

อิทธิพลของสารซิงค์บอเรตที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราและสมบัติเชิงกลของ วัสดุเชิงประกอบระหว่างพลาสติกกับผงซีลี้อยไม้

Effect of Zinc Borate on Anti-fungal Efficacies and Mechanical Properties of Wood Plastic Composites

ธนกฤต จันทร์หอม^{1,*}, แวบุญญ แยมแสงสังข์² และ ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ¹

Tanakit Chan-Hom^{1,*}, Weawboon Yamsaengsung² and Narongrit Sombatsompop¹

¹กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ สายวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

²สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

¹Polymer PROcessing and Flow (P-PROF) Research Group, Division of Materials technology, School of Energy,
Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand

²School of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University, Nonthaburi, Thailand

*E-mail: the-few-time_for-me@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติเชิงกล การดูดซึมน้ำและประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพลาสติกกับผงซีลี้อยไม้ (WPC) ที่ผสมสารซิงค์บอเรตและมีการปรับเปลี่ยนปริมาณผงซีลี้อยไม้ที่ 0, 50 และ 100 ส่วนในหนึ่งร้อยส่วน (pph) โดยใช้พอลิเมอร์เมทริกซ์ 2 ชนิด ได้แก่ พอลิไวนิลคลอไรด์และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง ทำการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อรา โดยศึกษาการเสื่อมสภาพของชิ้นงานจากเชื้อราทำลายไม้ตามมาตรฐานยุโรป (EN 113-04) โดยใช้เชื้อราฟลุขาวชนิด *Loweporus medullae-panis* ซึ่งประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อรา พิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของชิ้นงานผลการทดลองพบว่า ผงซีลี้อยไม้ทำให้วัสดุประกอบทั้งสองชนิดมีพฤติกรรมแข็งเปราะและการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ส่วนการเติมสารซิงค์บอเรตไม่ส่งผลต่อทั้งสมบัติเชิงกลและการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบทั้งสองชนิด โดย WPVC มีสมบัติเชิงกลสูงกว่า WHDPE ในขณะที่การดูดซึมน้ำของ WPVC น้อยกว่า WHDPE สำหรับประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราพบว่า การเพิ่มปริมาณผงซีลี้อยไม้ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของชิ้นงานเพิ่มขึ้นแต่การผสมสารซิงค์บอเรตที่ 1% ทำให้เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของชิ้นงานลดลง ในขณะที่การเพิ่มปริมาณสารซิงค์บอเรตไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของชิ้นงานเปลี่ยนแปลง โดย WPVC มีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราดีกว่า WHDPE

คำหลัก: วัสดุเชิงประกอบระหว่างพลาสติกกับผงซีลี้อยไม้/สารซิงค์บอเรต/เชื้อราทำลายไม้/สมบัติเชิงกล

Abstract

Mechanical properties, water absorption and anti-fungal efficacies of wood plastic composites (WPC) containing fungicide at various concentrations were evaluated. The zinc borate (ZB) as commercial fungicide was incorporated into wood plastic composites and wood flour was used at 0, 50 and 100 pph. The polymer matrix used was poly(vinyl chloride) (PVC) and high density polyethylene (HDPE). Decay test according to European Union standard (EN 113-04). *Loweporus medullae-panis* as white rot fungi, was used for anti-fungal efficacies evaluation. The results indicated that increased wood flour in PVC and HDPE increase brittle behavior and water absorption of WPC. The addition of zinc borate did not affect mechanical properties and water absorption of WPC. The results suggested that WPVC exhibited better mechanical properties than WHDPE while WPVC showed lower water absorption than WHDPE. For anti-fungal efficacies, weight losses

increased when wood flour content was increased. Incorporation of zinc borate at 1% significantly decreased weight losses of wood plastic composites. While zinc borate greater than 1% did not affect the weight losses of WPC.

Keywords: Wood plastic composites/ Zinc borate / Wood decay fungi / Mechanical properties

1. บทนำ

วัสดุที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคารส่วนมากมักมีไม้เป็นองค์ประกอบหลัก เนื่องจากไม้เป็นวัสดุที่มีความแข็งแรง มีความสามารถในการเก็บเสียงและป้องกันความร้อนได้ดี จึงทำให้เกิดปัญหาการตัดไม้ทำลายป่าเพิ่มมากขึ้น เพื่อลดปัญหาดังกล่าว จึงมีแนวคิดนำพลาสติกผสมกับผงซีล้อยไม้ เรียกว่า วัสดุเชิงประกอบระหว่างพลาสติกกับผงซีล้อยไม้ (Wood Plastic Composite, WPC) หรือไม้เทียม พลาสติกที่นิยมนำมาใช้ผลิตไม้เทียม ได้แก่ พอลิไวนิลคลอไรด์ (Poly(vinyl chloride), PVC)[1] และพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) [2] ไม้เทียมที่ทำจากพอลิไวนิลคลอไรด์ (Wood/PVC Composite, WPVC) มีสมบัติเด่นทางด้านความแข็งแรง ความทนทานต่อสารเคมี อุณหภูมิ และความร้อน ส่วนไม้เทียมที่ทำจากพอลิเอทิลีน นิยมใช้พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (Wood/HDPE Composite, WHDPE) มีสมบัติเด่นทางด้านความเหนียว การรับแรงกระแทก และความทนทานต่อสารเคมี ปัญหาที่มักเกิดขึ้นกับการใช้งานไม้เทียมคือ การเกิดเชื้อราทำลายไม้ (Wood decay fungi) โดยเชื้อราทำลายไม้สามารถเข้าทำลายโครงสร้างของวัสดุเชิงประกอบทำให้อายุการใช้งานของไม้เทียมลดลงได้[3]

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าสารซิงค์บอเรต (Zinc borate) มีสมบัติเด่นทางการยับยั้งเชื้อรา อีกทั้งสารซิงค์บอเรตเป็นสารเติมแต่งมีความเป็นพิษต่ำ[4] ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาการเติมสารซิงค์บอเรตลงในไม้เทียม โดยใช้พอลิไวนิลคลอไรด์และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงเป็นพอลิเมอร์เมทริกซ์และศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสารซิงค์บอเรตที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพลาสติกกับผงซีล้อยไม้

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

พอลิไวนิลคลอไรด์ สารเติมแต่ง และผงซีล้อยไม้ จากบริษัท วีพี วู้ด จำกัด (ประเทศไทย) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง จากบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด มหาชน (ประเทศไทย) สารคู่ควบไซเลน (Silane coupling agents) ชนิด KBM603 จากบริษัท Shin-etsu Chemical จำกัด (ประเทศญี่ปุ่น) สารซิงค์บอเรต จากบริษัท โกเวนเจอร์ จำกัด (ประเทศไทย) และเชื้อราทำลายไม้ชนิด *Loweporus medullae-panis* จากสำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้กรมป่าไม้ (ประเทศไทย)

2.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

นำสารซิงค์บอเรตผสมในวัสดุเชิงประกอบระหว่างพลาสติกกับผงซีล้อยไม้ โดยปรับเปลี่ยนปริมาณสารซิงค์บอเรตที่ 0, 1, 3, 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และปรับเปลี่ยนปริมาณผงซีล้อยไม้ที่ 0, 50 และ 100 ส่วนในร้อยส่วน ทำการผสมแบบแห้งด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูงที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปผสมแบบหลอมเหลวด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ วัสดุเชิงประกอบพอลิไวนิลคลอไรด์ใช้อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ในส่วนวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงใช้อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส จากนั้นขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบอัดด้วยความร้อนระบบแรงดันที่อุณหภูมิเดียวกับการผสมแบบหลอมเหลว โดยใช้ความดัน 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จากนั้นนำมาทดสอบสมบัติต่างๆตามลำดับ

2.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล

การทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน ASTM D570-98 และการทดสอบสมบัติเชิงกลด้านความต้านทานต่อแรงดัดโค้ง ตามมาตรฐาน ASTM D790-03 ด้วยเครื่อง Universal testing machine

2.4 การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อรา

การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราใช้วิธีการวัดค่าการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นงาน (Weight loss) จากการทดสอบด้วยเทคนิคการเสื่อมสภาพของชิ้นงานจากเชื้อราตามมาตรฐาน EN113-04 โดยใช้เชื้อราทำลายไม้ชนิดราฟุขาวสายพันธุ์ *Loweporus medullae-panis* วิธีการทดสอบคือ เลี้ยงเชื้อราในงานเพาะเชื้อเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์หรือจนกว่าเชื้อราเจริญเติบโตเต็มจานเพาะเชื้อ อาหารที่ใช้เลี้ยงเชื้อราคือ มอลต์สกัดผสมกับวุ้นในอัตราส่วน 3:2 ต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร จากนั้นเตรียมชิ้นงานโดยอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักของชิ้นงาน (น้ำหนักก่อนทดสอบ) เมื่อเชื้อราเจริญเติบโตเต็มจาน

เพาะเชื้อให้วางตาข่ายพลาสติกหนา 1 มิลลิเมตรบนเชื้อรา แล้ววางชิ้นงานไว้ด้านบนตาข่ายพลาสติก ปิดฝาจานเพาะเชื้อให้สนิท แล้วฉีกอีกทีด้วยพาราฟินเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากเชื้อราชนิดอื่นๆ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้น 75

เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 3 เดือนเมื่อครบกำหนดทำการกำจัดเส้นใยของเชื้อราบนชิ้นงานออก แล้วอบชิ้นงานที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำชิ้นงานไปชั่งน้ำหนัก (น้ำหนักหลังทดสอบ) คำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนักดังสมการที่ 1

$$\text{Weight loss (\%)} = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100 \quad (1)$$

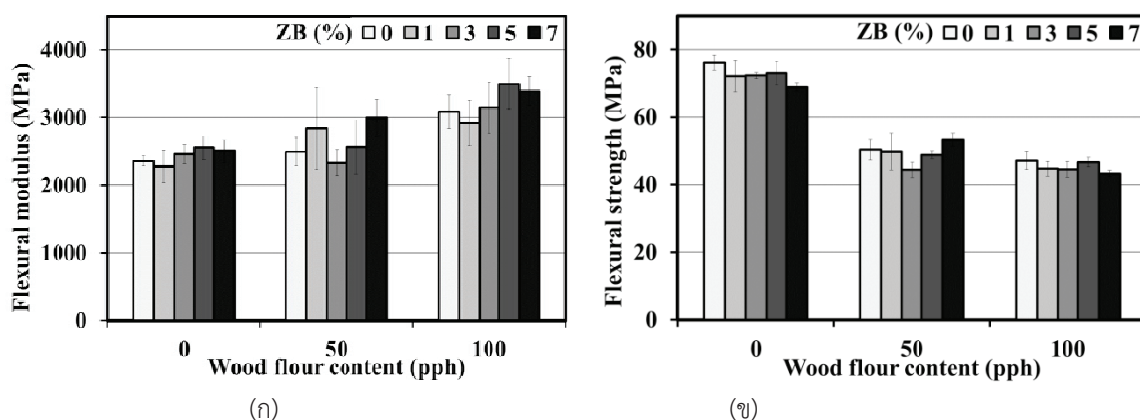
โดยที่ W_i คือ น้ำหนักของชิ้นงานก่อนสัมผัสกับเชื้อรา

W_f คือ น้ำหนักของชิ้นงานหลังสัมผัสกับเชื้อรา

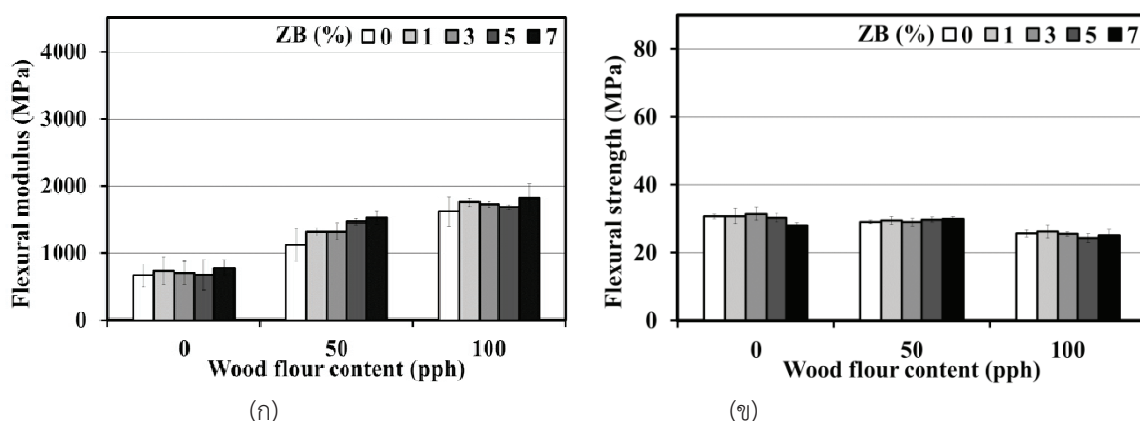
3. ผลและอภิปรายผลการทดลอง

3.1 สมบัติเชิงกล

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลด้านความต้านทานต่อแรงดัดโค้งของ PVC WPVC ที่ผสมผงซีลี้อยู่ 50 และ 100 pph และในส่วนของ HDPE WHDPE ที่ผสมผงซีลี้อยู่ 50 และ 100 pph ที่ผสมสารเชิงค้บอเรตที่ปริมาณต่างๆ แสดงดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบชนิดของพอลิเมอร์ที่ไม่ผสมผงซีลี้อยู่พบว่า PVC มีสมบัติเชิงกลสูงกว่า HDPE ทั้งค่ามอดูลัสดัดโค้งและค่าความต้านแรงดัดโค้ง เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลของ PVC มีแรงดึงดูดระหว่างขั้วที่เกิดขึ้นระหว่างอะตอมของคลอรีนกับไฮโดรเจน ซึ่งเป็นแรงที่มีความแข็งแรงมากกว่าแรงลอนดอนที่เกิดขึ้นในสายโซ่โมเลกุลของ HDPE เมื่อผสมผงซีลี้อยู่ใน PVC และ HDPE พบว่าการเพิ่มปริมาณผงซีลี้อยู่ไม่ส่งผลให้ค่ามอดูลัสดัดโค้งสูงขึ้นและค่าความต้านแรงดัดโค้งลดลง เนื่องจากผงซีลี้อยู่ไม่เป็นอนุภาคที่มีความแข็งแรง จึงทำให้วัสดุแสดงพฤติกรรมแข็งเปราะเพิ่มขึ้น และเมื่อผสมสารเชิงค้บอเรตใน WPVC และ WHDPE พบว่าสารเชิงค้บอเรตไม่ทำให้สมบัติเชิงกลเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yildiz และคณะ [5]



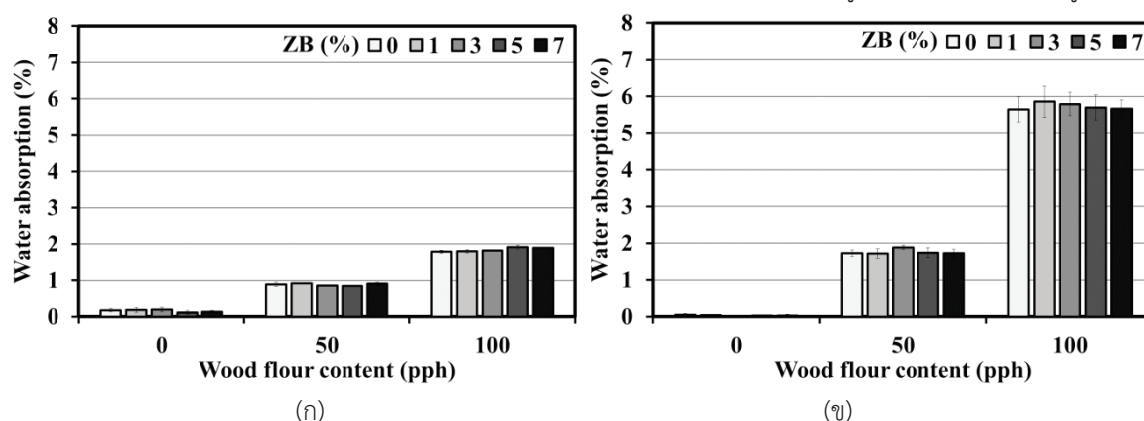
รูปที่ 1 มอดูลัสดัดโค้ง(ก)และความต้านแรงดัดโค้ง(ข)ของ WPVC ที่ผสมผงซีลี้อยู่และสารเชิงค้บอเรตที่ปริมาณต่างๆ



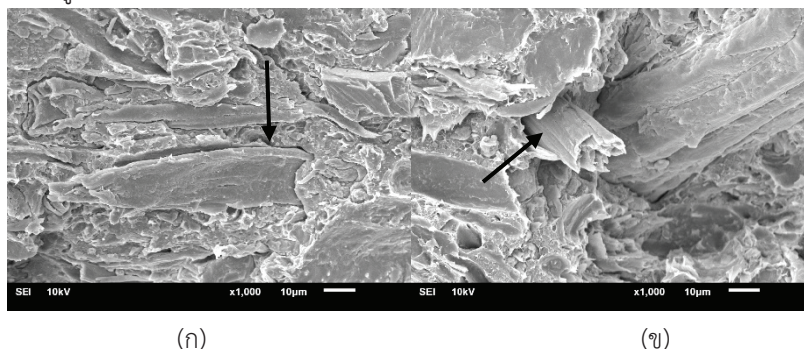
รูปที่ 2 มอดูลัสดัดโค้ง(ก)และความต้านแรงดัดโค้ง(ข)ของ WHDPE ที่ผสมผงซีลี้อยู่และสารเชิงค้บอเรตที่ปริมาณต่างๆ

3.2 สมบัติการดูดซึมน้ำ

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของชิ้นงานที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณผงซีลี้อยู่ไม่และสารซิงค์บอเรตแสดงดังรูปที่ 3 พบว่า ทั้ง PVC และ HDPE ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดเป็นวัสดุที่มีความไม่ชอบน้ำ ในขณะที่การผสมผงซีลี้อยู่ไม่ใน PVC และ HDPE พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณผงซีลี้อยู่ไม่ที่มากขึ้น ทั้ง WPVC และ WHDPE เนื่องจากผงซีลี้อยู่ไม่มีสมบัติความชอบน้ำ เมื่อผสมสารซิงค์บอเรตในพอลิเมอร์และวัสดุเชิงประกอบทั้งสองชนิดพบว่า เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากสารซิงค์บอเรตมีสมบัติการละลายต่ำที่อุณหภูมิห้องซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tascioglu และคณะ[6] และเป็นที่น่าสนใจว่า WHDPE มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำมากกว่า WPVC เนื่องจาก WHDPE มีช่องว่างระหว่างเฟสของพอลิเมอร์เมทริกซ์กับผงซีลี้อยู่ไม่มากกว่า WPVC โดยยืนยันได้จากภาพถ่าย SEM ของภาคตัดขวางของวัสดุเชิงประกอบทั้งสองชนิด แสดงดังรูปที่ 4 ช่องว่างระหว่างเฟสของวัสดุเชิงประกอบเกิดจากการหดตัวของพอลิเมอร์ที่แตกต่างกันโดยพอลิเมอร์ที่มีการหดตัวมากจะเกิดช่องว่างระหว่างเฟสมาก ซึ่งปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการหดตัวของพอลิเมอร์คือ ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน ซึ่งพบว่า HDPE มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนสูงกว่า PVC ดังนั้น WHDPE จึงมีช่องว่างระหว่างเฟสมากกว่า WPVC ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของ WHDPE สูงกว่า WPVC



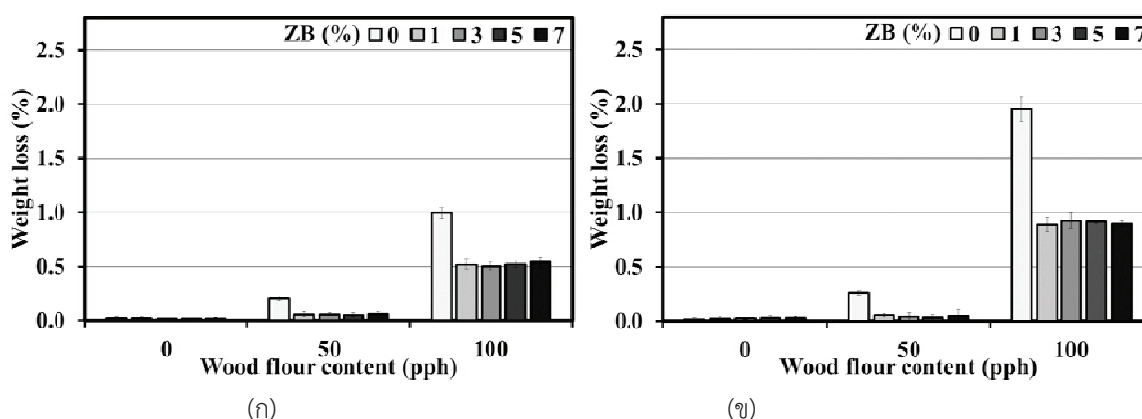
รูปที่ 3 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของ (ก) WPVC และ (ข) WHDPE ที่ผสมผงซีลี้อยู่ไม่และสารซิงค์บอเรตที่ปริมาณต่างๆ



รูปที่ 4 ภาพถ่าย SEM ของภาคตัดขวางของ (ก) 100WPVC และ (ข) 100WHDPE ที่ไม่ผสมสารซิงค์บอเรต

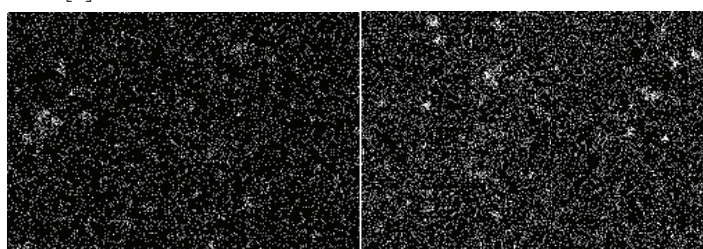
3.3 ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อรา

ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราพิจารณาได้จากเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของชิ้นงานหลังจากสัมผัสกับเชื้อรา 3 เดือน ถ้าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อย แสดงว่าชิ้นงานมีความทนทานต่อการถูกทำลายจากเชื้อราได้ดีผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของชิ้นงานของ (ก) WPVC และ (ข) WHDPE ที่ผสมผงซีลื้อยไม้และสารซิงค์บอเรต

เมื่อผสมผงซีลื้อยไม้ใน PVC และ HDPE พบว่า เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของชิ้นงานของ WPVC และ WHDPE มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณผงซีลื้อยไม้ เนื่องจากเชื้อราสามารถย่อยสลายเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนินที่เป็นองค์ประกอบหลักของผงซีลื้อยไม้ได้ ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณผงซีลื้อยไม้ น้ำหนักของชิ้นงานจึงสูญเสียมากขึ้น ในกรณีการผสมสารซิงค์บอเรตในวัสดุเชิงประกอบทั้งสองชนิดพบว่า เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของชิ้นงานลดลง เนื่องจากสารซิงค์บอเรตมีสมบัติยับยั้งเชื้อรา และการเติมซิงค์บอเรตมากกว่า 1% ไม่ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของชิ้นงานลดลง ซึ่งอธิบายได้จาก กลไกการทำลายเนื้อไม้ของเชื้อราคือเชื้อราจะใช้เส้นใยเจาะทะลุพื้นผิวของชิ้นงานเพื่อเข้าไปย่อยสลายซีลื้อยไม้ที่อยู่ด้านในโครงสร้างของชิ้นงาน ดังนั้นถ้าพื้นผิวของชิ้นงานมีพื้นที่ผิวจำเพาะของสารซิงค์บอเรตมาก เชื้อราจะมีโอกาสเจาะเข้าทำลายโครงสร้างของชิ้นงานได้น้อย กรณีการเติมสารซิงค์บอเรตที่มากกว่า 1% พบว่า สารซิงค์บอเรตเกิดการเกาะกลุ่มกันเอง ซึ่งยืนยันได้จากภาพถ่าย SEMโหมด EDS แสดงดังรูปที่ 6 ส่งผลให้พื้นที่ผิวจำเพาะของสารซิงค์บอเรตที่บริเวณพื้นผิวของชิ้นงานไม่ได้มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้น เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของชิ้นงานจึงไม่เปลี่ยนแปลง และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของชิ้นงานของ WHDPE มีค่าสูงกว่า WPVC เนื่องจาก WHDPE มีช่องว่างระหว่างเฟสมากกว่า WPVC โดยเชื้อราสามารถเจาะเข้าไปในโครงสร้างของชิ้นงานได้เฉพาะบริเวณที่มีช่องว่าง [7] อีกทั้งการมีช่องว่างส่งผลให้ชิ้นงานได้รับความชื้นมากขึ้นทำให้เชื้อราเกิดการเจริญเติบโตได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tascioglu และคณะ [8]



รูปที่ 6 ภาพถ่าย SEM-EDS ของธาตุซิงค์ที่กระจายตัวอยู่บนพื้นผิว (ก) 100WPVC และ (ข) 100WHDPE (สารซิงค์บอเรต 7%)

4. สรุปผลการทดลอง

การผสมผงซีลื้อยไม้ใน PVC และ HDPE ทำให้วัสดุมีพฤติกรรมแข็งเปราะเพิ่มขึ้น ในขณะที่สมบัติเชิงกลของการผสมสารซิงค์บอเรตในพอลิเมอร์และวัสดุเชิงประกอบทั้งสองชนิดไม่มีการเปลี่ยนแปลงการผสมผงซีลื้อยไม้ในพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดส่งผลให้การดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น แต่การผสมสารซิงค์บอเรตทำให้การดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์และวัสดุเชิงประกอบทั้งสองชนิดไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดย WHDPE มีการดูดซึมน้ำดีกว่า WPVC เชื้อราไม่สามารถย่อยสลาย PVC และ HDPE ได้ และเมื่อผสมผงซีลื้อยไม้ลงไปส่งผลให้ความทนทานต่อเชื้อราของวัสดุเชิงประกอบทั้งสองชนิดลดลง การเติมสารซิงค์บอเรตช่วยเพิ่มความทนทานต่อเชื้อราของวัสดุเชิงประกอบ หากเติมสารซิงค์บอเรตมากกว่า 1% ไม่ทำให้ความทนทานต่อเชื้อราของวัสดุเชิงประกอบมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นปริมาณของสารซิงค์บอเรตที่เหมาะสมสำหรับ WPVC และ WHDPE คือ 1%

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยฯ ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) สัญญาเลขที่ MSD57I0021 และบริษัท โกเวนเจอร์ จำกัด (ประเทศไทย) สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัย และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ สำหรับอุปกรณ์และห้องปฏิบัติการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Jeamtrakull, S., Kositchaiyong, A., Markpin T., Rosarpitak, V. and Sombatsompop, N. (2012). Effect of wood constituents and content, and glass fiber reinforcement on wear behavior of wood/PVC composites. *Composites: Part B Engineering*, Vol. 43, (7), pp. 2721 - 2729.
- [2] Behzad, H.M., Ashori, A., Tarmian A. and Tajvidi, M. (2012). Impacts of wood preservative treatments on some physico-mechanical properties of Wood flour/high density polyethylene composites. *Construction and Building Materials*, Vol. 35, pp. 246 - 250.
- [3] Naumann, A., Stephan, I. and Noll, M. (2012). Material resistance of weathered wood-plastic composites against fungal decay. *International Biodeterioration & Biodegradation*, Vol. 75, pp. 28 - 35.
- [4] Xu, X., Lee, S., Wu, Y. and Wu, Q. (2013). Borate-treated strand board from southern wood species: resistance against decay and mold fungi. *Bioresources*, Vol. 8, (1), pp. 104-114.
- [5] Yildiz, B., Seydibeyoglu, M.O. and Guner, F.S. (2009). Polyurethane-zinc borate composites with high oxidative stability and flame retardancy, *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 94, (7), pp. 1072 - 1075.
- [6] Tascioglu, C., Yoshimura, T. and Tsunoda, K. (2013). Biological performance of wood-plastic composites containing zinc borate: laboratory and 3-year field test results. *Composites Part B: Engineering*, Vol. 51, pp. 185 - 190.
- [7] Pendleton, D.E., Hoffara, T.A., Adcock., Woodward, B. and Wolcott, M.P. (2001). Durability of an extruded HDPE/wood composite. *Forest Product Journal*, Vol. 52, (6), pp. 21-27.
- [8] Tascioglu, C., Goodell, B., Lopez-Anido, R., Peterson, M., Halteman, W. and Jellison, J. (2003). Monitoring fungal degradation of glass/phenolic reinforced polymer (FRP) composites used in wood reinforcement. *International Biodeterioration & Biodegradation*, Vol. 51, (3), pp. 157 - 165.