สมบัติของแผ่นใยไม้อัดจากใยมะพร้าวกับโฟมพอลิสไตรีนผสมสารหน่วงไฟ

Properties of Fiberboard Made from Coconut Coir/Polystyrene Foam Containing Flame Retardant

มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์* ทิพย์รัตน์ พิฑูรทัศน์ พนิดา พุทธชาดสมบัติ และ รัชมาลิณี สุเริงฤทธิ์
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Malinee Chaisupakitsin* Tiparat Pitoonthud Panida Putthachartsombut and Rutchamalinee Surerngrit
Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.

บทคัดย่อ

ศึกษาความสามารถหน่วงไฟของสารเคมี 3 ชนิด Na_2HPO_4, $Mg(OH)_2$ และ H_3BO_3 ที่ผสมในแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่น 0.3 กรัม/ลบ.ซม. เตรียมแผ่นใยไม้อัดจากการผสมระหว่างเส้นใยมะพร้าวกับโฟมพอลิสไตรีนเหลือทิ้งในอัตราส่วนเส้นใยมะพร้าวต่อโฟมพอลิสไตรีน 85/15 โดยน้ำหนัก ใช้กาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ 15% ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ผลการทดลองพบว่า แผ่นใยไม้อัดที่ไม่ผสมสารหน่วงไฟมีอัตราการเผาไหม้ 1.85 มิลลิเมตรต่อนาที แผ่นใยไม้อัดที่มี $Mg(OH)_2$ หรือ Na_2HPO_4 สามารถหยุดการเผาไหม้ด้วยตนเอง และแผ่นใยไม้อัดที่มี $Mg(OH)_2$ ผสมกับ Na_2HPO_4 ในปริมาณเท่ากันไม่เกิดการเผาไหม้ มอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นใยไม้อัดผสมสารหน่วงไฟเรียงลำดับดังนี้ $Mg(OH)_2$ > $Mg(OH)_2$ ผสมกับ Na_2HPO_4 > Na_2HPO_4 และสมบัติการพองตัวทางความหนาของแผ่นใยไม้อัดเรียงลำดับได้ดังนี้ Na_2HPO_4 > $Mg(OH)_2$ ผสมกับ Na_2HPO_4 > $Mg(OH)_2$ ไม่สามารถเตรียมแผ่นใยไม้อัดโดยใช้ฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์กับเส้นใยที่มี H_3BO_3

คำสำคัญ : โฟมพอลิสไตรีน สารหน่วงไฟ แผ่นใยไม้อัด

Abstract

The flame retardant ability of 3 chemical reagents, Na_2HPO_4, $Mg(OH)_2$ and H_3BO_3 on 0.3 g/cm^3 fiberboard were studied. Fiberboard was prepared between coconut coir and waste polystyrene foam at the ratio of coconut coir and waste polystyrene foam 85/15 by weight. 15% of phenol-formaldehyde was used as binder and samples were hot pressed at 100°C for 10 minutes. The experimental results found that burning rate for fiberboard without flame retardants was 1.85 mm./minutes. Fiberboard mixed with $Mg(OH)_2$ or Na_2HPO_4 provided self-extinguishing property. Unburned property was found in fiberboard containing the equivalent of $Mg(OH)_2$ + Na_2HPO_4. Modulus of elasticity for fiberboard mixed with flame retardants showed in this order: $Mg(OH)_2$ > $Mg(OH)_2$ + Na_2HPO_4 > Na_2HPO_4. Thickness swelling property showed in this order Na_2HPO_4 > $Mg(OH)_2$ + Na_2HPO_4 > $Mg(OH)_2$. It was found that fiberboard can not prepared from phenol formaldehyde and H_3BO_3.

Keywords : Polystyrene foam, Flame retardant, Fiberboard

Corresponding author. E-mail: kcmaline@kmitl.ac.th

บทนำ

แผ่นใยไม้อัดผสมระหว่างโฟมพอลิสไตรีนเหลือทิ้งกับเส้นใยธรรมชาติ อาทิเช่น เส้นใยอ้อย (มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ และคณะ, 2547; Chaisupakitsin & Apichatsopit, 2005, 2006) เส้นใยมะพร้าว (มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ และประวิทย์ อรุณโชควัฒนา, 2550, 2551, 2550) เส้นใยสับปะรด (ประภาพรรณ หมั่นทำ และคณะ, 2549) และเส้นใยกล้วย (อัญชลี แท่นนิล และคณะ, 2550) เป็นวัสดุคอมพอสิตที่มีสมบัติลดทอนเสียงได้ โดยมีกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์หรือฟีนอลฟอร์มาดีไฮด์เป็นสารยึดติดเส้นใยธรรมชาติเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมีอยู่เป็นจำนวนมาก ไม่เป็นพิษ มีราคาถูก ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และเป็นฉนวนความร้อน ประเทศไทยมีเส้นใยธรรมชาติอยู่มากมายหลายชนิดและได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ เช่น เส้นใยจากต้นกล้วยนำมาทำกระดาษ (มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ และคณะ, 2549) เส้นใยจากอ้อยนำมาทำกระดาษและแผ่นใยไม้อัด (วรธรรม อุ่นจิตติชัย และจรัล ทองสถิตย์, 2538) สามารถเตรียมแผ่นใยไม้อัดจากแกลบ (Ajiwe & Okeoke, 1998) ใบชาใช้แล้ว (Yalinkilic *et al*., 1998) ฟางข้าว (Yang & Kim, 2002) และฟางข้าวสาลี (Han *et al*., 1998)

เส้นใยธรรมชาติเป็นอินทรีย์วัตถุที่สำคัญ หาได้ง่ายจากธรรมชาติ มีความหนาแน่นต่ำ ทำให้มีน้ำหนักเบา มีปริมาณมากเกิดขึ้นได้ใหม่เรื่อยๆ จึงมีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ ด้วยเหตุนี้เส้นใยธรรมชาติจึงนิยมใช้เป็นสารเติมแต่งในพลาสติก โดยอาจเป็นทั้งสารตัวเติมและสารเสริมแรงเพื่อเป็นการลดต้นทุน สำหรับโฟมพอลิสไตรีน มีน้ำหนักเบา แข็งปานกลาง ราคาถูก มีสมบัติให้ไอน้ำซึมผ่าน ดูดน้ำต่ำ นิยมใช้เป็นฉนวน ลดการสะท้อนของเสียงในโรงภาพยนตร์ ห้องซ้อมดนตรี และห้องอัดเสียง อย่างไรก็ตามโฟมพอลิสไตรีนเป็นวัสดุที่ติดไฟได้ บทบาทของโฟมพอลิสไตรีนที่ช่วยลดระดับเสียงเมื่อผสมกับเส้นใยธรรมชาติ เช่น เส้นใยมะพร้าว และเส้นใยอ้อยแล้วเตรียมแผ่นใยไม้อัดนั้น มีรายงานว่าก้อนโฟมที่แทรกตัวอยู่ระหว่างเส้นใยทำให้เกิดช่องว่างระหว่างผิวหน้าของโฟมกับเส้นใยและเส้นใยไม่จับตัวเป็นก้อน เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบแผ่นใยไม้อัดโมเลกุลของอากาศในรูพรุนเกิดการสั่น เกิดแรงเสียดทานกับผิวผนังของช่องว่างแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ดังนั้นเมื่อพลังงานคลื่นเสียงตกกระทบและผ่านวัตถุที่มีรูพรุนออกมาพลังงานคลื่นเสียงจะลดลง(Yang & Kim, 2002; Chaisupakitsin & Apichatsopit 2005; มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ และคณะ, 2550)

เนื่องจากอุบัติเหตุเพลิงไหม้สามารถเกิดขึ้นได้ด้วยหลายปัจจัย สารเคมีหลายชนิดถูกนำมาใช้เพื่อหน่วงการติดไฟและช่วยให้ไฟลามช้าลง สารหน่วงไฟประเภทอนินทรีย์นิยมนำมาใช้กับพลาสติกเนื่องจากสลายตัวที่อุณหภูมิ 150-400°C ครอบคลุมอุณหภูมิการสลายตัวของพลาสติก (Troizsch, 1990) สารเหล่านี้ ได้แก่ แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ($Mg(OH)_2$) ซึ่งเป็นสารที่ปราศจากแฮโลเจนจึงนิยมใช้กับพลาสติกหลายชนิด เมื่อได้รับความร้อนดูดพลังงานไว้ได้มากก่อนสลายตัวให้น้ำและแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ซึ่งเป็นสารที่ไม่เป็นพิษ (Sain, *et al*., 2004) กรดบอริก (H_3BO_3) นอกจากใช้เป็นสารกำจัดแมลงสาบแล้วยังเป็นสารหน่วงไฟที่นิยมใช้กับไม้หรือวัสดุที่มีไม้เป็นองค์ประกอบโดยใช้หลักการอินทูเมสเซนส์ (intumescence) กล่าวคือเมื่อได้รับความร้อนสามารถทำให้เกิดชั้นชาร์บนผิวของวัสดุที่ติดไฟจึงป้องกันความร้อนจากแหล่งความร้อนสู่วัตถุทั้งยังสลายให้น้ำซึ่งเป็นตัวช่วยระบายความร้อนอีกด้วย (Horrocks & Price, 2001, Qing *et al*., 2004) ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) หน่วงการติดไฟโดยใช้หลักการอินทูเมสเซนส์เช่นเดียวกับ H_3BO_3 (Troizsch, 1990)

ในงานวิจัยนี้รายงานผลการติดไฟของแผ่นใยไม้อัดที่มีความหนาแน่น 0.3 กรัม/ลบ.ซม. เตรียมจากเส้นใยมะพร้าวผสมโฟมพอลิสไตรีนในอัตราส่วน 85/15 โดยน้ำหนัก ใช้ฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารยึดติด เลือกสาร หน่วงไฟประเภทอนินทรีย์ 3 ชนิดคือ กรดบอริก (H_3BO_3) แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ($Mg(OH)_2$) และไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) โดยศึกษาผลของสารเหล่านี้ต่อสมบัติกายภาพ สมบัติเชิงกล และความสามารถติดไฟของแผ่นใยไม้อัด

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. สารเคมีและวัตถุดิบที่ใช้ กาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ (PF) ของบริษัท TOA (ความถ่วงจำเพาะที่ 25°C เท่ากับ 1.024 กรัม/ลบ.ซม., ความหนืดที่ 25°C เท่ากับ 97 cps., pH 13) โฟมพอลิสไตรีนจากบรรจุภัณฑ์สารเคมีในห้องปฏิบัติการ และเส้นใยมะพร้าวจากบริษัทอุตสาหกรรมใยมะพร้าวไทย

2. อุปกรณ์ เครื่องบด (Grinding mill) เครื่องร่อนพร้อมตะแกรง เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal Testing ยี่ห้อ LLOYD INSTRUMENTS รุ่น LR5K) เครื่องอัดร้อน (Compression machine) ความดัน 1200 psi และไมโครมิเตอร์ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มม.

3. วิธีการทดลอง

3.1 เตรียมเส้นใยมะพร้าวโดยนำเส้นใยมะพร้าว (Coconut coir, CC) ซึ่งเป็นเส้นใยยาวเกี่ยวพันกันมาบดตัดด้วยเครื่องบด ล้างสะอาด อบแห้งแล้วนำมาร่อนคัดแยกเลือกขนาด 21-50 เมช มีค่า Aspect ratio เท่ากับ 43.93 อบเส้นใยมะพร้าวที่ 100°C จนน้ำหนักคงที่

3.2 การลดขนาดโฟม เก็บโฟมกันกระแทกที่มาพร้อมกับขวดสารเคมีมาตัดด้วยเครื่องตัดซึ่งจะได้โฟมมีขนาดต่างๆ กัน เพื่อให้ทราบว่าการบดแต่ละครั้งได้โฟมขนาดใดบ้างมากน้อยเท่าใด ให้ชั่งน้ำหนักโฟมก่อนตัดและนำโฟมที่ตัดได้มาร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ นำโฟมที่ผ่านตะแกรงแต่ละขนาดมาชั่งแล้วคำนวณหาปริมาณของโฟมซึ่งให้ผลดังนี้ โฟมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2 มม. มีอยู่ 25%, ขนาด 2-3 มม. มีอยู่ 35%, ขนาด 3-6 มม. มีอยู่ 39%, ขนาด 6 มม. มีอยู่ 1% w/w ในการทดลองนี้นำมาใช้ทั้งหมดโดยไม่มีการคัดแยกขนาด

3.3 การทำแผ่นใยไม้อัด

3.3.1 เตรียมสารละลายของสารหน่วงไฟ โดยละลายสารหน่วงไฟได้แก่ กรดบอริก (H_3BO_3) แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ($Mg(OH)_2$) ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) และ ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) ผสมกับแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ($Mg(OH)_2$) ในน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้น 3% w/w

3.3.2 นำเส้นใยมาแช่ในสารละลายที่เตรียมได้ใน 3.3.1 เป็นเวลา 5 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นจึงกรองเอาแต่ส่วนเส้นใยไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 16 ชั่วโมงจนน้ำหนักคงที่ หาน้ำหนักของสารหน่วงไฟที่เข้าไปอยู่ในเส้นใยมะพร้าวได้ดังนี้ $Mg(OH)_2$ = 0.45±0.05, Na_2HPO_4 = 0.40±0.02, $Mg(OH)_2$+Na_2HPO_4 = 0.42±0.00 H_3BO_3 = 0.51±0.16

3.3.3 ชั่งเส้นใยมะพร้าวใน 3.3.2 และโฟมพอลิสไตรีนมาผสมในถังผสม ค่อยๆ เทกาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ 15% โดยเทียบกับน้ำหนักวัตถุดิบทั้งหมด ทีละน้อยพร้อมกับปั่นกวนสารไปด้วยเพื่อให้กาวกระจายตัวไปบนเส้นใยมะพร้าวและโฟมพอลิสไตรีนได้อย่างสม่ำเสมอ โฟมกระจายแทรกอยู่กับเส้นใยได้ดีทำการปั่นกวนอย่างต่อเนื่องจนกว่ากาวหมดจึงหยุดเครื่องผสม จากนั้นเทลงแม่แบบขนาด 300 มม. x 300 มม. x 9 มม. อัดร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที นำแผ่นใยไม้อัดที่ได้ออกจากแม่แบบทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 7 วัน ก่อนทำการทดสอบสมบัติ เพื่อให้ฟอร์มาลดีไฮด์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงระเหยออกไปพร้อมกับน้ำที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา

4. การทดสอบสมบัติ

4.1 ความหนาแน่นของชิ้นงาน (Density) ตัดแผ่นทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 5908-1994 ขนาด 90 x 90 มม. แล้วนำชิ้นทดสอบไปชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด วัดความกว้างและความยาวของชิ้นทดสอบขนานกับขอบแล้วหาค่าเฉลี่ย วัดความหนาของชิ้นทดสอบ 4 ตำแหน่งโดยใช้ไมโครมิเตอร์เป็นตัววัดแล้วหาค่าเฉลี่ยความหนา

ความหนาแน่น (กรัม/ซม.^{3}) = m_1/ V

เมื่อ m_1 = มวล (กรัม) V = ปริมาตร (ซม.^{3})

4.2 การดูดซึมน้ำ (Water absorption) ตัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 5908-1994 ขนาด 50 x 50 มม. แล้วนำชิ้นทดสอบไปชั่งก่อนการแช่น้ำ จากนั้นวางชิ้นทดสอบในระนาบเดียวกับระดับผิวน้ำโดยให้ขอบบนอยู่ใต้ผิวน้ำประมาณ 20 มล. ชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นควรวางห่างกันและห่างผนังของภาชนะพอสมควร เมื่อแช่ชิ้นทดสอบครบ 24 ชั่วโมงแล้วจึงนำชิ้นทดสอบขึ้นจากน้ำ โดยไม่มีการซับน้ำทำเช่นนี้ทุกชิ้นทดสอบและทำเหมือนกันทุกสูตรจากนั้นนำไปชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอนอีกครั้ง ใช้ชิ้นทดสอบ 3 ชิ้นต่อหนึ่งสูตรการผลิตแผ่นใยไม้อัดแล้วหาค่าเฉลี่ย

% การดูดซึมน้ำ = $[(W_2-W_1)/W_1] \times 100$

เมื่อ W_1 = น้ำหนักก่อนแช่น้ำ (กรัม) W_2 = น้ำหนักหลังแช่น้ำ (กรัม)

4.3 การพองตัวทางความหนา (Thickness swelling) ตัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 5908-1994 ขนาด 50 x 50 มม. วัดความหนาชิ้นทดสอบทั้ง 4 มุม หาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาก่อนแช่น้ำ นำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำในภาชนะที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแช่ชิ้นทดสอบครบ 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำชิ้นทดสอบขึ้นจากน้ำและนำไปวัดความหนาตามตำแหน่งเดิม หาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาหลังแช่น้ำ ใช้ชิ้นทดสอบ 5 ชิ้นต่อหนึ่งสูตรการผลิตแผ่นใยไม้อัดแล้วหาค่าเฉลี่ย

% การพองตัวทางความหนา = $[(t_2-t_1)/t_1] \times 100$

เมื่อ t_1 = ความหนาก่อนแช่น้ำ (มม.) t_2 = ความหนาหลังแช่น้ำ (มม.)

4.4 สมบัติเชิงกล การหาค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity, MOE) ตัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 5908-1994 ขนาด 50 x 150 มม. วางชิ้นทดสอบลงบนแท่นรองรับซึ่งมีระยะห่าง 15 เท่าของความหนาของชิ้นทดสอบ ให้ปลายชิ้นทดสอบยื่นออกไปจากแท่นรองรับข้างละ 25 มม. เท่าๆ กันให้แรงกดลงบนจุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ อัตราเร็วในการกด 10 มม./นาที เครื่องกดสามารถกดได้สูงสุดถึง 5 นิวตัน ใช้ตัวอย่างชิ้นทดสอบ 4 ชิ้นต่อหนึ่งสูตรการผลิตแผ่นใยไม้อัดแล้วหาค่าเฉลี่ย

MOE (นิวตัน/มม.^{2}) = $L^3 \Delta W / 4bt^3 \Delta S$

เมื่อ MOE = มอดุลัสยืดหยุ่น หน่วยเป็นเมกะพาสคัล

L = ระยะห่างของแท่นรองรับ หน่วยเป็นมม.

ΔW = แรงกดที่กระทำเพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรงหน่วยเป็นนิวตัน

ΔS = ระยะแอ่นตัวของชิ้นไม้ที่เพิ่มขึ้นในช่วงเส้นกราฟเป็นเส้นตรงหน่วยเป็นมม.

b = ความกว้างของชิ้นทดสอบ หน่วยเป็นมม.

t = ความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ หน่วยเป็นมม.

4.5 วิธีการทดสอบอัตราการเผาไหม้ (Rate of burning test) (ASTM D 635) นำตัวอย่างชิ้นใยไม้อัดที่วางไว้ 7 วันที่อุณหภูมิห้องแล้วมาตัดให้มีขนาด กว้าง 13 มม. x ยาว 125 มม. x หนา 9 มม. จำนวน 3 ชิ้นต่อ 1 ตัวอย่าง วัดความยาวจากส่วนปลายของชิ้นทดสอบด้านใดด้านหนึ่งให้ได้ความยาว 25 มม. ทำเครื่องหมายแสดงตำแหน่งที่ 1 จากนั้นวัดต่อไปอีก 75 มม. เป็นตำแหน่งที่ 2 (ดังแสดงในภาพที่ 1) จับชิ้นงานในแนวราบขนานกับพื้น นำตะเกียงบุนเสนวางอยู่บริเวณด้านล่างของแท่งชิ้นใยไม้อัดอีกด้านหนึ่งโดยให้ตะเกียงบุนเสนเอียงทำมุม 45° กับแนวราบ ปรับตำแหน่งของตัวอย่างให้เหมาะสม แล้วเลื่อนตะเกียงเข้าหาตัวอย่างเป็นเวลา 30 วินาที แล้วดึงตะเกียงออก บันทึกเวลาหลังจากดึงเปลวไฟออกจากตัวอย่างจนกระทั่งไฟดับ หากดึงเปลวไฟออกมาแล้วไฟดับทันทีให้บันทึกเวลาเป็น 0 วินาที หรือรายงานว่าอยู่ในระดับ “ไม่เกิดการเผาไหม้” หากขณะเผามีเปลวไฟลามเลยขีดตำแหน่งที่ 1 ก่อนเวลา 30 วินาที หรือหลังเวลา 30 วินาที ให้จับเวลาใหม่โดยเริ่มจับที่ตำแหน่งที่ 1 แล้วรอจนกระทั่งเปลวไฟดับลงหรือถึงตำแหน่งที่ 2 ถ้าตัวอย่างติดไฟเพียงครึ่งทางแล้วดับให้รายงานว่าอยู่ในระดับ “สามารถหยุดการเผาไหม้ได้ด้วยตัวเอง” สำหรับตัวอย่างที่ติดไฟได้ต้องวัดอัตราของการลามไฟในหน่วย มม.ต่อนาทีและรายงานผลเป็น “อัตราการเผาไหม้”

วิธีการคำนวณ อัตราการเผาไหม้ (Rate of burning) = $S / (t-t_1)$

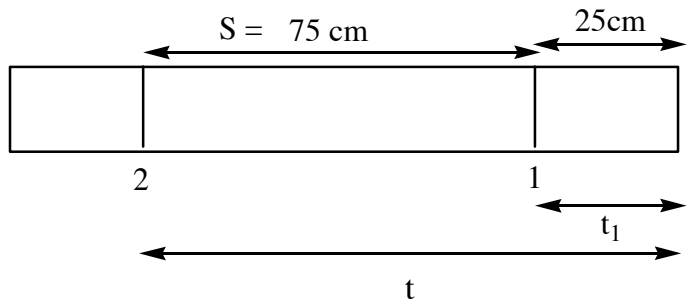
เมื่อ S คือ ความยาวชิ้นงานในช่วงที่กำหนด = 75 มม.

t_1 คือ เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้เริ่มต้นจนถึงขีดแรก (นาที)

t คือ เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้เริ่มต้นจนถึงขีดที่สอง (นาที)

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในการวิจัยนี้เตรียมแผ่นใยไม้อัด 5 สูตร แต่ละสูตรมีความหมายดังตารางที่ 1 ผลการขึ้นรูปแผ่นใยไม้อัดพบว่าสามารถขึ้นรูปแผ่นใยไม้อัดได้เกือบทุกสูตรยกเว้นสูตรที่ 5 ซึ่งเป็นโฟมพอลิสไตรีนที่ผสมเส้นใยมะพร้าวแช่ในสารละลาย H_3BO_3 ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นได้ ทั้งๆ ที่ H_3BO_3 เป็นสารเคมีที่นิยมใช้กับไม้เพราะจะหน่วงการติดไฟได้ (Qing *et al*., 2004) เนื่องจากในการทดลองนี้ใช้กาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์มี pH 13 ซึ่งเป็นสภาวะเบสกาว ฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงได้ดี (Poljansek, I., 2005) แต่ H_3BO_3 เป็นกรดมี pH อยู่ในช่วง 3.7-6.1 (ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายที่เตรียม, *www.rosemill.com/html/msds/**boric_ph***) อาจไปลดทอนความเป็นเบสของกาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ลง ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงได้น้อยหรือไม่เกิดเลย แสดงว่าชนิดของสารหน่วงไฟมีผลต่อการเลือกใช้กาวเพื่อขึ้นรูปแผ่นใยไม้อัด ดังนั้นผลการทดลองต่างๆ จึงไม่มีผลของสูตรที่ 5



ภาพที่ 1 แสดงชิ้นใยไม้อัดที่ใช้ในการทดสอบอัตราการเผาไหม้

ตารางที่ 1 สูตรของแผ่นใยไม้อัดจากเส้นใยมะพร้าวเคลือบสารกันการลามไฟและโฟมพอลิสไตรีน

สูตรที่	เส้นใย 85 /โฟม15/สารกันลามไฟ 3%	ผลการขึ้นรูปแผ่น
1	เส้นใยมะพร้าว + โฟมพอลิสไตรีน	✓
2	เส้นใยมะพร้าว + โฟมพอลิสไตรีน + $Mg(OH)_2$	✓
3	เส้นใยมะพร้าว + โฟมพอลิสไตรีน + Na_2HPO_4	✓
4	เส้นใยมะพร้าว + โฟมพอลิสไตรีน + $Mg(OH)_2$ + Na_2HPO_4	✓
5	เส้นใยมะพร้าว + โฟมพอลิสไตรีน + H_3BO_3	✗

ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพ

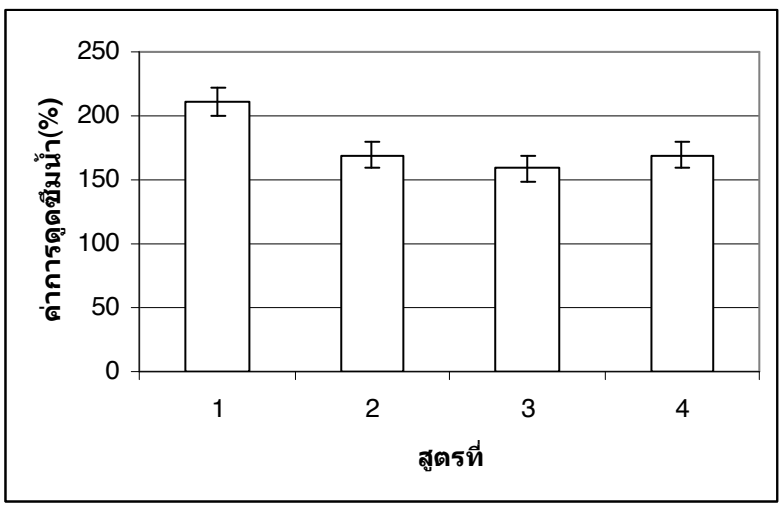
การดูดซึมน้ำ

มีรายงานมาก่อนว่าค่าการดูดซึมน้ำขึ้นกับปริมาณของเส้นใยและชนิดของเส้นใย (มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ และคณะ, 2547, 2549; มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ และประวิทย์ อรุณโชควัฒนา, 2550, 2551; ประภาพรรณ หมั่นทำ และคณะ, 2549; อัญชลี แท่นนิล และคณะ, 2550) ซึ่งในการทดลองนี้ทุกสูตรใช้เท่ากันและใช้เส้นใยมะพร้าวเช่นกัน แต่เมื่อพิจารณาภาพที่ 2 พบว่า ค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นใยไม้อัดที่ได้จากการทดลองนี้ต่างกันโดยเรียงลำดับได้ดังนี้ สูตรที่ 1 (211%) > สูตรที่ 2 (169%) เท่ากับ สูตรที่ 4 (169%) > สูตรที่ 3 (159%) ทั้งนี้อาจเนื่องจากสูตรที่ 1 เตรียมจากเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ได้ผ่านการแช่สารหน่วงไฟจึงมีค่าการดูดซึมน้ำสูงที่สุดถึง 211% เนื่องจากเส้นใยมะพร้าว มีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบหลักโดยเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เป็นหมู่มีขั้วสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ทำให้เส้นใยมะพร้าวดูดซึมน้ำได้ สำหรับสูตรที่เส้นใยมะพร้าวแช่ด้วยสารหน่วงไฟชนิดต่างๆ พบว่าแผ่นใยไม้อัดผสมโฟมพอลิสไตรีนที่เตรียมได้นั้นดูดน้ำได้ต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องจากความเป็นเบสของสารหน่วงไฟทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยมะพร้าวเปลี่ยนเป็นหมู่ $-O^-$ บางส่วน จึงทำให้ดูดซึมน้ำได้ลดลง (มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ และคณะ, 2549; Yalinkilic *et al*., 1998; Yang *et al*., H.S, 2002)

การพองตัวทางความหนา

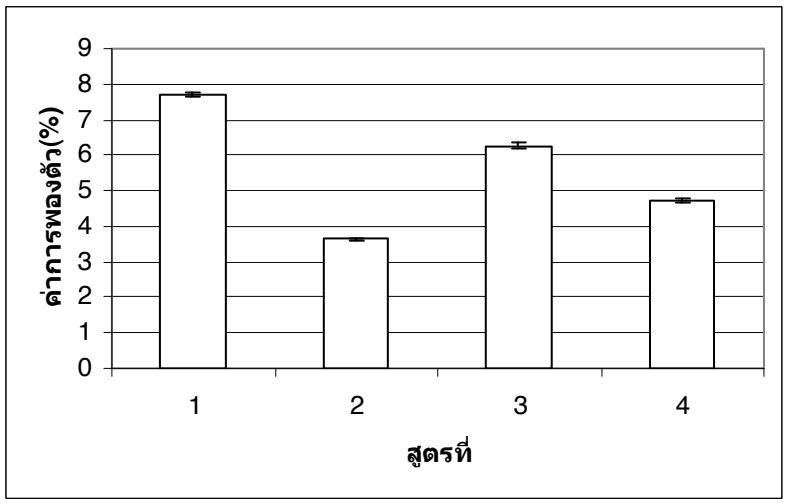
จากภาพที่ 3 พบว่า ค่าการพองตัวของแผ่นใยไม้อัดที่ได้จากการทดลองนี้ต่างกัน เรียงลำดับได้ดังนี้ สูตรที่ 1 (7.70%) > สูตรที่ 3 (6.27%) > สูตรที่ 4 (4.72%) > สูตรที่ 2 (3.64%) สูตรที่ 1 เตรียมจากเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ได้ผ่านการแช่สารหน่วงไฟมีค่าการพองตัวสูงที่สุดที่ 7.70% สำหรับสูตรที่ 2 สูตรที่ 3

การดูดซึมน้ำ



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำกับสูตรต่างๆ

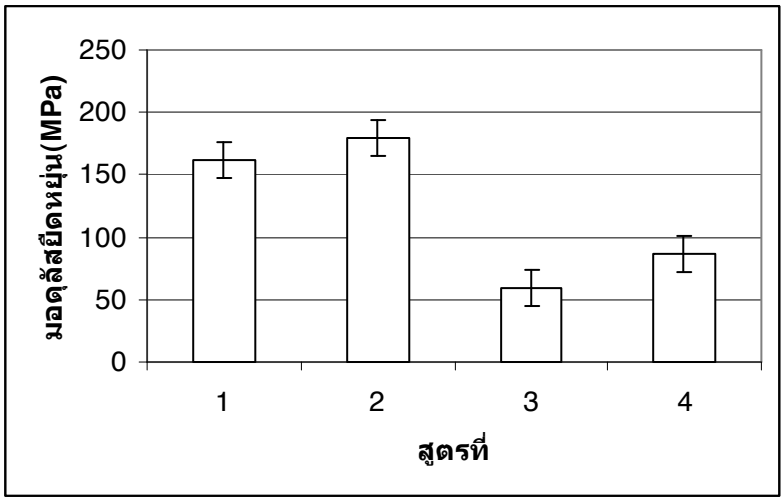
การพองตัวทางความหนา



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการพองตัวทางความหนากับสูตรต่างๆ

และสูตรที่ 4 ค่าการพองตัวแตกต่างกันอย่างชัดเจนแสดงว่าเป็นผลจากสารหน่วงไฟที่มีอยู่ สูตรที่ 2 ซึ่งเตรียมจากเส้นใยมะพร้าวผ่านการแช่สารละลายแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ($Mg(OH)_2$) มีค่าการพองตัวต่ำที่สุดที่ 3.64% ทั้งนี้เพราะสภาวะเบสเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการสร้างพันธะเชื่อมโยงของกาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ ดังนั้นแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งมีความเป็นเบสแก่ pH 9.5-10.5 จึงช่วยให้กาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์เชื่อมโยงกันได้ดี ชิ้นงานแข็งแรง ค่าการพองตัวจึงต่ำที่สุด สำหรับสูตรที่ 3 ใช้เส้นใยมะพร้าวที่ผ่านการแช่สารละลายไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) ซึ่งเป็นเบสอ่อนกว่าเล็กน้อยมี pH 9.0-9.4 พันธะเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นอาจน้อยกว่าจึงทำให้พองตัวได้มากกว่าสูตรที่ 2 สำหรับสูตรที่ 4 ซึ่งใช้เส้นใยมะพร้าวที่แช่สารหน่วงไฟผสมระหว่างแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์กับไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตพบว่า ค่าการพองตัว 4.72% ซึ่งอยู่ระหว่างสูตรที่ 2 กับสูตรที่ 3 แสดงว่าพันธะเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นในแผ่นใยไม้อัดสูตรนี้น้อยกว่าสูตรที่ 2 แต่มากกว่าสูตรที่ 3 อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบค่าการพองตัวทางความหนาระหว่างแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีสารหน่วงไฟ (สูตรที่ 1) กับแผ่นใยไม้อัดที่มีสารหน่วงไฟพบว่าแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีสารหน่วงไฟพองตัวได้มากกว่า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะหมู่ไฮดรอกซิล (–OH) ของเซลลูโลสยังอยู่ในสภาพเดิมจึงมีสมบัติดูดน้ำได้ดีแผ่นใยไม้อัดจึงพองได้มากกว่าแม้ว่าน่าจะมีพันธะเชื่อมโยงมากที่สุด

มอดุลัสยืดหยุ่น



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสยืดหยุ่นกับสูตรต่างๆ

การศึกษาสมบัติเชิงกล

มอดุลัสยืดหยุ่น

ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นหมายถึงความแข็งแรงของพันธะในชิ้นงานที่จะรับและกระจายแรงเมื่อมีแรงมาตกกระทบ พิจารณาจากภาพที่ 4 พบว่า ในบรรดาสูตรที่ผสมสารหน่วงไฟ สูตรที่ 2 ซึ่งเตรียมจากเส้นใยมะพร้าวผ่านการแช่สารละลายแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นสูงที่สุด 178.94 (± 20.05) MPa และสูตรที่ 3 ซึ่งใช้เส้นใยมะพร้าวผ่านการแช่สารละลายไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตมีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นต่ำที่สุด 58.73 (± 16.76) MPa แสดงว่าแผ่นใยไม้อัดที่มีแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์มีพันธะเชื่อมโยงมากกว่าแผ่นใยไม้อัดที่มีไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต จึงมีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นสูงกว่าสูตรที่ 4 เป็นแผ่นใยไม้อัดที่เตรียมจากเส้นใยมะพร้าวแช่สารหน่วงไฟผสมระหว่างแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์กับไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตมีค่ามอดุลัสยืดหยุ่น 86.03 (± 10.41) MPa ซึ่งอยู่ระหว่างสูตรที่ 2 กับสูตรที่ 3 ซึ่งหมายถึงพันธะเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นในสูตรที่ 4 น้อยกว่าสูตรที่ 2 แต่มากกว่าสูตรที่ 3 สำหรับสูตรที่ 1 ที่ใช้เส้นใยมะพร้าวไม่ได้ผ่านการแช่สารหน่วงไฟมีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นสูงเท่ากับ 161.28 (± 13.05) MPa ซึ่งน้อยกว่าแผ่นใยไม้อัดที่ผสมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ทั้งนี้อาจเนื่องจากแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งมีค่า Mohs hardness 2.5 (*www.magnesiaspecialties.com*) ช่วยเพิ่มความแข็งให้กับเส้นใย

สมบัติการหน่วงไฟ

จากตารางที่ 2 พบว่าสูตรที่ 2, 3 และ 4 ที่ใช้เส้นใยมะพร้าวผ่านการแช่สารละลายสารหน่วงไฟสามารถกันไฟลามได้ ส่วนสูตรที่ 1 ที่ใช้เส้นใยมะพร้าวไม่ได้ผ่านการแช่สารหน่วงไฟ

ภาพที่ 5 ภาพชิ้นงานจากการเผาไหม้ของแผ่นใยไม้อัดจากเส้นใยกับโฟมพอลิสไตรีน ก. ชิ้นทดสอบที่ไม่มีการผสมสารกันการลามไฟ ข. ชิ้นทดสอบที่หยุดการเผาไหม้ได้ด้วยตัวเอง ค. ชิ้นทดสอบที่ไม่เกิดการเผาไหม้

สามารถติดไฟได้และหาค่าอัตราการเผาไหม้ได้เท่ากับ 1.85 มม./นาที ผลการทดลองสนับสนุนว่าสารหน่วงไฟที่ติดอยู่บนเส้นใยมะพร้าวช่วยให้แผ่นใยไม้อัดผสมระหว่างเส้นใยมะพร้าวกับโฟมพอลิสไตรีนมีสมบัติเผาไหม้ช้ากว่าแผ่นใยไม้อัดที่เส้นใยไม่ได้แช่สารหน่วงไฟ

ลักษณะของชิ้นทดสอบแผ่นใยไม้อัดเมื่อเผาไฟแสดงดังภาพที่ 5 ผลจากการทดลองพบว่า สูตรที่ 1 ให้ลักษณะการติดไฟดังภาพ 5ก เผาไหม้ใช้เวลานานที่สุด ส่วนสูตรที่ 2 แผ่นใยไม้อัดที่ผสม $Mg(OH)_2$ สามารถหยุดการเผาไหม้ได้ด้วยตัวเอง เพราะติดไฟได้แต่ดับก่อนถึงระยะที่กำหนดขีดที่สองให้ลักษณะการติดไฟ

ตารางที่ 2 ชนิดของสารกันการลามไฟและลักษณะเมื่อถูกไฟของแผ่นใยไม้อัดสูตรต่างๆ

สูตรที่	อัตราส่วน CC/EPS	ชนิดและความเข้มข้นสารกันการลามไฟ (%)		อัตราการเผาไหม้ (มม./นาที)	สามารถหยุดการเผาไหม้ได้ด้วยตัวเอง	ไม่เกิดการเผาไหม้
		$Mg(OH)_2$	Na_2HPO_4			
1	85/15	-	-	1.85 ± 0. 04	-	-
2	85/15	3	-	-	✓	-
3	85/15	-	3	-	✓	-
4	85/15	1.5	1.5	-	-	✓

หมายเหตุ CC/EPS = เส้นใยมะพร้าว/โฟมพอลิสไตรีน

ตารางที่ 3 สรุปสมบัติกายภาพ สมบัติเชิงกลและการติดไฟของแผ่นใยไม้อัดสูตรต่างๆ

สมบัติ	สูตรที่				
	1	2	3	4	5
ความหนาแน่น (กรัม/ซม.^{3})	0.2806	0.3102	0.3002	0.3118	✗
มอดุลัสยืดหยุ่น MOE(MPa)	161.28±13.05	178.93±20.05	58.73±16.76	86.02±10.41	✗
การดูดซึมน้ำ 24 ชม. (%)	211.03±12.22	169.76±10.63	159.33±11.26	169.29±13.60	✗
การพองตัวทางความหนา 24 ชม. (%)	7.71±0.80	3.64±0.45	6.27±0.62	4.72±0.46	✗
สมบัติกันการลามไฟ	อัตราการเผาไหม้ 1.85±0.04 มม./นาที	สามารถหยุดการเผาไหม้ได้ด้วยตัวเอง	สามารถหยุดการเผาไหม้ได้ด้วยตัวเอง	ไม่เกิดการเผาไหม้	✗

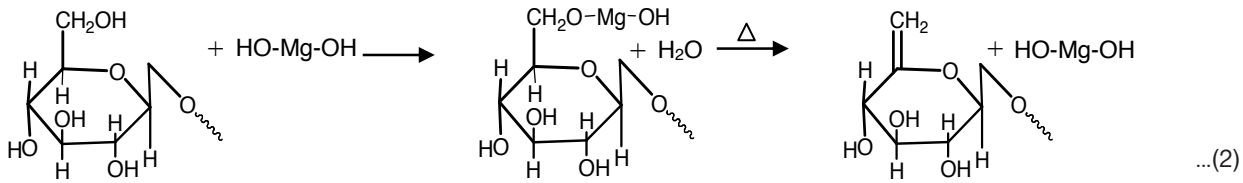
หมายเหตุ ✗ = แผ่นใยไม้อัดที่ได้ไม่สามารถนำมาทดสอบได้ เนื่องจากขึ้นรูปชิ้นงานไม่ได้

ดังภาพ 5ข $Mg(OH)_2$ มีอุณหภูมิการสลายตัวในช่วง 330-350°C และเอนทาลฟีของการสลายตัว 328 cal/g (enthalpy of decomposition, ΔH) เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนจึงเท่ากับเป็นการลดความร้อนให้กับวัตถุ ขณะเดียวกันสลายตัวให้ไอน้ำซึ่งจะทำหน้าที่เจือจางเชื้อเพลิงในวัฏภาคของก๊าซ นอกจากนี้แมกนีเซียมออกไซด์ที่เกิดขึ้นยังทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันความร้อนจากภายนอกช่วยลดการเสื่อมสภาพของชิ้นวัตถุอีกด้วย (www.magnesias pecialties. com) ปรากฏการณ์เช่นเดียวกันนี้พบในสูตรที่ 3 แผ่นใยไม้อัดที่ผสม Na_2HPO_4 สำหรับสูตรที่ 4 แผ่นใยไม้อัดที่ผสม $Mg(OH)_2$+Na_2HPO_4 พบว่าไม่เกิดการเผาไหม้เพราะแม้ว่าจะติดไฟแต่ดับเองก่อนถึงระยะที่กำหนดขีดที่หนึ่ง ให้ลักษณะการติดไฟดังภาพ 5ค แสดงว่า $Mg(OH)_2$+Na_2HPO_4 ให้ผลป้องกันไฟเสริมกัน

การสลายตัวเมื่อได้รับความร้อนของ $Mg(OH)_2$

$$Mg(OH)_2 \longrightarrow MgO + H_2O \qquad ...(1)$$

กลไกปฏิกิริยาที่คาดว่าจะเกิดระหว่าง $Mg(OH)_2$ กับเส้นใยมะพร้าวและการสลายตัวเมื่อได้รับความร้อน



...(2)

เส้นใยมะพร้าวแช่ $Mg(OH)_2$ $Mg(OH)_2$ ที่ติดบนเส้นใยมะพร้าว Mg(OH)2สลายตัวเมื่อเส้นใยมะพร้าวถูกเผา

สำหรับสารหน่วงไฟที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบมีรายงานว่า ให้ผลดีกับวัตถุที่มีออกซิเจนอยู่มากเช่นไม้หรือเส้นใยเซลลูโลสหรือพลาสติกที่มีออกซิเจนอยู่ในโครงสร้าง โดยความร้อนทำให้เกิดกรดฟอสฟอริกซึ่งจะดูดน้ำออกจากวัตถุที่ถูกเผาทำให้เกิดชาร์ (Horrocks & Price, 2001).

สรุปผลการทดลอง

สารอนินทรีย์แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ($Mg(OH)_2$) หรือไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) สามารถใช้ผสมกับเส้นใยมะพร้าว โฟมพอลิสไตรีนและกาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์แล้วผลิตแผ่นใยไม้อัดที่หยุดการเผาไหม้ได้ด้วยตนเอง ในกรณีที่นำสารหน่วงไฟ $Mg(OH)_2$ กับ Na_2HPO_4 มาผสมอย่างละ

เท่าๆ กันก็จะให้ผลเสริมกัน โดยไม่เกิดการเผาไหม้ เนื่องจากสารเหล่านี้เป็นเบสทำให้ปฏิกิริยาเชื่อมโยงของฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์เกิดได้ดี สารหน่วงไฟเหล่านี้ทำให้สมบัติการดูดซึมน้ำและสมบัติการพองตัวทางความหนาของแผ่นใยไม้อัดลดลงเมื่อเทียบกับแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีสารหน่วงไฟ ในทางตรงข้ามเมื่อใช้ H_3BO_3 ซึ่งเป็นกรดไม่สามารถขึ้นรูปแผ่นใยไม้อัดได้

เอกสารอ้างอิง

มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ สิรินันท์ วิริยะสุนทร และสุพรรณษา ออกสุข. (2547). แผ่นใยไม้อัดชนิดใหม่จากเส้นใยชานอ้อยผสมโฟมพอลิสไตรีน. *วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย, 26*(1), 99-106.

มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ และประวิทย์ อรุณโชควัฒนา. (2550). ผลของขนาดเส้นใยมะพร้าวที่มีต่อสมบัติของแผ่นใยไม้อัดทำจากเส้นใยมะพร้าวผสมโฟมพอลิสไตรีนเหลือทิ้ง. *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง, 16*(1), 47-59.

มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ และประวิทย์ อรุณโชควัฒนา. (2551). สมบัติเชิงกล สมบัติกายภาพ และการดูดซึมเสียงของแผ่นใยไม้อัดผสมเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยอ้อยและเส้นใยมะพร้าว. *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง, 17*(1), 74-85.

มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ วรางคณา วงศ์สิโรจน์กุล อภิสรา เรืองกุล และอรนลิน ศิริวรรณ. (2550). แผ่นดูดซึมเสียงจากวัสดุประกอบเส้นใยมะพร้าวผสมโฟมพอลิสไตรีน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ภาษาไทย) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 15*(2), 54-60.

ประภาพรรณ หมั่นทำ อรพิม กาญจนรัตน์ และรชตะ ละม้ายอินทร์. (2549). *โครงงานพิเศษระดับปริญญาตรี การศึกษาสมบัติการกั้นเสียง สมบัติเชิงกล และสมบัติทางกายภาพของแผ่นใยไม้อัดจากใบสับปะรด และโฟมพอลิสไตรีน* คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

อัญชลี แท่นนิล อัญชิสา วงศ์ศิลารัตน์ และโสภณา อภิชิตสกุลชัย. (2550). *โครงงานพิเศษระดับปริญญาตรีการเตรียมแผ่นใยไม้อัดจากเส้นใยกาบกล้วยน้ำว้าผสมโฟมพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วโดยใช้กาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์* คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ เกวลิน ขันธ์ชัยภูมิ และศักดิ์สิทธิ์ ดอนมอญ. (2549). การพัฒนาและดัดแปรกาบกล้วยน้ำว้าเพื่อใช้ในงานบรรจุภัณฑ์. *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง, 15*(1), 12-23.

วรธรรม อุ่นจิตติชัย และจรัล ทองสถิตย์. (2538). พฤติกรรมการดีดคืนและการหดตัวทางความหนาของแผ่นในการผลิตแผ่นใยไม้อัดฉนวนจากชานอ้อย. กลุ่มพัฒนาอุตสาหกรรมไม้ ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักงานวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้. 5-29 หน้า.

Ajiwe, V.I.E., & Okeoke, C.A. (1998). A Pilot Plant for Production of Ceiling boards from Rice Husks. *Bioresource Technology, 66*, 41-43.

Chaisupakitsin, M., & Apichatsopit, T. (2005). The Role of Recycle Waste Polystyrene Foam on Physical and Mechanical Properties of Novel Ceiling Boards. *Thammasat International Journal of Science and Technology, 10*(3), 9-17.

Chaisupakitsin, M., & Apichatsopit, T. (2006). Acoustical Properties of Ceiling Boards made from the Mixtures of Bagasses and Wasted polystyrene. *Journal of the National Research Council of Thailand, 38*(1), 1-12.

Han, G., Zhang, C., Zhang, D., Umemura, K., & Kawai, S. (1998). Upgrading of Urea-formaldehyde – bonded Reed and Wheat Straw Particleboards using Silane Coupling agents. *Journal of Wood Science, 44*, 282-286.

Horrocks, A.R., & Price, D. (2001). Fire Retardant Material *Institute of Natural Fibers*, (pp.55-300). Pozan. Poland.

Poljansek, I., & Krajnc, M. (2005). Characterization of Phenol-formaldehyde prepolymer Resins by In Line FT-IR Spectroscopy. *Acta Chimica Slovenica, 52*, 238-244.

Qing, W., Jain, L., & Jerrold, E.W. (2004). Chemical Mechanism of Fire Retardance of Boric acid on Wood. *Wood Science Technology, 38*, 375-389.

Sain, M., Park, S.H., Sukara, F., & Law, S. (2004). Flame Retardant and Mechanical properties of Natural fibre–PP composites containing Magnesium hydroxide. *Polymer Degradation and Stability. 83*(2), 363-367.

Troizsch, H.J. (1990). Flame Retardants. In R.Gachter (Ed.), *Plastics Additives Handbook* 3rd (pp.709-724) Munich Hanser Publishers.

Yalinkilic, M.K., Imamura, Y., Takahashi, M., Kalaycioglu, H., Nemli, G., Demirci, Z., & Ozdemir, T. (1998). Biological, Physical and Mechanical Properties of Particleboard Manufactured from Waste Tea Leaves. *Int. Biodeterior Biodegradation, 41*, 75-84.

Yang, H.S., Kim, D.J., & Kim, H.J. (2002). Rice Straw-Wood Particle Composite for Sound Absorbing Wooden Construction Materials. *Bioresource Technology, 86*, 117-121.

www.magnesiaspecialties.com/magshield-overview.htm

www.rosemill.com/html/msds/boric_ph