

นิพนธ์ต้นฉบับ

สมบัติของแผ่นไม้อัดที่ผลิตจากไม้ยางพาราและกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์
ที่เติมสารบอแรกซ์Properties of Plywood Produced with Rubberwood Veneer and
Urea-formaldehyde Adhesive Added Boraxวิศนีย์ ยิ่งประเสริฐ*
โรสนา สุพรรณษาWissanee Yingprasert*
Rossana Suhansa

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84000

Faculty of Science and Industrial Technology,

Prince of Songkla University, Suratthani Campus, Suratthani 84000, Thailand

*Corresponding Author, Email: wissaneey@hotmail.com

รับต้นฉบับ 24 มิถุนายน 2562

รับแก้ไข 26 กันยายน 2562

รับลงพิมพ์ 2 ตุลาคม 2562

ABSTRACT

This study evaluated the effects of adding borax to urea-formaldehyde (UF) adhesive, with increasing percentage content of 5%, 10%, and 15% w/w of the solid content of adhesive, on the adhesive properties. White rot (*Trametes versicolor*) and brown rot (*Gloeophyllum striatum*) resistance, subterranean termite (*Coptotermes gestroi*) resistance, formaldehyde emission content, and shear strength of rubberwood plywood produced with borax added UF resin at various percentages was also determined. Its properties were compared with rubberwood plywood produced with a UF adhesive. The results indicated that the addition of borax to UF adhesive decreased the pH of adhesive in alkaline conditions. Borax addition to UF adhesive at a sufficient percentage (10-15% w/w of the solid content of adhesive) decreased the gel time of UF adhesive. Formaldehyde emission of rubberwood plywood produced with the borax added UF adhesive from 10-15% w/w of the solid content of adhesive decreased. Resistance to white and brown rots and subterranean termite resistance of rubberwood plywood produced with UF adhesive with added borax (10-15% w/w of the solid content of adhesive) was seen to improve. Moreover, the addition of borax at 15% w/w of the solid content of UF adhesive also enhanced the shear strength of the plywood.

Keywords: Plywood, Rubberwood veneer, Urea formaldehyde adhesive, Borax, Subterranean termite, Decay fungi

บทคัดย่อ

การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาผลของการเติมสารบอแรกซ์ลงในกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ในปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักเนื้อกาวยูเรียต่อสมบัติของกาวยูเรีย ความต้านแรงฉีก ปริมาณการระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์ ความต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อราฟุสีขาว (*Trametes versicolor*) เชื้อราฟุสีน้ำตาล (*Gloeophyllum striatum*) และความต้านทานการเข้าทำลายของปลวกใต้ดิน (*Coptotermes gestroi*) ของแผ่นไม้อัดที่ผลิตจากไม้ยางพารา และกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ผสมสารบอแรกซ์ เปรียบเทียบสมบัติเหล่านี้กับแผ่นไม้อัดที่ผลิตจากไม้ยางพาราและกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ ผลการทดลองพบว่า การเติมสารบอแรกซ์ในกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ทำให้ค่าพีเอช (pH) ของกาวยูเรียต่าง หากเติมสารบอแรกซ์ในปริมาณมากพอ (ร้อยละ 10-15 ของน้ำหนักเนื้อกาวยูเรีย) ทำให้ระยะเวลาที่กาวยูเรียเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นเจล (gel time) สั้นลง แผ่นไม้อัดที่ผลิตจากไม้ยางพาราและใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เติมสารบอแรกซ์ ร้อยละ 10-15 ของน้ำหนักเนื้อกาวยูเรีย มีปริมาณการระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์ลดลง ความต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อราฟุสีขาวและเชื้อราฟุสีน้ำตาล ความต้านทานต่อการเข้าทำลายของปลวกใต้ดินเพิ่มขึ้น และหากเติมสารบอแรกซ์ลงในกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ร้อยละ 15 ของน้ำหนักเนื้อกาวยูเรีย มีผลทำให้แผ่นไม้อัดที่ผลิตจากไม้ยางพารามีความต้านแรงฉีกเพิ่มขึ้นด้วย

คำสำคัญ: ไม้อัด ไม้ยางพารา กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ บอแรกซ์ ปลวกใต้ดิน เชื้อราทำลายไม้

คำนำ

แผ่นไม้อัด เป็นผลิตภัณฑ์แผ่นไม้ประกอบชนิดหนึ่งที่ผลิตจากการนำไม้บางตั้งแต่ 3 ชั้นขึ้นไป มาประกอบอัดให้ติดกันด้วยกาวยูเรียใต้แรงดัน อุณหภูมิ และระยะเวลาที่เหมาะสม การผลิตแผ่นไม้อัดส่วนใหญ่มีจำนวนชั้นเป็นเลขคี่ โดยชั้นที่ติดกันมีการเรียงตัวของแนวเสี้ยนของไม้บางขวางตั้งฉากกันเพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางความแข็งแรงและลดการขยายตัวหรือหดตัวในระนาบของแผ่นไม้อัดให้น้อยที่สุด (Thai Industrial Standards Institute [TISI], 2006) การผลิตแผ่นไม้อัดในประเทศไทยใช้ไม้ยางพาราเป็นวัตถุดิบหลัก แต่ไม้ยางพาราเป็นไม้ที่มีความทนทานตามธรรมชาติต่ำ เสี่ยงต่อการเข้าทำลายของศัตรูทำลายไม้ เช่น เชื้อรา มอด และ ปลวก เป็นต้น ดังนั้น แผ่นไม้อัดที่ทำจากไม้ยางพาราจึงเสี่ยงต่อการเข้าทำลายของศัตรูทำลายไม้เหล่านี้ด้วยเช่นกัน (Teoh *et al.*, 2011) ผู้ประกอบการไม้ยางพาราแปรรูปของไทยนิยมอัดสารประกอบโบรอน ซึ่งมีส่วนผสมของสารบอแรกซ์ และกรดบอริก เพื่อเพิ่มความทนทานต่อศัตรูทำลายไม้

ให้ไม้ยางพารา ดังนั้น การเพิ่มความทนทานของแผ่นไม้อัดต่อตัวการทำลายไม้อาจทำได้ด้วยการนำไม้บางไปแช่ในตัวยารักษาเนื้อไม้ หรือการเติมตัวยารักษาเนื้อไม้ลงในส่วนผสมของกาวยูเรียที่ใช้ในการผลิตแผ่นไม้อัด Blockboard ที่ผลิตจากไม้บางซึ่งผ่านการแช่สารละลายกรดบอริกความเข้มข้นร้อยละ 2.5 มีความต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อราฟุ (*Trametes versicolor*) และ *Fomitopsis palustris*) และปลวก (*Coptotermes formosamus*) เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ Blockboard ที่ผลิตจากไม้บางซึ่งไม่ผ่านการแช่สารละลายกรดบอริก (Kartal and Ayilimis, 2005; Kartal *et al.*, 2007) Lesar *et al.* (2011) พบว่า การเติมกรดบอริกลงในกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ร้อยละ 0.5 ของปริมาณเนื้อกาวยูเรียก่อนนำไปผลิตแผ่นไม้อัดด้วยไม้ Norway spruce ไม่ส่งผลทางลบต่อความต้านแรงฉีกและการแตกที่ไม่ แต่ปริมาณกรดบอริกที่เติมไม่เพียงพอที่จะเพิ่มความทนทานของแผ่นไม้อัดต่อการเข้าทำลายของเชื้อราฟุ (*Gloeophyllum trabeum*, *Antrodia vaillantii* and

Serpula lacrymans) Özçifçi (2008) รายงานว่า ความสามารถในการติดกันด้วยการเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์ กาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ และกาวโพลีไวนิลอะซิเตต ของไม้ beech, white oak และ poplar ที่อัดกรดบอริกเข้าไปในไม้ลดลง กาวสังเคราะห์ที่นิยมใช้ในการผลิตไม้อัดในประเทศไทย คือ กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ กาวเมลามีนยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ และกาวเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์ ซึ่งทั้งหมดเป็นกาวที่มีฟอร์มาลดีไฮด์เป็นส่วนประกอบ แผ่นไม้อัดที่ผลิตจากกาวดังกล่าวมักมีการระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์ออกมาขณะที่นำไปใช้งาน ดังนั้น ผู้ประกอบการจึงพยายามลดการระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยการเติมสารดักจับฟอร์มาลดีไฮด์ลงไปในกาว (Boran *et al.*, 2012) แต่สารเหล่านี้ต้องไม่ส่งผลทำให้สมบัติเชิงกลของแผ่นไม้อัดด้อยลง การเติม borax pentahydrate ในกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เพื่อนำไปผลิตแผ่นไม้อัดจากไม้ poplar และไม้ beech ลดปริมาณการระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์จากแผ่นไม้อัดได้ โดยไม่ทำให้ความแข็งแรงของแผ่นไม้อัดลดลง (Sensogut *et al.*, 2009) Colak and Colakoglu (2004) พบว่า การใช้ไม้บางที่แช่ในกรดบอริกและการใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ที่เติมกรดบอริกไปผลิตแผ่นไม้อัด กลับทำให้การระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์จากแผ่นไม้อัดเพิ่มขึ้น การตรวจเอกซเรย์รังสี พบว่า มีความเป็นไปได้ในการนำสารประกอบโบรอนมาเพิ่มสมบัติเชิงกล ลดการระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์ และเพิ่มความต้านทานของแผ่นไม้อัดต่อการเข้าทำลายของเชื้อรา หากแต่ต้องหาชนิดและวิธีการนำสารประกอบโบรอนมาใช้ให้เหมาะสม สมบัติของแผ่นไม้อัดยังขึ้นอยู่กับปริมาณสารประกอบโบรอนที่ใช้ ชนิดไม้ที่นำมาผลิตแผ่นไม้อัด รวมทั้งชนิดของตัวการทำลายไม้ งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาผลกระทบของการเติมบอแรกซ์ในกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ต่อความต้านทานของแผ่นไม้อัดต่อการเข้าทำลายของเชื้อราและปลวกใต้ดิน ปริมาณการระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์จากไม้อัด และความต้านแรงเฉือนของแผ่นไม้อัดที่ผลิตจากไม้ยางพารา

อุปกรณ์และวิธีการ

การผลิตแผ่นไม้อัด

การทดลองนี้ทำการผลิตแผ่นไม้อัด 3 ชั้น (ไม้บางชั้นที่ติดกันมีแนวเส้นขวางตั้งฉากกัน) โดยใช้ไม้บางยางพาราความหนา 2.5 มิลลิเมตร ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทวนชัย วิเนียร์ แอนด์พลาเยอร์ จำกัด จังหวัดปทุมธานี อบไม้บางด้วยอุณหภูมิ 103 ± 5 องศาเซลเซียส ให้มีความชื้นประมาณร้อยละ 5 ผสมสารบอแรกซ์ (sodium tetraborate decahydrate, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ลงในกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ (UF) E2 ของบริษัทโอเค (หาดใหญ่) จำกัด ในอัตราส่วนร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักเนื้อกาวแห้ง ทากาวที่มีส่วนผสมของสารบอแรกซ์ลงบนไม้บางด้านใดด้านหนึ่งด้วยน้ำหนักทากาว 180 กิโลกรัม/ตารางเมตร ทำการอัดร้อนด้วยแรงอัด 7.5 เมกะปาสคาล อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 10 นาที โดยทำการอัดร้อนไม้อัดครั้งละแผ่น ทำการผลิตไม้อัด 5 แผ่นต่อการใช้กาว 1 สูตร

การทดสอบปริมาณเนื้อกาวแห้ง ค่าพีเอช (pH) และ gel time ของกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์และกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เติมสารบอแรกซ์

การทดสอบปริมาณเนื้อกาวแห้ง ค่า pH และ gel time ของกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ และกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เติมสารบอแรกซ์ ทำตามวิธีการของมาตรฐาน JIS K 6833:1994 (Japanese Standards Association, 1994)

การหาความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และการทดสอบค่าความต้านแรงเฉือนของแผ่นไม้อัดด้วยวิธีการตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นไม้อัด (TISI, 2006)

ชิ้นทดสอบไม้อัดสำหรับใช้ในการหาความหนาแน่นและปริมาณความชื้น มีขนาด 100×100 มิลลิเมตร แผ่นไม้อัด 1 แผ่น เตรียมขึ้นทดสอบ 3 ชิ้น

การทดสอบความต้านแรงเฉือนของแผ่นไม้อัดตัดขึ้นทดสอบขนาดกว้าง 25 ± 0.5 มิลลิเมตร ยาว 135 ± 0.2

มิลลิเมตร โดยด้านยาวขนานกับแนวเส้นไม้ จากนั้นนำไปเจาะร่องโดยใช้เลื่อยที่มีคลองเลื่อยผ่านแนวทวนทุกแนวทวน ก่อนนำไปทดสอบความต้านแรงเฉือน ขึ้นทดสอบต้องนำไปปรับสภาวะที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 จนกระทั่งขึ้นทดสอบมีน้ำหนักคงที่ จากนั้นใช้เครื่องทดสอบสากล (Universal Testing Machine - Lloyd Instruments; LR150K) ซึ่งสามารถอ่านค่าแรงดึงได้ละเอียดถึง 1 นิวตัน และใช้แรงดึงเพื่อแยกชิ้นทดสอบออกในเวลา 30 ± 10 วินาที แผ่นไม้อัด 1 แผ่น เตรียมขึ้นทดสอบความต้านแรงเฉือน 10 ชิ้น

การทดสอบปริมาณการระเหยของฟอर्मัลดีไฮด์จากแผ่นไม้อัดโดยวิธีตามมาตรฐาน EN 717-3 (British Standards Institution, 1996)

ขึ้นทดสอบมีขนาด 25×25 มิลลิเมตร x ความหนาของแผ่นไม้อัด กำหนดน้ำหนักของขึ้นทดสอบในหนึ่งตัวอย่างมีค่าใกล้เคียง 20 กรัม ควรตัดขึ้นทดสอบและทำการทดสอบหลังจากที่แผ่นไม้อัดเย็นตัวลงจนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องไม่เกิน 72 ชั่วโมง เตรียมขึ้นทดสอบจำนวน 5 ตัวอย่าง ต่อ แผ่นไม้อัด 1 แผ่น รายงานปริมาณการระเหยของฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำที่แขวนขึ้นทดสอบ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร; mg/ml)

การทดสอบความต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อราตามมาตรฐาน ASTM D1403-07 (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2007)

นำขึ้นทดสอบไม้อัดขนาดกว้างและยาว 2.5 เซนติเมตร ความหนาเท่ากับความหนาของแผ่นไม้อัด (แผ่นไม้อัด 1 แผ่น เตรียมขึ้นทดสอบ 5 ชิ้นต่อการศึกษากการเข้าทำลายของเชื้อรา 1 ชนิด) ไปวางบนเชื้อราฝูสีขาว *Trametes versicolor* และเชื้อราฝูสีน้ำตาล *Gloeophyllum straitum* (เชื้อราทั้งสองชนิดนี้แยกมาจากไม้ยางพาราที่เสื่อมสภาพ) เป็นเวลา 12 สัปดาห์ เพื่อดูการต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อราทั้ง 2 ชนิด เมื่อครบเวลาคำนวณหาร้อยละของน้ำหนักของแผ่นไม้อัดที่หายไป

(weight loss, %) จากการเข้าทำลายของเชื้อราดังกล่าว เปรียบเทียบกับน้ำหนักของแผ่นไม้อัดก่อนที่เชื้อราเข้าทำลาย

วิธีการทดสอบความต้านทานต่อการเข้าทำลายของปลวกใต้ดิน (*Coptotermes gestroi*)

วิธีการทดสอบความต้านทานต่อการเข้าทำลายของปลวกใต้ดินดัดแปลงมาจากวิธีการตามมาตรฐาน ASTM D 3345-74 (ASTM, 1999) โดยทำการตัดขึ้นทดสอบไม้อัดขนาด 2.5×2.5 เซนติเมตร จำนวน 5 ชิ้น ทดสอบต่อแผ่นไม้อัดหนึ่งแผ่น อบแห้งที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ แล้วจึงชั่งน้ำหนักทุกชิ้นก่อนการทดสอบกับปลวก ใช้ปลวก 1 กรัม (ปลวกงาน 0.9 กรัม ปลวกทหาร 0.1 กรัม) ต่อขึ้นทดสอบไม้อัด 1 ชิ้น ทำการทดสอบเป็นเวลา 28 วัน เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนด นำขึ้นทดสอบไปอบแห้งจนน้ำหนักคงที่อีกครั้ง จากนั้นคำนวณน้ำหนักของขึ้นทดสอบไม้อัดที่หายไป และประเมินความเสียหายของขึ้นทดสอบจากการเข้าทำลายของปลวกใต้ดินโดยการให้คะแนนตามวิธีการของมาตรฐาน ASTM D 3345-74 โดยคะแนน 10 เป็นขึ้นทดสอบที่ไม่มีการเข้าทำลายของปลวกใต้ดิน ส่วนคะแนน 0 คือ มีการเข้าทำลายของปลวกใต้ดินรุนแรงที่สุด

ผลและวิจารณ์

ปริมาณเนื้อกาวยแห้ง ค่า pH และ gel time ของกาวยูเรียฟอर्मัลดีไฮด์และกาวยูเรียฟอर्मัลดีไฮด์เติมสารบอแรกซ์

กาวยูเรียฟอर्मัลดีไฮด์ที่ไม่มีการเติมสารบอแรกซ์มีค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 7.76 และเมื่อทำการเติมสารบอแรกซ์ลงในกาวยูเรียฟอर्मัลดีไฮด์ร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักเนื้อกาวยแห้ง พบว่า ค่า pH ของกาวยเปลี่ยนเป็นด่างมากขึ้น มีค่า pH เฉลี่ย 9.09 (Table 1) ซึ่งปริมาณของสารบอแรกซ์ที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5 เป็นร้อยละ 10 และร้อยละ 15 ของน้ำหนักเนื้อกาวยแห้งไม่ได้ส่งผลให้ค่า pH ของกาวยเปลี่ยนแปลงไปแตกต่างกัน ผลการทดลองพบว่า การเติมสารบอแรกซ์ในปริมาณ

Table 1 Solid content, pH value, and gel time of urea-formaldehyde adhesive and urea-formaldehyde adhesive with added borax.

Borax adding content	0%	5%	10%	15%
Solid content (%)	50.53*a	51.12a	52.50b	52.58b
3 hr. 105°C	(0.51)**	(0.60)	(1.16)	(0.44)
pH	7.76a	9.09b	9.09b	9.09b
at room temperature	(0.02)	(0.02)	(0.01)	(0.02)
Gel time	32.00a	36.00b	29.67ac	28.33c
at 100 °C (s)	(0.51)	(0.60)	(1.16)	(0.44)

Remarks: * Means (of five replications) followed by the same letter on the same row of each adhesive property are not statistically different according to Duncan's Multiple Range Test at $\alpha=0.05$.

**The values in the parentheses are standard deviations.

ร้อยละ 10 และร้อยละ 15 ของน้ำหนักเนื้อกาวแห้งเท่ากันที่มีผลทำให้ gel time ของกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ลดลง งานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า gel time ของกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์จะลดลงอย่างรวดเร็วในสภาวะที่เป็นกรด (pH 2-4.5) และเพิ่มสูงสุดเมื่อมีค่า pH เป็น 7 จากนั้นค่า gel time ของกาวลดลงอีกครั้งในสภาวะที่กาวมีค่า pH เป็นด่าง ทีมวิจัยพบว่า กาวให้ค่าความแข็งแรงสูงสุดเมื่อกาวมีค่า pH เท่ากับ 5 และ 8 ในทางกลับกัน กาวให้ค่าความแข็งแรงต่ำสุดเมื่อกาวมีค่า pH เท่ากับ 7 ทั้งนี้ ผลของค่า pH ของกาวต่อความแข็งแรงในการยึดติดอาจขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาติดกันด้วยกาวดังกล่าวด้วย (Akpabio, 2012; Xing *et al.*, 2007)

การเติมสารบอแรกซ์ในกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ในปริมาณร้อยละ 10 และร้อยละ 15 ของน้ำหนักเนื้อกาวแห้งเท่ากันที่มีผลทำให้น้ำหนักเนื้อกาวแห้งเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 50.53 เป็นร้อยละ 52.50 และร้อยละ 52.58 ตามลำดับ การเติมสารบอแรกซ์ลงไปในกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ร้อยละ 10-15 ของน้ำหนักเนื้อกาวแห้ง ทำให้ปริมาณน้ำหนักเนื้อกาวแห้งเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 4.95-5.11 เท่านั้น ปริมาณเนื้อกาวแห้งที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่าปริมาณสารบอแรกซ์ที่เติมลงไปในกาว เป็นไปได้ว่าสารบอแรกซ์บางส่วนไม่ทำปฏิกิริยากับกาว และสารบอแรกซ์บางส่วนอาจทำปฏิกิริยากับกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์จน

กลายเป็นส่วนหนึ่งของกาว และมีสารบอแรกซ์บางส่วนระเหยไปขณะให้ความร้อนเพื่อหาปริมาณเนื้อกาวแห้ง ซึ่งกลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารบอแรกซ์กับส่วนผสมของกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ส่วนนี้จำเป็นต้องศึกษาอย่างละเอียดต่อไป Akpabio (2012) ค้นพบว่า ปริมาณเนื้อกาวแห้งของกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ไม่ขึ้นอยู่กับค่า pH ของกาว แต่ Xing *et al.* (2007) พบว่า ปริมาณเนื้อกาวแห้งของกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ที่เพิ่มขึ้นทำให้ gel time ของกาวสั้นลง เพราะน้ำที่อยู่ในกาวขัดขวางหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาการสุกตัวของกาว เมื่อน้ำในระบบน้อย ปฏิกิริยาการเกิดการสุกตัวจึงเร็วขึ้น องค์ความรู้นี้สอดคล้องกับผลการทดลองของงานวิจัยนี้ที่พบว่า การเติมสารบอแรกซ์ในกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ในปริมาณร้อยละ 10 และร้อยละ 15 ของน้ำหนักเนื้อกาวแห้ง ทำให้น้ำหนักเนื้อกาวแห้งเพิ่มขึ้น และ gel time ของกาวลดลง

ความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และการทดสอบความต้านแรงเฉือนของแผ่นไม้อัด

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า แผ่นไม้อัดที่ผลิตจากไม้ยางพาราและกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เติมสารบอแรกซ์ในปริมาณที่แตกต่างกัน มีค่าความหนาแน่นและปริมาณความชื้น อยู่ในระดับเดียวกัน ($p < 0.05$) โดยแผ่นไม้อัดมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 720 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และมีค่าความชื้นเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 7.75

ผลการทดลองความต้านแรงเฉือน (Figure 1) พบว่า แผ่นไม้อัดที่ผลิตจากไม้ยางพาราและกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ มีความต้านแรงเฉือนเฉลี่ย 2.10 ± 0.15 เมกะปาสคาล เมื่อเติมสารบอแรกซ์ลงในกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ในปริมาณร้อยละ 5 และร้อยละ 10 ของน้ำหนักเนื้อกาวแห้ง ทำให้แผ่นไม้อัดมีความต้านแรงเฉือนเฉลี่ย 2.21 ± 0.30 เมกะปาสคาล และ 2.32 ± 0.53 เมกะปาสคาล ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณสารบอแรกซ์ที่เติมลงในกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ไม่ได้เพิ่มความต้านแรงเฉือนของแผ่นไม้อัดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ก่อนหน้านี้ Çolakoğlu and Demirkir (2006) ก็พบว่าการเติมสารบอแรกซ์ลงในกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ในปริมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักเนื้อกาวแห้งไม่ได้ทำให้ความต้านแรงเฉือน ความต้านแรงดัด และมอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้อัดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การเติมสารบอแรกซ์ในกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ร้อยละ 15 ของน้ำหนักเนื้อกาวแห้ง เป็นปริมาณที่มากพอในการทำให้ความต้านแรงเฉือนของแผ่นไม้อัดเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) โดย

แผ่นไม้อัดมีความต้านแรงเฉือนเฉลี่ยเท่ากับ 3.14 ± 0.61 เมกะปาสคาล จากการตรวจสอบพบว่ามีสารบอแรกซ์เป็นองค์ประกอบของกาวที่ใช้ในการผลิตกระดาษลอนลูกฟูก (corrugated paper) ซึ่งทำให้กาวยึดติดกับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสได้ดีขึ้น (Vishnuvarthanan and Rajeswari, 2013; Yanjuan *et al.*, 2013) ดังนั้น ปริมาณสารบอแรกซ์ที่เติมลงไปในกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ร้อยละ 15 อาจทำให้กาวดังกล่าวยึดติดกับหมู่ไฮดรอกซิลของไม้ได้ดีขึ้น ส่งผลให้ความต้านแรงเฉือนของแผ่นไม้อัดเพิ่มขึ้นได้ อย่างไรก็ตาม อาจจำเป็นต้องมีการศึกษาถึงกลไกที่สารบอแรกซ์ช่วยเพิ่มพันธะการยึดติดของกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์กับไม้ยางพาราอย่างละเอียดในอนาคต ค่าการแตกที่ไม้ (wood failure) หลังทดสอบความต้านแรงเฉือนมากกว่าร้อยละ 80 เหมือนกันทุกสูตรกาวที่ใช้ ทั้งนี้ ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นไม้อัด TISI (2006) ได้กำหนดไว้ว่า ความต้านแรงเฉือนของแผ่นไม้อัดต้องสอดคล้องกับค่าการแตกที่ไม้ หากค่าความต้านแรงเฉือนของแผ่นไม้อัดอยู่ในช่วงมากกว่า

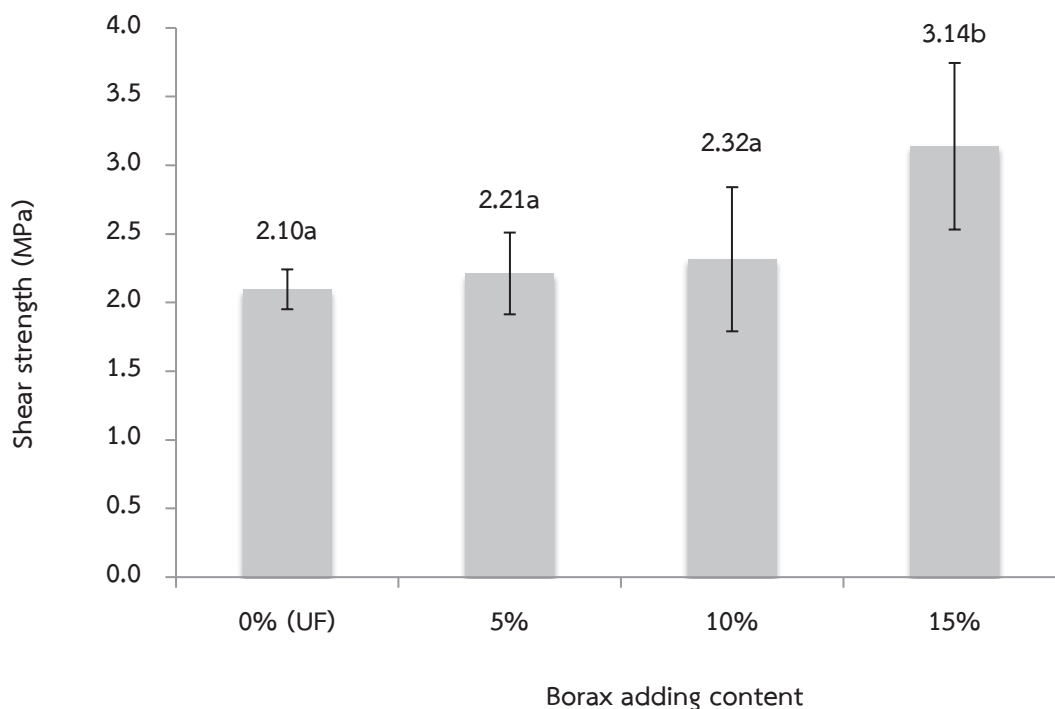


Figure 1 Shear strength of rubberwood plywood produced with urea-formaldehyde adhesive and urea-formaldehyde adhesive with added borax at different percentages.

0.6 เมกะปาสคาล แต่น้อยกว่า 1.0 เมกะปาสคาล แผ่นไม้อัดต้องมีค่าการแตกที่ไม่มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 40 แต่หากแผ่นไม้อัดมีค่าความต้านแรงเฉือนมากกว่า 1.0 เมกะปาสคาลขึ้นไป ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมดังกล่าวไม่ได้กำหนดร้อยละของค่าการแตกที่ไม่ไวแต่อย่างใด

ปริมาณการระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์จากแผ่นไม้อัด

จาก Figure 2 ที่แสดงค่าปริมาณการระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์จากแผ่นไม้อัดที่ผลิตจากกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ และแผ่นไม้อัดที่ผลิตจากกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เติมสารบอแรกซ์ในปริมาณต่างๆ ผลการทดลอง พบว่าแผ่นไม้อัดที่ผลิตจากไม้ยางพาราและกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์มีค่าปริมาณการระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์จากแผ่นไม้อัดเฉลี่ยเท่ากับ 1.31 ± 0.23 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร (mg/ml) ปริมาณการเติมสารบอแรกซ์ร้อยละ 10 และร้อยละ 15 ในกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ เพียงพอในการทำให้ปริมาณการระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์จากแผ่นไม้อัดลดลงเหลือ 1.09 ± 0.05 mg/ml และ 1.09 ± 0.01 mg/ml ตามลำดับ

($p < 0.05$) หรือคิดเป็นร้อยละ 16.79 เมื่อเทียบกับแผ่นไม้อัดที่ผลิตจากกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นไปได้ว่าสารบอแรกซ์สามารถทำปฏิกิริยากับฟอร์มาลดีไฮด์ในเนื้อกาวยูเรีย ทำให้มีฟอร์มาลดีไฮด์อิสระที่เหลือนจากการทำปฏิกิริยาน้อยลง Çolakoğlu and Demirkir (2006) พบว่า การเติมสารบอแรกซ์ในกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ร้อยละ 10 ของน้ำหนักเนื้อกาวยูเรีย ก่อนนำไปผลิตแผ่นไม้อัด สามารถลดการระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์จากแผ่นไม้อัดลงได้ร้อยละ 23 เมื่อเทียบกับแผ่นไม้อัดที่ผลิตจากกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ที่ไม่เติมสารบอแรกซ์ Colak and Colakoglu (2004) พบว่า การเติมกรดบอริกลงในกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ที่ใช้ในการผลิตไม้อัดจากไม้ beech และไม้ alder ไม่ทำให้ปริมาณการระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์จากไม้อัดลดลง ในขณะที่การเติมบอแรกซ์ลงในกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ที่ใช้ผลิตแผ่นไม้อัดดังกล่าว ทำให้ปริมาณการระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์จากแผ่นไม้อัดลดลง อย่างไรก็ตาม ปริมาณการระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์จากแผ่นไม้อัดขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น สัดส่วนโมเลกุลของยูเรียและฟอร์มาลดีไฮด์ของกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ ชนิดไม้ที่ใช้ผลิตแผ่น

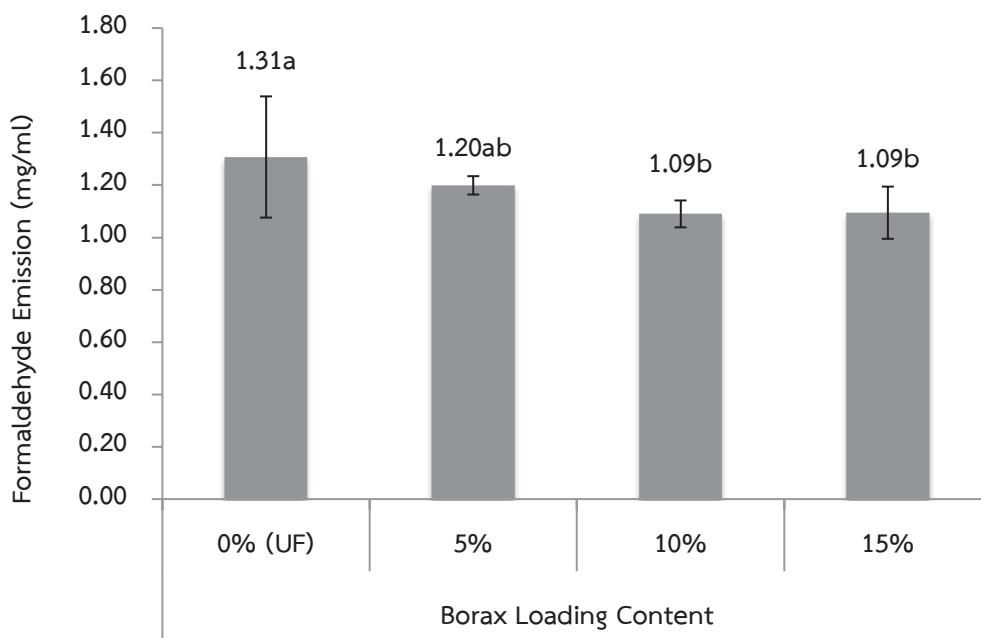


Figure 2 Formaldehyde emission content from rubberwood plywood produced with urea-formaldehyde adhesive and urea-formaldehyde adhesive with added borax at different loading content.

ไม้อัด ความชื้นของไม้ยาง และกระบวนการอัดร้อนที่ใช้ในการผลิตแผ่นไม้อัด เป็นต้น

ความต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อรา

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ไม้ยางพารา และแผ่นไม้อัดที่ผลิตจากกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ไม่เติมสารบอแรกซ์ มีความต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อรา *Trametes versicolor* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ มีค่าการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยหลังการเข้าทำลายของเชื้อรา *Trametes versicolor* ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 สัปดาห์ เท่ากับร้อยละ 10.29 และร้อยละ 9.64 ตามลำดับ การเติมสารบอแรกซ์ในกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ในปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักเนื้อกาวยูเรีย ส่งผลให้ความต้านทานของแผ่นไม้อัดต่อการเข้าทำลายของเชื้อรา *Trametes versicolor* ลดลง ($p < 0.05$) โดยมีค่าการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยหลังการเข้าทำลายของเชื้อรา *Trametes versicolor* ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 สัปดาห์ เท่ากับร้อยละ 5.15, 3.60 และ 2.69

ตามลำดับ นอกจากนี้ พบว่า ไม้ยางพารา แผ่นไม้อัดที่ผลิตจากกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ไม่เติมสารบอแรกซ์ แผ่นไม้อัดที่ผลิตจากกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เติมสารบอแรกซ์ ร้อยละ 5 และร้อยละ 10 ของน้ำหนักเนื้อกาวยูเรีย มีความต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อรา *Gloeophyllum striatum* ไม่แตกต่างกัน โดยมีการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยหลังการเข้าทำลายของเชื้อรา *Gloeophyllum striatum* ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 สัปดาห์ เท่ากับร้อยละ 8.16, 7.71, 7.26 และ 6.49 ตามลำดับ (Figure 3) ปริมาณการเติมสารบอแรกซ์ในกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ ร้อยละ 15 ของน้ำหนักเนื้อกาวยูเรีย เท่านั้นที่มากพอในการเพิ่มความต้านทานของแผ่นไม้อัดต่อการเข้าทำลายของเชื้อรา *Gloeophyllum striatum* ได้ ผลการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ที่ใช้ในการผลิตแผ่นไม้อัดไม่สามารถชะลอและยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อราทั้งสองชนิดได้ Kartal and Ayilimis (2005)

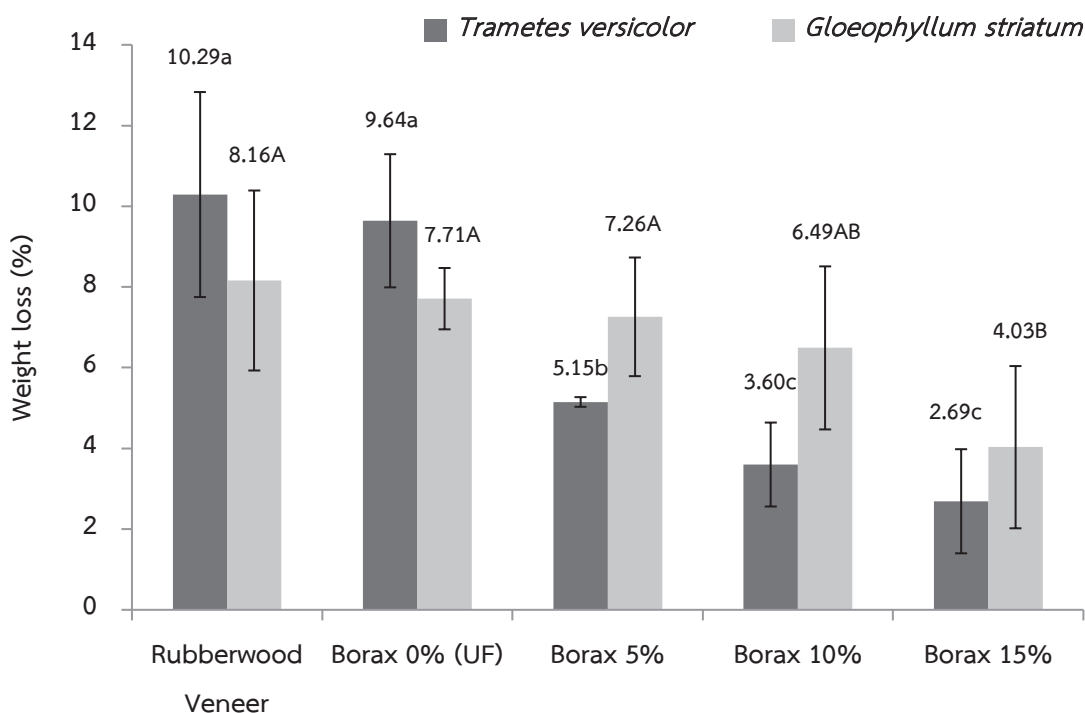


Figure 3 Weight loss of rubberwood veneer, rubberwood plywood produced with urea-formaldehyde and rubberwood plywood produced with urea-formaldehyde added borax after 12 weeks of exposure to fungal decay (*Trametes versicolor* and *Gloeophyllum striatum*).

พบว่า การนำไม้บางแช่กรดบอริกความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ก่อนนำไปผลิต blockboard ด้วยการฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ ช่วยเพิ่มความทนทานของ blockboard ต่อการเข้าทำลายของเชื้อรา (*Trametes versicolor* กับ *Fomitopsis palustris*) และปลวก (*Coptotermes formosamus*) ได้ Kartal *et al.* (2007) นำไม้บางของไม้ Ekaba (*Tetaberlinia bifoliolata*) แช่ในสารละลายบอแรกซ์และสารละลายกรดบอริก ความเข้มข้นร้อยละ 6 ก่อนนำไปผลิตแผ่นไม้อัด 5 ชั้น ด้วยการฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ พบว่า สารละลายดังกล่าวสามารถเพิ่มความต้านทานของแผ่นไม้อัดต่อการเข้าทำลายของเชื้อรา *Trametes versicolor* และรา *Fomitopsis palustris* ได้

ความต้านทานต่อการเข้าทำลายของปลวกใต้ดิน (*Coptotermes gestroi*)

ผลการทดลองการเข้าทำลายของปลวกใต้ดินพบว่า การสูญเสียน้ำหนักของไม้บางยางพาราและแผ่นไม้อัดที่ผลิตจากไม้บางยางพาราและกาวยูเรียฟอร์มัล-

ดีไฮด์ มีการสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ทั้งนี้มีค่าการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 18.58 ± 2.56 และร้อยละ 16.93 ± 1.05 ตามลำดับ สรุปได้ว่า กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ที่ใช้ในการผลิตแผ่นไม้อัดไม่ได้ส่งผลต่อความต้านทานต่อการเข้าทำลายของปลวกใต้ดินอย่างมีนัยสำคัญ แผ่นไม้อัดที่ผลิตจากกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เติมสารบอแรกซ์ร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักเนื้อกาวแห้ง มีการสูญเสียน้ำหนักร้อยละ 8.72 ± 1.10 , 7.11 ± 0.26 และ 6.57 ± 0.76 ตามลำดับ (Figure 4) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า การเติมสารบอแรกซ์ในกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ร้อยละ 10 หรือร้อยละ 15 ของน้ำหนักเนื้อกาวแห้ง มีผลต่อความต้านทานของแผ่นไม้อัดต่อการเข้าทำลายของปลวกใต้ดินเหมือนกัน

การประเมินความเสียหายจากการเข้าทำลายของปลวกด้วยสายตาตามมาตรฐาน ASTM D 3345-74 (ASTM, 1999) พบว่า ไม้บางยางพาราและแผ่นไม้อัดที่ผลิตจากกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ไม่เติมสารบอแรกซ์มี

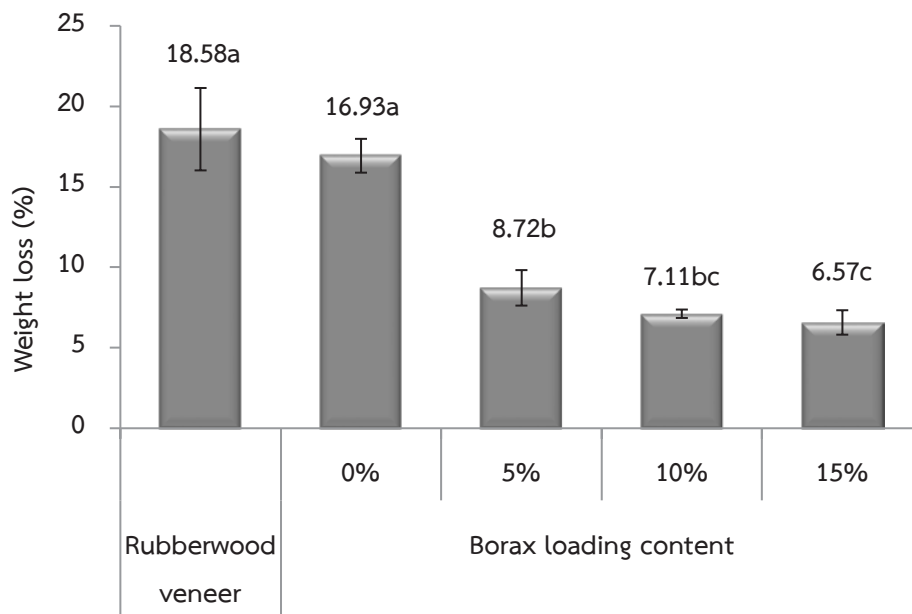


Figure 4 Weight loss of rubberwood veneer, rubberwood plywood produced with urea-formaldehyde and rubberwood plywood produced with urea-formaldehyde added borax after 28 days of exposure to subterranean termite (*Coptotermes gestroi*).

คะแนนความเสียหายของเนื้อไม้เฉลี่ย 2.73 และ 5.13 คะแนน ตามลำดับ หรือมีคะแนนความเสียหาย 4 คะแนน ตามมาตรฐาน ASTM D 3345-74 (ASTM, 1999) นอกจากนี้แผ่นไม้อัดที่ผลิตจากกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ที่เติมสารบอแรกซ์ร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักกาวแห้ง มีคะแนนความเสียหายของเนื้อไม้เฉลี่ยเท่ากับ 7.73, 8.67 และ 9.27 คะแนน ตามลำดับ หรือ 7, 9 และ 9 คะแนนตามมาตรฐาน ASTM D 3345-74 (ASTM, 1999) ตามลำดับ คะแนนความเสียหายจากการเข้าทำลายของปลวกใต้ดิน สอดคล้องกับค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการ

เข้าทำลายของปลวกใต้ดิน ตามที่ได้อธิบายไว้แล้วข้างต้น ปลวกใต้ดินทำลายไม้บางในแต่ละชั้นตามแนวเส้น ลักษณะความเสียหายจากการเข้าทำลายของปลวกใต้ดินบนแผ่นไม้อัดที่ผลิตจากไม้บางยางพาราและใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ที่ไม่เติมสารบอแรกซ์รุนแรงกว่าความเสียหายที่พบในแผ่นไม้อัดที่ผลิตจากกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ที่เติมสารบอแรกซ์ แต่ปริมาณสารบอแรกซ์ที่เติมในกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ภายใต้การศึกษาครั้งนี้ไม่ส่งผลทำให้ปลวกใต้ดินตาย เพียงแต่ทำให้ความสามารถในการทำลายแผ่นไม้อัดของปลวกใต้ดินลดลงเท่านั้น (Figure 5)



Figure 5 Subterranean termite infestation on rubberwood plywood produced with urea-formaldehyde adhesive (left), a destroyed rubberwood plywood produced with urea-formaldehyde adhesive after exposure to subterranean termite (center), and a destroyed rubberwood plywood produced with urea-formaldehyde adhesive with 10% borax loading content added after exposure to subterranean termite (right).

การตรวจเอกสาร พบว่า ก่อนหน้านี้ได้มีการนำกรดบอริกและสารบอแรกซ์มาใช้เพื่อเพิ่มความต้านทานของแผ่นไม้อัดต่อการเข้าทำลายของปลวกใต้ดินเช่นกัน Kartal *et al.* (2007) นำไม้บางของไม้ Ekaba (*Tetaberlinia bifoliolata*) แช่ในสารละลายบอแรกซ์ และสารละลายกรดบอริก ความเข้มข้นร้อยละ 6 ก่อนนำไปผลิตแผ่นไม้อัด 5 ชั้น ด้วยการพ่นอลฟอร์มัลดีไฮด์ พบว่า ความต้านทานของแผ่นไม้อัดต่อการเข้าทำลายของปลวกใต้ดิน (*Coptotermes formosanus* Shiraki) เพิ่มขึ้น โดยมีค่าการสูญเสียน้ำหนักร้อยละ 3-5 หลังจากการเข้าทำลายของปลวกเป็นเวลา 3 สัปดาห์ ในขณะที่แผ่นไม้อัดที่ผลิตจากไม้บางที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายกรดบอริกและสารละลายบอแรกซ์มีค่าการสูญเสียน้ำหนักสูงถึงร้อยละ 23.9

สรุป

การเติมสารบอแรกซ์ลงในกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ทำให้ค่า pH ของกาวยูเรียในสภาวะต่าง และหากเติมสารบอแรกซ์ในปริมาณที่เพียงพอ (ร้อยละ 15 ของน้ำหนักเนื้อกาวแห้ง) ทำให้ค่า gel time ของกาวสั้นลง หรือกาวเกิดการสุกตัวได้เร็วขึ้น เมื่อนำกาวดังกล่าวไปใช้ในการผลิตแผ่นไม้อัดจากไม้บางยางพารา แผ่นไม้อัดที่ได้มีความต้านแรงเฉือน ความต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อราและปลวกใต้ดินเพิ่มขึ้น นอกจากนั้น ปริมาณการระเหยของฟอร์มัลดีไฮด์จากแผ่นไม้อัดลดลง เมื่อเทียบกับแผ่นไม้อัดที่ผลิตจากไม้บางยางพาราและกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์

คำนิยาม

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก กองทุนวิจัย วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีงบประมาณ 2557 (สัญญาทุนเลขที่ 003/2557)

REFERENCES

- Akpabio, U.D. 2012. Effect of pH on the properties of urea formaldehyde adhesives. **International Journal of Modern Chemistry** 2(1): 15-19.
- American Society for Testing and Materials [ASTM]. 1999. **Standard Test Method for Laboratory Evaluation of Wood and Other Cellulosic Materials for Resistance to Termites**. ASTM D 3345-74 (Reapproved 1999).
- _____. 2007. **Standard Test Method for Wood Preservatives by Laboratory Soil-Block Cultures**. ASTM D1413-07e1.
- British Standards Institution. 1996. **BS EN 717-3:1996 Wood-based panels - Determination of formaldehyde release. Formaldehyde release by the flask method**. London.
- Boran, S., M. Usta, S. Ondaral and E. Gümüşkaya. 2012. The efficiency of tannin as a formaldehyde scavenger chemical in medium density fiberboard. **Composites Part B: Engineering** 43(5): 2487-2491.
- Colak, S. and G. Colakoglu. 2004. Volatile acetic acid and formaldehyde emission from plywood treated with boron compound. **Building and Environment** 39(5): 533-536.
- Çolakoğlu, G. and C. Demirkir. 2006. Characteristics of plywood panels produced with urea formaldehyde resin (UF) containing borax. **Holz als Roh- und Werkstoff** 64(3): 250-251.
- Japanese Standards Association. 1994. **General testing methods for adhesives**. JIS K 6833:1994.
- Kartal, S.N. and N. Ayilmis. 2005. Blockboard with boron-treated veneers: Laboratory decay and termite resistance tests. **International Biodeterioration & Biodegradation** 55(2): 93-98.
- _____, _____ and Y. Imamura. 2007. Decay and termite resistance of plywood treated with various fire retardants. **Building and Environment** 42(3): 1207-1211.
- Lesar, B., A. Ugovšek, M. Kariž, M. Šernek and M. Humar. 2011. Influence of boron compounds in adhesives on the bonding quality and fungicidal properties of wood. **Wood Research** 56(3): 285-296.
- Özçifçi, A. 2008. Impacts of impregnation with boron compounds on the bonding strength of wood material. **Construction and Building Materials** 22(4): 541-545.
- Sensogut, C., M. Ozalp and H. Yesil. 2009. The effect of boric acid pentahydrate addition to urea formaldehyde on the mechanical characteristics and free formaldehyde content of plywood. **International Journal of Adhesion & Adhesives** 29: 589-592.
- Teoh, Y.P., M.M. Don and S. Ujang. 2011. Assessment of the properties, utilization, and preservation of rubberwood (*Hevea brasiliensis*): a case study in Malaysia. **Journal of Wood Science** 57: 255-266.

Thai Industrial Standards Institute [TISI]. 2006.

Veneer Plywood. TIS 178-2549. (in Thai)

Vishnuvarthanan, M. and N. Rajeswari. 2013.

Additives for enhancing the drying properties of adhesives for corrugated boards. **Alexandria Engineering Journal** 52(1): 137-140.

Xing, C., S.Y. Zhang, J. Deng. and S. Wang. 2007.

Urea-formaldehyde-resin gel time as

affected by the pH value, solid content, and catalyst. **Journal of Applied**

Polymer Science 103(3): 1566-1569.

Yanjuan, W., F. Yanxiong, T. Wei and L. Chunying.

2013. Preservation of aged paper using borax in alcohols and the supercritical carbon dioxide system. **Journal of Cultural Heritage** 14: 16-22.
