นกรดในสารหน่วงไฟเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของกาว ส่งผลต่อระยะเวลาการเซตตัวของกาวเร็วขึ้นทำให้มีการยึดติดระหว่างผิวไม้ลดลง ในขณะที่ทำการอัดแผ่นชิ้นไม้อัดจึงส่งผลให้ความแข็งแรงในแผ่นชิ้นไม้อัดลดลง

ทดสอบความสามารถในการติดไฟ

1. ระยะเวลาการเผาไหม้และระยะทางการเผาไหม้

จากการทดสอบระยะเวลาการเผาไหม้ของแผ่นชิ้นไม้อัด แผ่นชิ้นไม้อัดที่มีกรบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1 ต่อ 1.5 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 1.5 และ 2 แผ่นชิ้นไม้อัดที่มีกรบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1.5 ต่อ 1 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 1.5 และ 2 แผ่นชิ้นไม้อัดที่มีสารไดโซเดียมออกตะบอเรตเตตระไฮเดรต ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 1.5 และ 2 มีระยะเวลาที่เกิดการเผาไหม้สั้นลงเมื่อเทียบกับแผ่นชิ้นไม้อัดที่ไม่ผสมสารประกอบโบรอน ที่มีระยะเวลาการเผาไหม้เฉลี่ย 49.63 วินาที ปรากฏใน Table 1 โดยที่แผ่นชิ้นไม้อัดที่มีกรบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1 ต่อ 1.5 ร้อยละ 2 ระยะเวลาการเผาไหม้เฉลี่ย 27.47 วินาที ซึ่งเป็นระยะเวลาในการหน่วงไฟได้สั้นกว่าแผ่นชิ้นไม้อัดที่ผสมกรบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1.5 ต่อ 1 และแผ่นชิ้นไม้อัดที่มีส่วนผสมของสารไดโซเดียมออกตะบอเรตเตตระไฮเดรต

จากการทดสอบระยะทางการเผาไหม้ของแผ่นชิ้นไม้อัด แผ่นชิ้นไม้อัดที่ไม่ผสมสารประกอบโบรอนมีระยะการเผาไหม้เฉลี่ย 132.84 มิลลิเมตร แผ่นชิ้นไม้อัดที่มีส่วนผสมของกรบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1 ต่อ 1.5 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 1.5 แผ่นชิ้นไม้อัดที่มีส่วนผสมของกรบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1.5 ต่อ 1 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 1.5 และ 2 แผ่นชิ้นไม้อัดที่มีสารไดโซเดียมออกตะบอเรตเตตระไฮเดรต ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 1.5 และ 2 มีระยะทางการเผาไหม้ที่สั้นลง โดยที่แผ่นชิ้นไม้อัดที่มีส่วนผสมของกรบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1 ต่อ 1.5 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 ระยะทางการเผาไหม้เฉลี่ย 82.55 มิลลิเมตร แสดงใน Table 1 ดังนั้นในแผ่นชิ้นไม้อัดที่มีอัตราส่วนของเกลือบอแรกซ์จะช่วยลดการลามไฟแต่ยังคงเกิดการระอุของเปลวไฟบนวัสดุ ทำให้มีระยะทางการเผาไหม้ที่สั้นลง ส่วนกรบอริกลดการระอุของเปลวไฟแต่ช่วยลดการลามไฟได้เพียงเล็กน้อย เนื่องจากกลไกของสารประกอบโบรอนนั้นเมื่อวัสดุสัมผัสอุณหภูมิที่สูงขึ้น สารประกอบโบรอนจะทำหน้าที่เคลือบบนผิววัสดุ เพื่อป้องกันออกซิเจนและความร้อนเข้าทำปฏิกิริยากับวัสดุก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ (Yu *et al.*, 2017) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Suwanno *et al.* (2017) ได้ทำการศึกษาการต้านทานไฟของสารประกอบโบรอนในไม้ยางพารา พบว่า มีอัตราการลุกไหม้ลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารประกอบโบรอน อีกทั้งสอดคล้องกับงานวิจัย แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลางจากไยมะพร้าว โดยใช้กรบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1 ต่อ 1.5 พบว่า สารประกอบโบรอนทำให้การติดไฟช้าลงและลดอัตราการเผาไหม้ (Rejeesh and Saju, 2017)

สรุป

อิทธิพลของสารประกอบโบรอนต่อคุณสมบัติทางกายภาพเมื่อเทียบกับแผ่นชิ้นไม้อัดที่ไม่มีสารประกอบโบรอน แผ่นชิ้นไม้อัดที่ผสมสารประกอบโบรอนการพองตัวตามความหนาเพิ่มขึ้น อีกทั้งสารประกอบโบรอนส่งผลให้ความแข็งแรงของแผ่นชิ้นไม้อัดลดลง ความ

ต้านทานแรงดึงตั้งฉากผิวหน้าลดลง ดังนั้น สารประกอบโบรอนส่งผลทำให้มีการพองตัวตามความหนา ความแข็งแรงและความต้านทานแรงดึงตั้งฉากผิวหน้าลดลง

อิทธิพลของสารประกอบโบรอนต่อการหน่วงไฟบนแผ่นชิ้นไม้อัดมีประสิทธิภาพที่ช่วยปรับปรุงการหน่วงไฟบนแผ่นชิ้นไม้อัดดีขึ้น เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นทำให้ลดระยะเวลาการเผาไหม้และระยะทางการเผาไหม้ได้ดียิ่งขึ้น โดยที่สารหน่วงไฟบนแผ่นชิ้นไม้อัดที่มีสารประกอบโบรอนอัตราส่วนกรดบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1 ต่อ 1.5 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 ช่วยปรับปรุงให้ระยะทางการเผาไหม้และระยะเวลาที่เกิดการเผาไหม้สั้นลงช่วยหน่วงไฟได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับสารประกอบโบรอนชนิดอื่น แต่มีความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

จากผลการศึกษานี้มีข้อเสนอแนะคือแผ่นชิ้นไม้อัดที่มีกรดบอริกต่อเกลือบอแรกซ์ 1 ต่อ 1.5 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 มีการหน่วงไฟที่ดีที่สุด แต่มีมอดูลัสแตกหักและความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ควรศึกษาเพิ่มเติมในการเพิ่มร้อยละของกาวต่อน้ำหนักของชิ้นไม้ที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดที่มีสารประกอบโบรอนหรือทำการศึกษาระดับความเข้มข้นของสารประกอบโบรอนที่มีระดับความเข้มข้นที่ลดลงเพื่อความเหมาะสมต่อการนำมาใช้งาน

คำนิยม

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท เมโทรปาร์คเคิล จำกัด และบริษัท เชียงไทยเทคคิง จำกัด ที่เอื้อเฟื้อวัตถุดิบในการทำวิจัยครั้งนี้

REFERENCES

- Ayrilmis, N., T. Akbulut, T. Dunker, Z. Candan, R.H. White, F. Mengeloglu, U. Buyuksari, Z. Candan and E. Avici. 2012. Effect of Boron and Phosphate compounds on physical, mechanical, and fire properties of wood-polypropylene composites. **Construction and Building Materials** 33: 63-69.
- Baysal, E., M. Altinok, M. Colak, S.K. Ozaki and H. Toker. 2007. Fire resistance of Douglas Fir (*Pseudotsuga menziesii*) treated with borates and natural extractives. **Bioresource Technology** 98: 1101-1105.
- Chen, P.Y.S., M.E. Puttmann, L.H. Williams and D.D. Stoke, 1997. Treatment of hardwood lumber with borate preservation. **Forest Products Journal** 47: 63-68.
- Horner, A. 2000. **Aircraft Materials Fire Test Handbook**. Available Source: <https://www.fire.tc.faa.gov/Handbook>, July 10, 2018.
- Kollmann, F. and W.A. Cote. 1968. **Principles of Wood Science and Technology I. Solid Wood**. Springer-Verlag, Berlin.
- Nagieb, Z.A., M.A. Nassar and M.G. El-Meligy. 2011. Effect of addition of boric acid and borax on fire-retardant and mechanical properties of urea formaldehyde saw dust composites. **International Journal of Carbohydrate Chemistry** 2011: 1-6.
- Nussbaum, R. 1988. The Effect of Low Concentration Fire Retardant Impregnations on Wood Charring Rate and Char Yield. **Journal of Fire Sciences** 6: 290-306.
- Rejeesh, C.R. and K.K. Saju. 2017. Effect of chemical treatment on fire retardant properties of medium density coir fiber boards. **Wood and Fiber Science** 49 (3): 332-337.
- Rowell, R.M. and M.A. Dietenberger. 2013. Thermal Properties, Combustion, and Fire Retardancy of Wood, pp. 127-149. In R.M. Rowell. **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites**, Second ed., CRC Press, New York.

- Suwanno, T., T. Veenin and S. Jarusombuti. 2017. Study on fire-retardant of rubberwood preservation with boron compounds. **Thai Journal of Forestry** 36 (1): 129-135.
- Thai Industrial Standard. 2004. **Thai Industrial Standard for Flat Pressed Particleboards**. TIS 876-2004.
- Thoemen, H., M. Irle and M. Sernek. 2010. **Wood-Based Panels - An Introduction for Specialists**. Brunel University Press, London.
- Ustaomer, D. and M. Usta. 2012. The effects of boron compounds and different melamine contents in MDF resins on some properties of MDF panels. **Bioresources** 7(1): 437-446.
- Yalinkilic, M.K., M. Takahashi, Y. Imamura and Z. Demirci. 1998. Effect of boron addition to adhesive and/or surface coating on fire-retardant properties of particleboard. **Wood and Fiber Science** 30 (4): 348-359.
- Yu, L., J. Cai, H. Li, D. Qin and B. Fei. 2017. Effect of boric acid and/or borax treatments on the fire resistance of bamboo filament. **Bioresources** 12(3): 5296-5307.
- Zaidon, A., H. Rayehan, M.T. Paridah and M.Y. Nor yuziah. 1998. Incorporation of a preservative in particleboard : properties and durability. **Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science** 21(2): 83-92
-