

นิพนธ์ต้นฉบับ

การลดการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ในแผ่นชั้นไม้อัดด้วยการเติมผงถ่านไม้ไผ่

The Reduction of Formaldehyde Emission in Particleboard by the Addition of Bamboo Charcoal Powder

ไทรรัตน์ เนียมสุวรรณ*

นิคม แหลมลัก

พงษ์ศักดิ์ เฮงนิรันดร์

Trairat Neimsuwan*

Nikhom Laemsak

Pongsak Hengniran

คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

*Corresponding Author, E-mail: ffortm@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 10 มิถุนายน 2557

รับลงพิมพ์ 21 กรกฎาคม 2557

ABSTRACT

Bamboo charcoal was used as bio-scavenger for formaldehyde releasing in wood particleboard to minimize the emission. The adding 5, 10 and 15 percent of powdered bamboo charcoal based on the weight of urea formaldehyde resin revealed that particleboard could decreased the formaldehyde emission only 10 percent (by mass). The advantage of bamboo charcoal as bio-scavenger is its availability and uncomplicated accessibility. The addition of powdered bamboo charcoal can decrease formaldehyde emission but it will decrease internal bonding strength of particleboard. Therefore, the use of powdered bamboo charcoal to reduce formaldehyde emission still need to improve the production process and optimize the amount of applying bamboo charcoal. Finally, it could not affect other particleboard properties.

Keywords: Bamboo charcoal, Formaldehyde emission

บทคัดย่อ

ถ่านไม้ไผ่ถูกใช้เป็นตัวดูดซับการปลดปล่อยสารระเหยฟอร์มาลดีไฮด์ในแผ่นชั้นไม้อัดเพื่อลดปริมาณสารระเหยดังกล่าว โดยทำการเติมผงถ่านไม้ไผ่ในแผ่นชั้นไม้อัดอัตราร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ จากผลการทดลองจะเห็นว่า การใช้ผงถ่านไม้ไผ่จะลดปริมาณสารระเหยฟอร์มาลดีไฮด์ได้เพียงร้อยละ 10 (โดยน้ำหนัก) แต่ข้อดีคือผงถ่านไม้ไผ่สามารถผลิตและหาได้ง่ายอย่างไรก็ตาม การเติมผงถ่านไม้ไผ่ในแผ่นชั้นไม้อัดเพื่อลดปริมาณการปลดปล่อยสารระเหยฟอร์มาลดีไฮด์ทำให้คุณสมบัติด้านการยึดติดภายในลดลงดังนั้นการเติมผงถ่านไม้ไผ่ในแผ่นชั้นไม้อัดจึงจำเป็นต้องปรับปรุงกระบวนการผลิตและหาปริมาณที่เหมาะสมที่จะไม่ทำให้คุณภาพของแผ่นชั้นไม้อัดด้านอื่นๆ ลดลง

คำสำคัญ: ถ่านไม้ไผ่ การปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์

คำนำ

การระเหยของสารฟอร์มาลดีไฮด์ในแผ่นไม้ประกอบ (Wood Composites Panel) เป็นที่รับรู้กันเป็นวงกว้างแล้วว่าเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ ถ้าได้รับแล้วจะสะสมอยู่ในร่างกาย ซึ่งอัตราการระเหยของสารฟอร์มาลดีไฮด์นี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยทั้งปัจจัยภายนอก เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ การถ่ายเทหรือหมุนเวียนของอากาศและปัจจัยภายใน เช่น ชนิดของไม้ ชนิดของกาว ปริมาณของกาว และสภาวะในการผลิตต่างๆ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม อัตราการระเหยของสารฟอร์มาลดีไฮด์จากแผ่นไม้ประกอบจะลดลงเรื่อยๆตามระยะเวลาการใช้งานของแผ่นไม้ประกอบที่เพิ่มขึ้น (Roffael, 2006)

กาวสังเคราะห์ถูกใช้เป็นตัวประสานในการผลิตแผ่นไม้ประกอบ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์และกาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ กาวสังเคราะห์เหล่านี้มีการระเหยของสารฟอร์มาลดีไฮด์ออกมาทำให้มีผลกระทบต่อสุขภาพของทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคถึงแม้ว่าจะมีสารระเหยฟอร์มาลดีไฮด์ในบรรยากาศอยู่แล้วแต่มีปริมาณน้อย คือมีประมาณ 0.1-0.2 ส่วนในพันล้านส่วน (Part Per Billion, ppb) แต่จะมากขึ้นในพื้นที่เขตเมืองทั้งจากท่อไอเสียรถยนต์ ก๊าซหุงต้ม พรม และเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ อาจทำให้มีปริมาณสูงถึง 0.4-0.8 ส่วนในล้านส่วน (Part Per Million, ppm) โดยเฉพาะในพื้นที่ที่อากาศไม่ถ่ายเท (Roffael, 1993) อันที่จริงแล้วสารระเหยฟอร์มาลดีไฮด์มีอยู่ในเนื้อไม้อยู่แล้วซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาของสารเคมีต่างๆในเนื้อไม้ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน รวมทั้งสารแทรกต่างๆด้วย (Schafer and Roffael, 2000) ซึ่งการระเหยของสารฟอร์มาลดีไฮด์จากปฏิกิริยาเหล่านี้มีประมาณ 2 - 9 พีพีที (ส่วนในล้านล้านส่วน; Part Per Trillion, ppt) (Roffael, 2006) อย่างไรก็ตาม การระเหยของสารฟอร์มาลดีไฮด์ในแผ่นไม้ประกอบส่วนใหญ่มาจากกาวสังเคราะห์ประเภทยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์และเมลามีน-ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ ส่วนกาวสังเคราะห์ชนิดอื่นๆ มีการระเหยในปริมาณน้อย ซึ่งสารระเหยฟอร์มาลดีไฮด์นี้มีผลกระทบต่อสุขภาพทำให้มีการหาวิธีลดปริมาณการ

ระเหยด้วยวิธีต่างๆ มากมาย วิธีการหาปริมาณสารฟอร์มาลดีไฮด์ในเนื้อไม้มีผลต่อการหาปริมาณสารฟอร์มาลดีไฮด์นี้ ดังนั้นระหว่างปี ค.ศ. 1970 ถึงปี 2005 ได้มีการพัฒนากรรมวิธีทดสอบปริมาณสารระเหยฟอร์มาลดีไฮด์ โดยเฉพาะในทวีปยุโรปได้กำหนดมาตรฐาน EN 120 (Perforator Method) , EN 717-1 (Chamber Method), EN 717-2 (Gas Method), EN 717-3 (Flask Method) ซึ่งมีกรรมวิธีที่แตกต่างกันไป ในประเทศญี่ปุ่นได้มีการปรับปรุงสภาวะใน EN 717-1 (Chamber Method) และทำเป็นมาตรฐานญี่ปุ่นเรียกว่า JIS A 1460 (Desiccator Method) (Roffael, 2006)

การลดปริมาณการระเหยของสารฟอร์มาลดีไฮด์ในแผ่นไม้ประกอบมีหลายวิธี เช่น การปรับเปลี่ยนส่วนผสมและสัดส่วนของกาวโดยมีการใช้เทคโนโลยีการผลิตใหม่ๆ อย่างไรก็ตามการลดสารระเหยนี้ได้มีการพยายามใน 4 แนวทางคือ 1) การปรับเปลี่ยนสูตรกาว เช่น การปรับสูตรกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ โดยเติมตัวดักจับ หรือการลดสัดส่วนระหว่างฟอร์มาลดีไฮด์และยูเรีย เป็นต้น, 2) การเลือกใช้กาวประเภทอื่นๆ เช่น กาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ ที่มีการปลดปล่อยสารประเภทนี้น้อยกว่า, 3) การเลือกใช้กาวที่ไม่มีฟอร์มาลดีไฮด์เป็นส่วนผสม เช่น กาวเอ็มดีไอ (Methylene Diphenyl Diisocyanate, MDI) และ 4) การเลือกใช้กาวที่ได้มาจากวัสดุธรรมชาติ เช่น กาวที่ทำจากถั่วเหลือง (Roffael, 2006)

ถ่านไม้ไม่มีลักษณะพิเศษคือ มีรูพรุนจำนวนมาก กล่าวคือมีพื้นที่ผิวประมาณ 300 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งมากกว่าถ่านจากไม้ใบกว้างทั่วไป ที่มีพื้นที่ผิวเพียง 5 ตารางเมตรต่อกรัมเท่านั้น แต่อาจขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆอีกเช่น อุณหภูมิในการเผา เป็นต้น (Mingjie, 2004; Ngernyen *et al.*, 2006; Keech *et al.*, 2005) ส่วนของขนาดของรูพรุนแบ่งตามมาตรฐานของสหภาพเคมีบริสุทธิ์และเคมีประยุกต์ระหว่างประเทศ (International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC) ได้เป็น (1) รูพรุนขนาดเล็ก (micropore) มีขนาดความกว้างน้อยกว่า 2 นาโนเมตร, (2) รูพรุนขนาดกลาง (mesopore) มีขนาดความกว้าง 2-50 นาโนเมตร และ (3) รูพรุนขนาด

ใหญ่ (macropore) มีขนาดความกว้างมากกว่า 50 นาโนเมตร (Howe-Grant, 1992) หรืออาจแบ่งตามพื้นที่ผิวได้ดัง Figure 1 ได้ดังนี้ รูพรุนขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวน้อยกว่า 50 ตารางไมครอนต่อกรัม รูพรุนขนาดกลางมีพื้นที่ผิว 50-250 ตารางไมครอนต่อกรัม และรูพรุนขนาดใหญ่มีพื้นที่ผิวมากกว่า 250 ตารางไมครอนต่อกรัม (Keech *et al.*, 2005) อย่างไรก็ตามถ่านไม้ไฟจะมีขนาดรูพรุนกว้างประมาณ 4-10 นาโนเมตร (Long *et al.*, 2010) ซึ่งเป็นรูพรุนขนาดกลาง ถ่านไม้มีหลายประเภทขึ้นอยู่กับลักษณะการนำไปใช้งานเช่น ถ่านที่ใช้ในการปิ้งย่าง ถ่านไม้หุงต้ม ถ่านสุภาพและถ่านที่ใช้ในลักษณะอื่น แต่ถ่านที่จะนำมาใช้ในการทดลองนี้คุณสมบัติน่าจะสอดคล้องกับถ่านสุภาพที่มีคุณสมบัติในการดูดซับที่ดี อย่างไรก็ตามคุณสมบัติด้านต่างๆ ของถ่านไม้ก็เป็นเรื่องที่น่าสนใจในการนำเสนอ ถ้าเป็นถ่านไม้ปิ้งย่างต้องให้ค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 7,000 แคลอรีต่อกรัมในขณะที่

ถ่านไม้หุงต้มต้องไม่น้อยกว่า 6,000 แคลอรีต่อกรัม ถ่านไม้เกินร้อยละ 3 สำหรับถ่านไม้ปิ้งย่าง และไม้เกินร้อยละ 8 สำหรับถ่านไม้หุงต้ม สารระเหยไม้เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนักสำหรับถ่านไม้ปิ้งย่างและไม้เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักสำหรับถ่านไม้หุงต้ม ของ มก.-ช.ก.ส (Kasetsart University-Bank for Agriculture and Agricultural Cooperatives, 2006) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นถ่านจากไม้ใบกว้าง จาก Table 1 แสดงคุณสมบัติของถ่านไม้ชนิดต่างๆ จะเห็นว่าคุณสมบัติของถ่านไม้ยูคาลิปตัสแตกต่างกับถ่านไม้ไฟพอสมควรเช่น ถ่านไม้ไฟมีค่าสารระเหยน้อยกว่าถ่านไม้ใบกว้าง แต่ค่าคาร์บอนเสถียรและค่าความร้อนมากกว่าถ่านไม้ใบกว้าง ทั้งนี้ยังต้องขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการผลิตด้วย ถ่านไม้ไฟมีปริมาณรูพรุนซึ่งมากกว่าถ่านไม้ใบกว้าง (Table 1 และ 2) ทำให้ถ่านไม้ไฟน่าจะมีคุณสมบัติที่ดีในการดูดซับสารระเหยในแผ่นชั้นไม้อัด

Table 1 Major properties of collected data for various charcoals.

Type	Properties						Reference
	AD (g/cm ³)	MC (%)	Ash (%)	VM (%)	FC (%)	GHCC (Cal/g)	
Eucalyptus Char	0.51	5.33	2.88	15.26	76.46	7,162	Chotikhun and Laemsak (2009);
Bamboo Char	0.65	7.0	3.97	11.07	85.02	5,777	Mingjie (2004); Pohan <i>et al.</i> (2010)

Remarks: AD = Apparent Density, MC = Moisture Content, VM = Volatile Matter, FM = Fixed Carbon, GHCC = Gross Heat Combustion

Table 2 Physical properties of collected data for various charcoals.

Type	Properties		Description	Reference
	BET surfac area (m ² /g)	Total pore volume (cm ³ /g)		
Eucalyptus Char	387	1.044	Continuous Furnace	Villegas <i>et al.</i> , 2006;
Bamboo Char	836-971	-	-	Asada <i>et al.</i> , 2002; Hsieh <i>et al.</i> , 2007

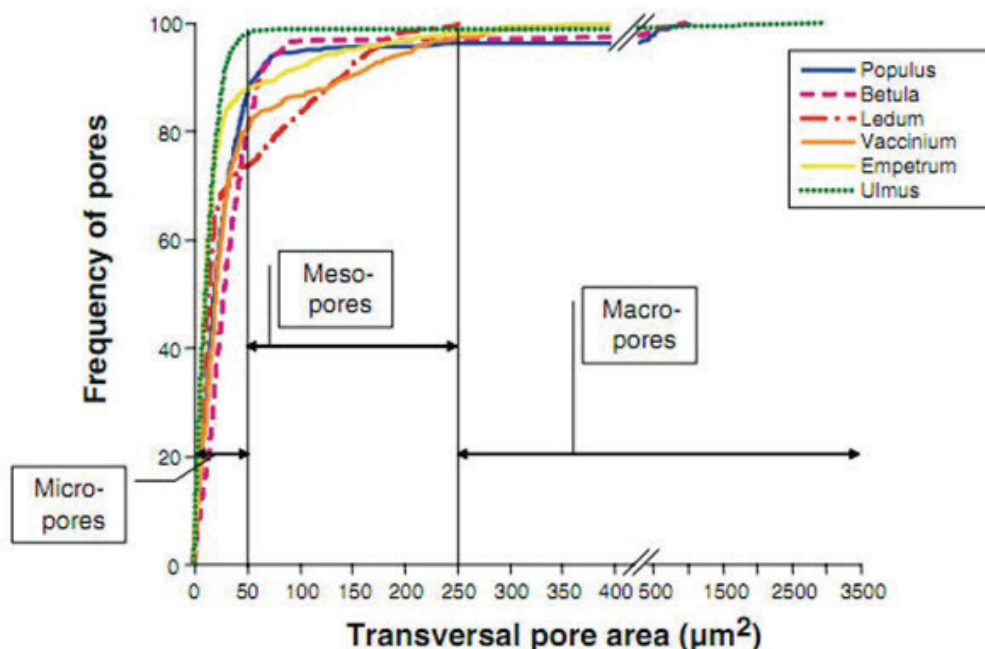


Figure 1 Frequency of pores per area of wood charcoal of different plant species (Howe-Grant, 1992).

ปัจจุบันในตลาดมีการที่มีส่วนผสมของฟอรัลดีไฮด์อยู่ 3 ชนิดหลักๆคือ ยูเรียฟอรัลดีไฮด์ ฟีนอลฟอรัลดีไฮด์และเมลามีนยูเรียฟอรัลดีไฮด์ ซึ่งในการลดปริมาณสารระเหยฟอรัลดีไฮด์นั้นอาจผสมกับตัวดักจับ (Scavenger) ในกาวยสังเคราะห์โดยตรงเพื่อลดปริมาณสารระเหยตัวดักจับที่นิยมใช้มี 2 ตัวคือ เมลามีนและเฮกซามีน ยังมีอีกประเภทหนึ่งที่ใช้หลังจากอัดเป็นแผ่นไม้ประกอบแล้วคือ สารประกอบแอมโมเนีย ตัวดักจับเหล่านี้สามารถลดสารระเหยฟอรัลดีไฮด์ได้ประมาณ 2 - 10 เท่า แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีผลการยืนยันแน่นอนว่าการใช้ตัวดักจับเป็นการลดการระเหยหรือเป็นแค่การชะลอเวลาการระเหยเท่านั้น (Healthy Building Network, 2008)

สารเคมีที่มีผลต่อการลดปริมาณฟอรัลดีไฮด์ในแผ่นชั้นไม้อัด อาจมาได้ 4 แหล่งคือ กาวยสังเคราะห์ สารเติมก่อนทำการอัดร้อนทั้งเติมในกาวยหรือผสมกับชั้นไม้ สารเติมหลังจากอัดร้อน และสารที่มีอยู่ในเนื้อไม้ (Roffael, 2008) ซึ่งการเติมผงถ่านไม้ไผ่เป็นการเติม

ก่อนทำการอัดร้อนเพื่อใช้เป็นสารดูดซับสารระเหยในระหว่างอัดร้อนตามลักษณะเด่นของผงถ่านไม้ไผ่มีรูพรุนมาก (รายละเอียดตาม Table 2) จากการทดลองของ Eom *et al.* (2006) ดังแสดงใน Table 3 และ 4 จะเห็นว่าการเติมสารพวกถ่าน แกลบและแทนนินสามชนิดนี้จะลดปริมาณสารฟอรัลดีไฮด์ที่อยู่ในแผ่นชั้นไม้อัดได้ซึ่งแทนนินจะลดปริมาณฟอรัลดีไฮด์โดยใช้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของแทนนินและกาวยทำให้ปริมาณฟอรัลดีไฮด์ที่จะระเหยลดลง ขณะที่แกลบและถ่านซึ่งมีพื้นที่ผิวมากทำให้มีการยึดเหนี่ยวกับสารระเหยฟอรัลดีไฮด์ได้มาก การยึดเหนี่ยวในลักษณะนี้อาจจะมีผลทำให้ค่าการต้านแรงดัดและพันธะการยึดเหนี่ยวภายในแผ่นชั้นไม้อัดลดลง อย่างไรก็ตาม จาก Table 3 และ 4 จะเห็นได้ว่าการเติมแกลบและถ่านทำให้ค่าการยึดติดภายในเพิ่มขึ้นเป็น 1.6 เมกะพาสคาล และค่าการต้านแรงดัดลดลงเป็น 6.7 และ 6.3 เมกะพาสคาลทั้งการเติมแกลบและผงถ่าน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอิทธิพลของความแปรปรวนด้านวัตถุดิบในการผลิตแผ่นชั้นไม้อัด

เช่น ความหนาและสภาวะต่างๆ ในการผลิต ส่วนค่าการดูดซับน้ำและการพองตัวด้านความหนาจะเพิ่มขึ้นจากการเติมแกลบและผงถ่านในแผ่นขึ้นไม้อัดอาจเนื่องมาจากแกลบ และถ่านทำให้มีช่องว่างในการดูดซับน้ำในแผ่นขึ้นไม้อัดมากขึ้น ส่วนปริมาณการปลดปล่อยสารระเหยฟอร์มาลดีไฮด์จากการเติมแทนนิน แกลบและผง

ถ่านก็ลดลง ถึงแม้ว่าจะไม่ผ่านมาตรฐานของญี่ปุ่นระดับ F**** ที่จะต้องมีปริมาณสารระเหยฟอร์มาลดีไฮด์ในแผ่นขึ้นไม้อัด 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือ 0.04 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามวิธีใช้โถดูดความชื้น (Desiccator) และใช้ตู้ปรับสภาวะขนาดเล็ก (Small Chamber) ก็ตาม (Sundman *et al.*, 2007)

Table 3 Collected data for particleboard with various additives (Eom *et al.*, 2006).

Type	Properties ^{2,3}				
	MOR (MPa)	MOE (GPa)	IB (MPa)	TS (%)	WA (%)
No Treatment	6.86	not report	1.27	14	35
Tannin Added	8.62	not report	1.66	52	36
Rice Husk Added	6.66	not report	1.56	42	41
Wood Charcoal Added	6.27	not report	1.56	79	56
Experiment ¹	8.17	1.16	0.54	4.91	11.37

Remarks: ¹ Density = 0.67 g/cm³

² MOR = Modulus of Rupture, MOE = Modulus of Elasticity, IB = Internal Bond Strength, TS = Thickness Swelling, WA = Water Absorption

³ Average values

Table 4 Collected data for particleboard with various additives (Eom *et al.*, 2006).

Type	Properties ¹			Source
	Desiccator method (mg/l)	Small chamber method (mg/m ² h)	Flask method (mg/kg)	
No Treatment	0.95	0.043	-	Eom <i>et al.</i> , 2006
Tannin Added	0.84	0.037	-	Eom <i>et al.</i> , 2006
Rice Husk Added	0.65	0.038	-	Eom <i>et al.</i> , 2006
Charcoal Added	0.38	0.037	-	Eom <i>et al.</i> , 2006
Charcoal Added	-	-	2.46	Experiment

Remark: ¹ Average values

การลดปริมาณสารระเหยฟอร์มาลดีไฮด์ที่ทำได้ง่ายและไม่ซับซ้อนมากนัก คือ การเติมตัวดักจับในสูตรกาว ซึ่งในปัจจุบันมีความพยายามในการเติมตัวดักจับชีวภาพ (Bio-Scavenger) เช่น แกลบ แทนนิน และถ่าน เพื่อช่วยดูดซับหรือย่อยสลายฟอร์มาลดีไฮด์โดยการวิจัยนี้จะใช้ถ่านที่ทำจากไม้ไผ่ซึ่งมีคุณสมบัติเด่นด้าน

การดูดซับ เนื่องจากมีรูพรุน จำนวนมากจึงเหมาะในการทำเป็นตัวดูดซับหรือตัวดักจับฟอร์มาลดีไฮด์ ดังนั้นการวิจัยนี้เพื่อหาความเป็นไปได้ในการลดการปลดปล่อยสารระเหยฟอร์มาลดีไฮด์ของแผ่นขึ้นไม้อัดโดยการผสมผงถ่านไม้ไผ่ในกระบวนการผลิตโดยการหาสัดส่วนที่เหมาะสมในเติมผงถ่านไม้ไผ่ในแผ่นขึ้นไม้อัด

อุปกรณ์และวิธีการ

แผนการทดลอง

การวิจัยนี้ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) โดยใช้ชิ้นไม้ยางพาราจากโรงงานอุตสาหกรรม ใช้กาวยูเรียฟอर्मัลดีไฮด์ชนิด E1 ในปริมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักชิ้นไม้บดแห้งสำหรับชั้นผิวและร้อยละ 8 ของน้ำหนักชิ้นไม้บดแห้ง

สำหรับชั้นไส้ ใช้พาราฟินแว็กซ์ปริมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนักชิ้นไม้บดแห้งทั้งชั้นผิวและชั้นไส้ ใช้สารเร่งแข็งคือ แอมโมเนียมคลอไรด์ ปริมาณร้อยละ 1 ของน้ำหนักของกาวทั้งชั้นผิวและชั้นไส้ โดยทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที โดยปริมาณถ่านที่ผสมในแผ่นชั้นไม้อัดที่ปริมาณ 4 ระดับคือ ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักกาว โดยทำการทดลอง 5 ซ้ำ ดังแสดงใน Table 5

Table 5 Experimental design of powdered bamboo charcoal adding in particleboard as additives.

<i>Panel Code</i>	<i>Bamboo Charcoal Content</i>
A	0 %
B	5 %
C	10 %
D	15 %

Remarks:

Resin system

- Surface resin content = 10 %
- Core resin content = 8 %
- Surface and core wax content = 3 %

Hot press system

- Pressing temperature = 160 °C
- Press closing time = 30 seconds
- Press time = 3 minutes

วัตถุดิบ

ชิ้นไม้ยางพาราจากโรงงานอุตสาหกรรมมีความชื้นร้อยละ 3-5 และกาวยูเรียฟอर्मัลดีไฮด์ชนิด E1 พาราฟินแว็กซ์ และสารเร่งแข็งจากโรงงานอุตสาหกรรม ผงถ่านไม้ไผ่ได้จากการเผาไผ่ตง อายุ 3 ปีที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียสต่อวินาที นาน 40 นาทีและบดผงถ่านให้ได้ขนาด 40-60 เมช

การเตรียมตัวอย่าง

1. นำชิ้นไม้ยางพาราที่แยกชั้นผิวและชั้นไส้จากโรงงานอุตสาหกรรมมาอบอีกครั้งเพื่อปรับความชื้นให้ได้ร้อยละ 3-5
2. นำชิ้นไม้มาผสมกาวในเครื่องผสมแบบถ่มหมุน โดยแยกชั้นผิวและชั้นไส้ในอัตราส่วนชั้นผิวร้อยละ 40 และชั้นไส้ร้อยละ 60 โดยใช้กาวยูเรียฟอर्मัลดีไฮด์ พาราฟินแว็กซ์ สารเร่งแข็งและผงถ่านไม้ไผ่

ผสมด้วยเครื่องผสมตามอัตราส่วน ดังแสดงใน Table 5

3. นำชิ้นไม้ที่ผสมกาวและสารอื่นๆแล้วทำเป็นแผ่นโดยใช้กลึงทำแผ่นขนาด 35×35 เซนติเมตร
4. นำแผ่นที่ได้มาทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ด้วยแรงอัด 250 เมกะพาสกาล เป็นเวลา 3 นาที ให้ได้แผ่นชั้นไม้อัดมีความหนาแน่น 0.65 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรและมีความหนา 10 มิลลิเมตร
5. หลังจากอัดร้อน ทำการปรับสภาวะของแผ่นชั้นไม้อัดโดยการผึ่งในห้องควบคุมที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65

การทดสอบคุณสมบัติแผ่นชั้นไม้อัด

1. ทำการทดสอบคุณสมบัติของแผ่นชั้นไม้อัด โดยทดสอบค่าการต้านแรงฉีก (Modulus of Rupture) ค่าความแข็งดึง (Modulus of Elasticity) การยึดติดภายใน (Internal Bonding) ค่าการดูดซับน้ำ (Water Absorption) ค่าการพองตัวทางด้านความหนา (Thickness Swelling)

ตามมาตรฐาน มอก. 876 - 2547 (TIS, 2004) ค่าการ
ปลดปล่อยสารระเหยฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde

Emission) ตามมาตรฐาน EN 717-3 (EN Standard,
1996) โดยทำการตัดชิ้นทดสอบดัง Figure 2

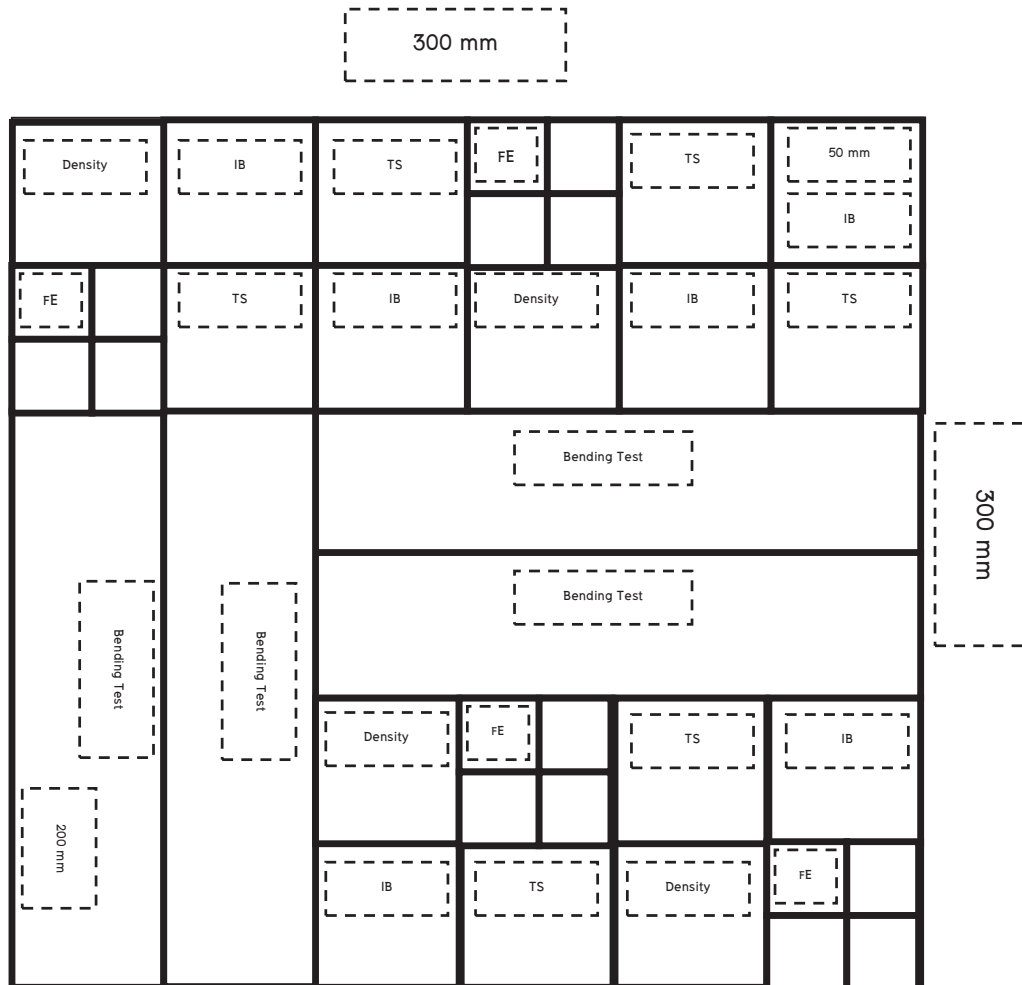


Figure 2 Cutting diagram for properties testing of particleboard

ผลและวิจารณ์

อิทธิพลของการเติมผงถ่านไม้ไฟต่อคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นชั้นไม้อัด

การศึกษานี้ได้ทำการควบคุมอุณหภูมิเวลาในการอัดและแรงอัดให้คงที่เพื่อพิจารณาคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นชั้นไม้อัด การผสมผงถ่านไม้ไฟในปริมาณต่างๆ ในแผ่นชั้นไม้อัดมีคุณสมบัติต่างๆ ดังแสดงใน Table 6 จะเห็นว่าในการเติมผงถ่านไม้ไฟในแผ่นชั้น

ไม้อัดปริมาณร้อยละ 15 โดยน้ำหนักของกาวค่าการต้านแรงดัด (Strenth, MOR) อยู่ที่ 7.51 - 8.99 เมกะพาสคาล และค่าความแข็งดิ่ง (Stiffness, MOE) อยู่ที่ 1024.55 - 1315.73 เมกะพาสคาล จะเห็นได้ว่าเมื่อเติมผงถ่านเข้าไปในแผ่นชั้นไม้อัดทำให้ค่าการต้านทานแรงดัดและค่าความแข็งดิ่งเพิ่มขึ้นเล็กน้อยประมาณร้อยละ 16 และ 0.5 ตามลำดับ ส่วนค่าการยึดติดภายใน (Internal Bond, IB) อยู่ที่ 0.47 - 0.63 เมกะพาสคาล จะเห็นว่าเมื่อเติมผงถ่านค่าการยึดติดจะลดลงประมาณร้อยละ 12 แต่

การเพิ่มขึ้นและลดกลั่นเป็นไปอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผงถ่านที่เติมเข้าไปในแผ่นขึ้นไม้อัดทำหน้าที่เหมือนตัวยับยั้ง (Inhibitor) การสร้างแรงยึดเหนี่ยวของกาวและขึ้นไม้อัดดังแสดงใน Figure 3-5 อย่างไรก็ตาม ค่าความสามารถในการยึดติดภายในในแผ่นขึ้นไม้อัดนี้อาจขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความหนาแน่นของแผ่นขึ้นไม้อัด ปริมาณกาวและรูปร่างลักษณะของขึ้นไม้อัด (Maloney, 1993) ถึงแม้ว่าจะทำการควบคุมปัจจัยต่างๆให้คงที่ แต่ความแปรปรวนของปัจจัยต่างๆอาจมีอิทธิพลต่อค่าการยึดติดภายในมากกว่าปริมาณผงถ่านที่เติมเข้าไป

การเติมผงถ่านในแผ่นขึ้นไม้อัดมีผลทำให้ค่าการต้านแรงดัดและค่าความยืดหยุ่นเพิ่มเล็กน้อยซึ่งแตกต่างจากการเติมสารแทนนินที่เป็นสารประเภท

เทอร์โมเซตติง (Thermosetting) ที่ให้ค่าการต้านแรงดัดและความแข็งดิ่งเพิ่มขึ้นมาก ส่วนค่าการยึดติดภายในแสดงถึงประสิทธิภาพการยึดติดภายในของแผ่นขึ้นไม้อัดโดยเฉพาะชั้นไส้ ซึ่งค่านี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ปริมาณและการกระจายของกาว ลักษณะรูปร่างของขึ้นไม้อัด เป็นต้น อย่างไรก็ตาม Eom *et al.* (2006) รายงานว่าปริมาณถ่านที่เติมลงไปมีผลต่อค่าการยึดติดภายในน้อยมาก ซึ่งค่าการยึดติดภายในมีความอ่อนไหวต่อ ปริมาณและการกระจายของกาว ลักษณะรูปร่างของขึ้นไม้อัดเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามผงถ่านมีปริมาณสารอินทรีย์อยู่มากซึ่งปริมาณถ่านที่เติมเข้าไปอาจไปยับยั้งการเซตตัวของกาวได้ ซึ่งจะทำให้การสร้างความแข็งแรงในบอร์ดลดลง (Kim *et al.*, 2006)

Table 6 The properties of particleboard mixed with bamboo charcoal powder.

Panel Code	Value	Density g/cm ³	Bending		IB MPa	TS %	WA %	FE
			MOR	MOE				Flask Value
			MPa	MPa				mg/kg
A	Ave.	0.62	7.51 ^A	1024.55 ^A	0.63 ^A	5.69 ^A	12.86 ^A	4.48 ^A
	Std.	0.06	3.37	360.55	0.12	1.36	0.98	0.80
	n	5	5	5	5	5	5	6
B	Ave.	0.68	7.47 ^A	1079.59 ^A	0.56 ^A	4.78 ^A	11.15 ^A	3.99 ^A
	Std.	0.04	1.00	161.72	0.08	0.48	2.61	0.43
	n	5	5	5	5	5	5	6
C	Ave.	0.67	8.70 ^A	1209.60 ^A	0.47 ^A	4.95 ^A	10.52 ^A	3.53 ^A
	Std.	0.04	2.21	214.12	0.20	0.51	1.61	0.23
	n	5	5	5	5	5	5	6
D	Ave.	0.65	8.99 ^A	1315.73 ^A	0.50 ^A	4.23 ^B	10.94 ^A	3.54 ^B
	Std.	0.04	1.50	149.67	0.18	0.67	2.22	0.26
	n	5	5	5	5	5	5	6

Remarks: Averages in the same column followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 probability level,

Ave. = Average, Std.= Standard deviation, n = Sample size,

MOR = Modulus of Rupture, MOE = Modulus of Elasticity, IB = Internal Bond Strength, TS = Thickness Swelling,

WA = Water Absorption, FE = Formaldehyde Emission, Target density: 0.65 g/cm³,

Face resin content 10 %, Core resin content: 8%, Face wax content: 3 %, Core wax content: 3%, Shell Ratio = 40:60 (Face:Core)

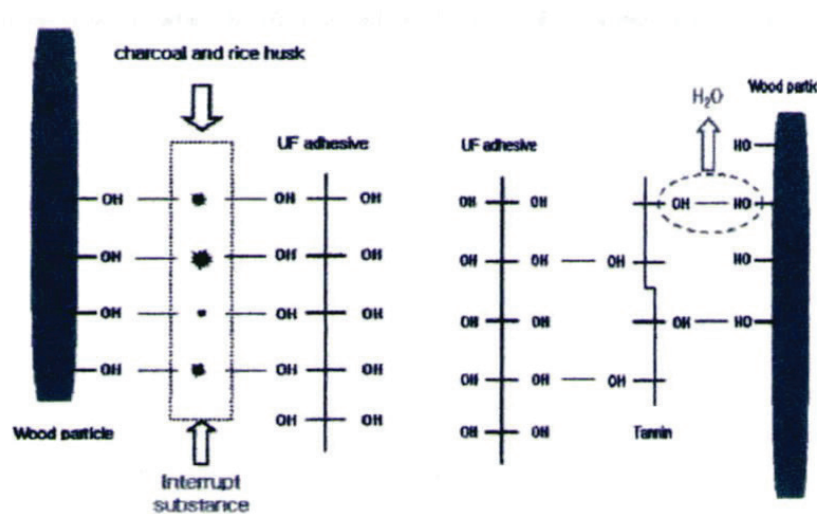


Figure 3 Schematic diagrams of adhesion between rice husk, charcoal and tannin with UF adhesive (Kim *et al.*, 2006).

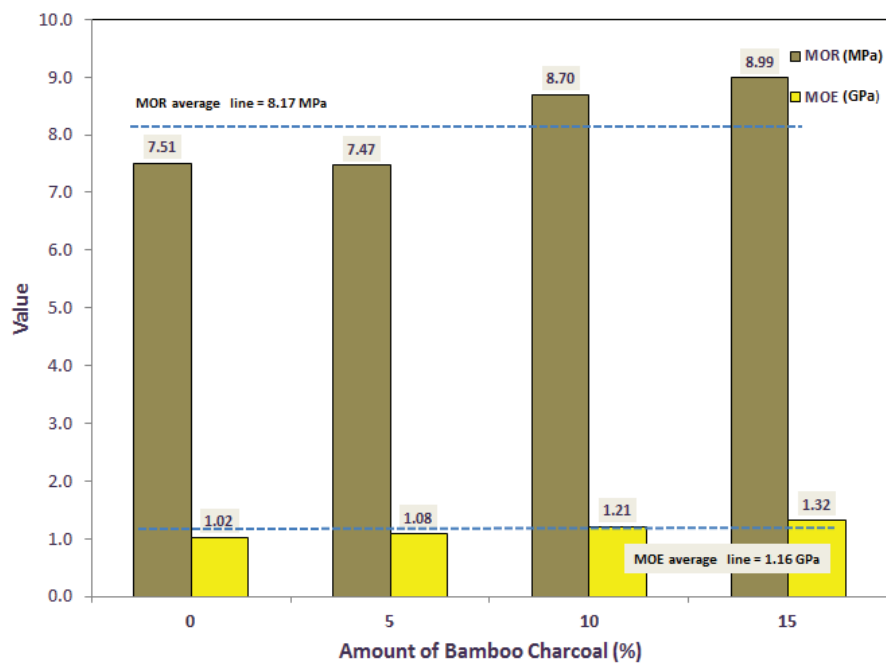


Figure 4 Strength and stiffness of particleboard with varied content of bamboo charcoal as Additives.

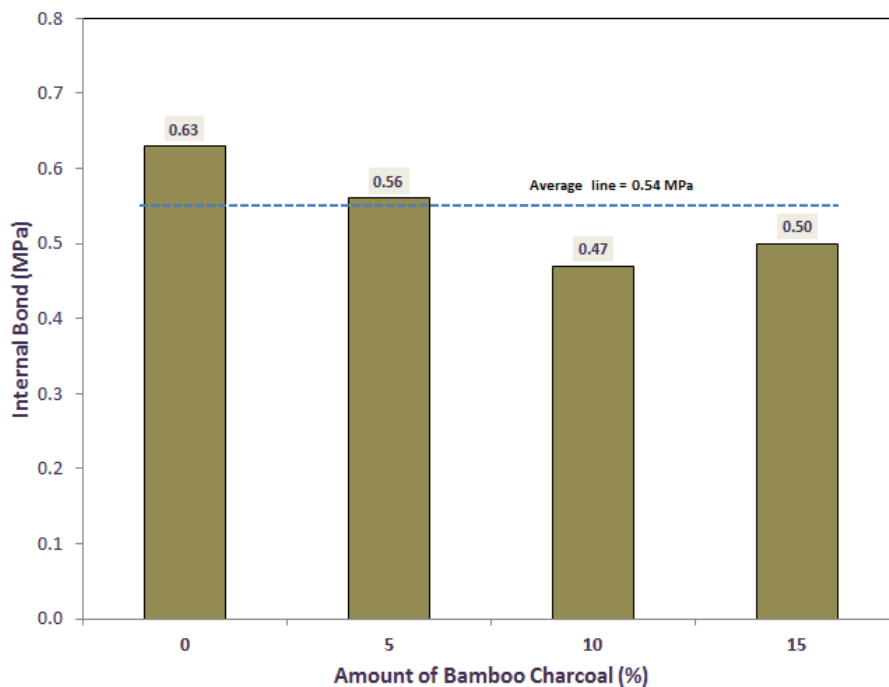


Figure 5 Internal bonding properties of particleboard with varied content of bamboo charcoal as Additives.

อิทธิพลของการเติมผงถ่านต่อคุณสมบัติเชิงกายภาพของแผ่นขึ้นไม้อัด

คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) ของแผ่นขึ้นไม้อัดที่เติมผงถ่านไม้ไผ่ในที่นี้หมายถึงค่าการพองตัวด้านความหนา (Thickness Swelling) ค่าการดูดซับน้ำ (Water Absorption) และค่าความหนาแน่นซึ่งคงที่ 650 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จาก Table 6 และ Figure 6 จะเห็นว่า แผ่นขึ้นไม้อัดที่เติมผงถ่านไม้ไผ่ที่ร้อยละ 15 มีค่าการพองตัวด้านความหนาอยู่ที่ร้อยละ 4.23 – 5.69 และการดูดซับน้ำอยู่ที่ร้อยละ 10.52- 12.86 จะเห็นว่าการเติมผงถ่านไม้ไผ่ในแผ่นขึ้นไม้อัดสามารถลดค่าการพองตัวด้านความหนาและค่าการดูดซับน้ำได้ประมาณร้อยละ 11.50 และ 1.88 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับการไม่เติมผงถ่านไม้ไผ่อาจ

พอสรุปได้ว่าค่าการพองตัวทางด้านความหนาและการดูดซับน้ำจะลดลงเมื่อเติมผงถ่านมากขึ้นซึ่งการพองตัวทางด้านความหนาของแผ่นขึ้นไม้อัดอาจมีสาเหตุมาจาก 3 ทางคือการพองตัวของขึ้นไม้อัดเองจากความชื้นที่เกิดขึ้นระหว่างการอัดรีด การพองตัวเนื่องจากการดูดซับน้ำ และการพองตัวเนื่องจากความชื้นในตัวของบอร์ดหรืออาจเป็นไปได้ว่าการพองตัวทางด้านความหนาของแผ่นขึ้นไม้อัดที่เติมผงถ่านไม้ไผ่ได้รับอิทธิพลส่วนใหญ่มาจากความชื้นภายในตัวบอร์ดซึ่งการเติมผงถ่านไม้ไผ่ลงไปในแผ่นขึ้นไม้อัดน่าจะลดความชื้นที่เกิดขึ้นในบอร์ดโดยถ่านอาจจะดูดซับทำให้ช่องว่างในบอร์ดและความชื้นน้อยลงทำให้ค่าการพองตัวทางด้านความหนาและการดูดซับน้ำน้อยลงไปด้วย

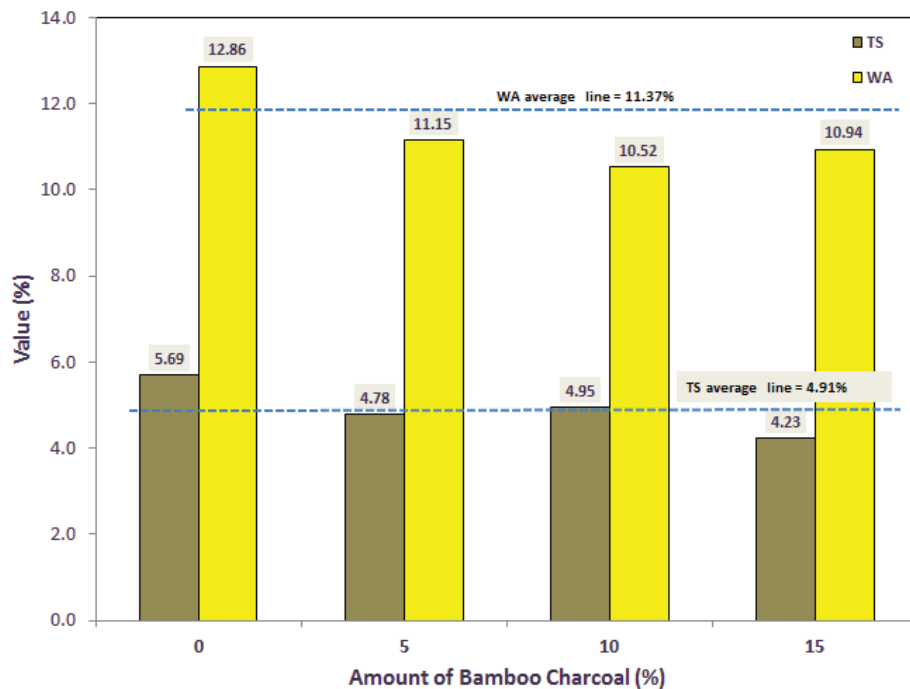


Figure 6 Water absorption and thickness swelling of particleboard with varied content of bamboo charcoal as additives.

อิทธิพลของผงถ่านไม้ไฟต่อปริมาณการปลดปล่อยสารระเหยฟอร์มัลดีไฮด์ของแผ่นชั้นไม้อัด

การเติมผงถ่านไม้ไม่สามารถลดปริมาณสารระเหยฟอร์มัลดีไฮด์ได้ดี (Eom *et al.*, 2006) ซึ่งจะต้องเติมมากถึงร้อยละ 15 แต่การเติมผงถ่านไม้ไฟในแผ่นชั้นไม้อัดสามารถลดปริมาณสารระเหยฟอร์มัลดีไฮด์ได้เพียงเล็กน้อย (Table 6 และ Figure 7) ในการเติมปริมาณผงถ่านไม้สามารถลดปริมาณสารฟอร์มัลดีไฮด์ได้ถึงร้อยละ 60 และ 14 เมื่อทดสอบด้วยวิธีใช้โถดูดความชื้น (Desiccator) และใช้ตู้ปรับสภาวะขนาดเล็ก (Small Chamber) ตามลำดับ ซึ่งการเติมผงถ่านไม้ไฟทำให้ปริมาณสารฟอร์มัลดีไฮด์ลดลงเพียง 10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทดสอบด้วยวิธีใช้ขวด (Flask Method) ถึงแม้ว่าถ่านไม้ไฟจะมีหมู่ไฮดรอกซีที่ทำหน้าที่ดูดซับสารระเหยฟอร์มัลดีไฮด์อยู่น้อย แต่ ผงถ่านไม้ไฟก็มีรูพรุนขนาดกลาง (Mesopore) (แบ่งตามมาตรฐานของ

สหภาพเคมีบริสุทธิ์และเคมีประยุกต์ระหว่างประเทศ (International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC) อยู่เป็นจำนวนมากทำให้ดูดซับสารระเหยฟอร์มัลดีไฮด์ได้ดี (Kim *et al.*, 2006) จากการทดลองของ Eom *et al.* (2006) การเติมผงถ่านไม้สามารถลดปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ได้ดี เมื่อทดสอบด้วยวิธีใช้โถดูดความชื้นซึ่งเป็นการวัดปริมาณการระเหยของสารฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำทำให้ได้ค่าที่ลดลงในการวัดปริมาณสารระเหยซึ่งปริมาณที่ลดลงนี้บางส่วนอาจถูกดูดซับโดยถ่านที่เติมเข้าไปผลจากการทดลองนี้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการทดลองของ (Eom *et al.*, 2006) ถึงแม้ว่าจะทดสอบด้วยวิธีใช้ขวดตามมาตรฐาน EN 717-3 (EN Standard, 1996) อย่างไรก็ตามวิธีการประเมินที่แตกต่างกัน มีความแปรปรวนเป็นอย่างมาก (Sundman *et al.*, 2007) ความแตกต่างของกรรมวิธีวิเคราะห์ฟอร์มัลดีไฮด์ได้แสดงไว้ใน Table 7

Table 7 Comparison of method to evaluation of formaldehyde emission in particleboard.

Method	Detail				
	Standard	Sample loading factor	Class	German Regulations	Source
Chamber	EN 717-1	1 m ² /m ³	E1	≤ 0.1 ppm	Roffael, 2006
Gas analysis	EN 717-2	0.4 x 0.05 m	E1	≤ 3.5 mg/h*m ²	
Flask method	EN 717-3	0.025 x 0.025 m, 20 g	E1	no official limit or 4 mg/kg dry board	Sundman <i>et al.</i> , 2007
Desiccator	JIS A 1460	0.18 m ²	F**	≤ 1.5 mg/l (average) 2.1 mg/l (maximum)	Roffael, 2006 and Eom <i>et al.</i> , 2006
Perforator	EN 120	0.025 x 0.025 m, 110 g	E1	≤ 6.5 mg/100 g	Roffael, 2006 and Eom <i>et al.</i> , 2006
CARB (Phase II)	ASTM E1333 or- ASTM D6007		-	0.09 ppm for PB	Salem <i>et al.</i> , 2012

Remarks: AD = Apparent Density, MC = Moisture Content

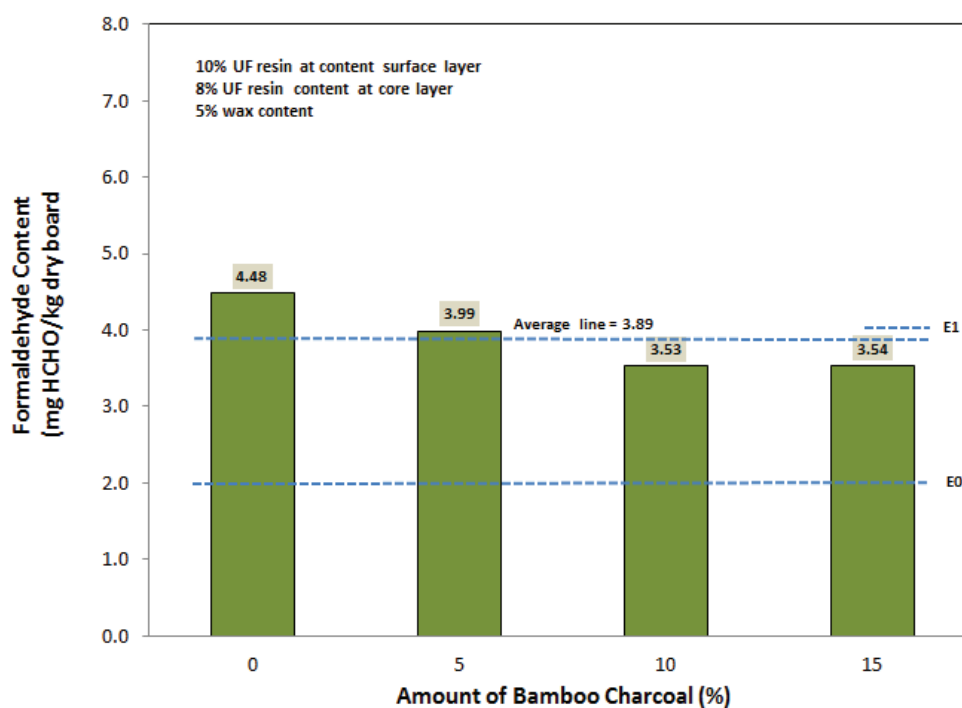


Figure 7 Formaldehyde emission of particleboard with varied content of bamboo charcoal as Additives.

สรุป

การเติมผงถ่านไม้ไผ่เพื่อใช้เป็นตัวดักจับทางชีวภาพ (Bio-Scavenger) เพื่อลดปริมาณสารระเหยฟอर्मัลดีไฮด์ในแผ่นชั้นไม้อัดถือว่าได้ผลเล็กน้อยในแง่ของการลดปริมาณสารระเหยที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต การเติมผงถ่านไม้ไผ่ในปริมาณร้อยละ 15 ของน้ำหนักกาวแห้งในแผ่นชั้นไม้อัดทำให้สามารถลดการปลดปล่อยฟอर्मัลดีไฮด์ได้ประมาณร้อยละ 10 ถึงแม้ว่าจะลดได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับตัวดักจับทางชีวภาพอื่นๆ เช่น แพนนิน แต่ผงถ่านโดยเฉพาะผงถ่านไม้ไผ่ก็สามารถผลิตและหาได้ง่ายกว่า อีกทั้งการเติมผงถ่านไม้ไผ่นี้มีผลทำให้ค่า การต้านแรงคัดและความแข็งแรงเพิ่มขึ้นร้อยละ 16 และ 0.5 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ค่าการยึดติดภายในจะลดลงร้อยละ 12 ดังนั้นการเติมผงถ่านไม้ไผ่เพื่อลดการระเหยของฟอर्मัลดีไฮด์ยังจำเป็นจะต้องปรับปรุงกระบวนการผลิตและหาปริมาณที่เหมาะสมที่ไม่ทำให้คุณภาพของแผ่นชั้นไม้อัดด้านการยึดติดภายในลดลงซึ่งการเติมตัวดักจับชีวภาพอาจเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ดีในการลดปริมาณสารระเหยฟอर्मัลดีไฮด์ในแผ่นชั้นไม้อัดที่มีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าวิธีอื่นๆ

คำนิยาม

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ ที่สนับสนุนทุนวิจัยและบริษัท กรีนพานอล จำกัด ที่เอื้อเฟื้อวัสดุวิจัย รวมทั้งมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ที่ช่วยทดสอบคุณสมบัติด้านต่างๆของแผ่นชั้นไม้อัด

REFERENCES

- Asada, T., S. Ishihara, T. Yamane, A. Toba, A. Yamada, and K. Oikawa. 2002. Science of bamboo charcoal: study on carbonizing temperature of bamboo charcoal and removal capability of harmful gases. **Journal of Health Science**. 48 (6): 473-479.
- Chotikhun, A. and N. Laemsak. 2009. Effects of various carbonization temperatures for closing wood-charcoal kiln on charcoal properties. **Thai Journal of Forestry**. 28 (2): 73-80.
- European Standard. 1996. **Wood-based panels-determination of formaldehyde release-Part 3: Formaldehyde release by the flask method**. EN Standard 1996.
- Eom, Y.G., J.S. Kim, S. Kim, J.A. Kim, and H.J. Kim. 2006. Reduction of formaldehyde emission from particleboards by bio-scavengers. **Mokchae Konghak**. 34 (5):29-41.
- Healthy Building Network 2008 Alternative resin binders for particleboard, medium density fiberboard (MDF), and Wheatboard. **Global Health and Safety Initiative**. 6 pages.
- Howe-Grant, M. 1992. Encyclopedia of chemical technology. New York: John Wiley&Sons.
- Hsieh, M.F., C.L. Shyu, S.H. Huang, W.C. Wang, and W.C. Chen. 2007. Application of bamboo charcoal particles in blood purification: Cytotoxicity and absorption capability assessments. **Journal of Medical and Biological Engineering**. 27 (1):47-51.
- Kasetsart University-Bank for Agriculture and Agricultural Cooperatives. 2006. **Wood Charcoal**. Online Available:<http://www.kuservice.ku.ac.th>, January 20, 2014. (in Thai).
- Keech, O., C. Carcaillet, M.C. Nilsson, 2005. Adsorption of allelopathic compounds

- by wood-charcoal: the role of wood porosity. **Plant and Soil**. 272:291-300.
- Kim, S., H.J. Kim, H.S. Kim, and H.H. Lee. 2006. Effect of bio-scavengers on the curing behavior and bonding properties of melamine-formaldehyde resins. **Macromolecular Materials and Engineering**. 291:1027-1034.
- Long, W., H.F. Lan, Y.F. Huang. 2010. Evaluation of formaldehyde adsorption by bamboo charcoal using a photoacoustic method. **J. Wood Sci.** 56:345-349.
- Maloney, H.M. 1993. Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing. Miller Freeman Inc. San Francisco, USA.
- Mingjie, G. 2004. **Manual for bamboo charcoal production and utilization: Annex III**. Bamboo Engineering Research Center. E. Nanjing Forestry University. May 2004. 24 pages.
- Ngernyen, Y., C. Tangsathitkulchai, M. Tangsathitkulchai. 2006. Pore properties of activated carbon produced from eucalyptus and wattle wood by carbon dioxide activation. **Korean J. Chem. Eng.** Vol. 23 (6):1046-1054.
- Pohan, H.G., H. W.A. Suherman. 2010. The study of making bamboo charcoal and vinegar using pyrolysis kiln of semi commercial scale. **Journal of Agro-Based Industry**. 27 (1):59-71.
- Roffael, E. 1993. Formaldehyde release from particleboard and other wood-based panels. **Malayan Forest Records** 37. ISBN 983-9592-15-7.
- _____. 2006. Volatile organic compounds and formaldehyde in nature, wood and wood based panels. **Holz als Roh- und Werkstoff**. 64:144-149.
- _____. 2008. Formaldehyde scavengers in wood-based panels - An overview. 6th European Wood-Based Panel Symposium, 8-10 October 2008. Hanover, Germany
- Salem, M.A.M., M.Bohm, J. Srba, and J. Berankova. 2012. Evaluation of formaldehyde emission from different types of wood-based panels and flooring materials using different standard test methods. **Building and Environment**. 49:86-96.
- Schafer, M. and E. Roffael. 2000. On the formaldehyde release of wood. **Holz als Roh- und Werkstoff**. 58:259-264.
- Sundman, M.R., A. Larsen, E. Vestin, and A. Weibull. 2007. Formaldehyde emission-comparison of different standard methods. **Atmospheric Environment**. 41:3193-3202.
- TIS. 2004. **Flat Pressed Particleboards**. Thai Industrial Standard. TIS 876-2004.
- Villegas, J.P., J.F.P. Valle, J.M.M. Rodriguez, and M.G. Garcia. 2006. Study of commercial wood charcoals for the preparation of carbon adsorbents. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. 76: 103-108.