

# ภาวะชีวภาพจากการปรับแต่งแป้งมันสำปะหลังที่เป็นของเสีย/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เชื่อมขวางด้วยกรดแทนนิกสำหรับการประยุกต์ใช้งานในไม้

ชโลธร เจริญสูงเนิน ฅัญฐ์นรี ศรีเชียงสา และ พรนภา เกษมศิริ \*

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น

\* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: pornkas@kku.ac.th

วันที่รับบทความ: 10 ตุลาคม 2565; วันที่ทบทวนบทความ: 28 มีนาคม 2566; วันที่ตอบรับบทความ: 11 พฤษภาคม 2566

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 29 กรกฎาคม 2566

**บทคัดย่อ:** ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่การเพิ่มมูลค่าให้กับแป้งที่เป็นของเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังโดยการนำมาสังเคราะห์เป็นแป้งคาร์บอกซิเมทิล (CMS) เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ภาวะชีวภาพ และใช้กรดแทนนิก (TA) เป็นสารเชื่อมขวาง การเชื่อมขวางของภาวะชีวภาพสามารถยืนยันผลได้จากการพบพีคของพันธะเอสเทอร์ ปริมาณภาวะที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานคือ 500 กรัมต่อตารางเมตร มีค่าความต้านทานแรงเฉือนระยะเวลาการเก็บรักษา 7 วัน เท่ากับ 2.35 เมกะปาสคาล เมื่อใช้งานภายในอาคารที่อุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตาม ค่าต้านทานแรงเฉือนลดลงเมื่อนำไปใช้งานในสภาวะที่มีความชื้นสูง และภายนอกอาคาร เนื่องจากทั้งสองสภาวะทำให้โครงสร้างของภาวะชีวภาพมีปริมาตรอิสระ (Free Volume) ที่มากขึ้นส่งผลให้สายโซ่พอลิเมอร์เคลื่อนตัวได้ง่าย ภาวะชีวภาพที่สังเคราะห์มาจากแป้งที่เป็นของเสียแสดงให้เห็นถึงความสามารถที่ดีในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมไม้ได้ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับแป้งที่เป็นของเสีย และยังสามารถลดการใช้งานภาวะที่ได้จากปิโตรเคมี

**คำสำคัญ:** ภาวะชีวภาพ; แป้งเสีย; แป้งคาร์บอกซิเมทิล; พอลิไวนิลแอลกอฮอล์; กรดแทนนิก

# Bio-adhesive based Modified Cassava Starch Waste/polyvinyl Alcohol Crosslinked with Tannic Acid for Wood Application

Chaloton Jarensungnen, Natnaree Srichiangsa and Pornnapa Kasemsiri\*

Division of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

\* Corresponding author, E-mail: peerapon.c@rmutsb.ac.th

Received: 10 October 2022; Revised: 28 March 2023; Accepted: 11 May 2023

Online Published: 29 July 2023

**Abstract:** This research aimed to add value to the waste cassava starch from the starch factory by synthesizing it as a carboxymethyl starch (CMS) and then using it as a raw material to prepare bio-adhesive and using tannic acid (TA) as a crosslinking agent. The cross-linking of the bio-adhesive was confirmed by the presence of ester bond peaks. The optimum amount of adhesive for use was 500 g/m<sup>2</sup>. The stable shear strength over 7 days was 2.35 MPa when used indoors at room temperature. However, the shear strength was decreased when used in high humidity conditions and outdoors due to both conditions increased free volume in the bio-adhesive structure, the polymer chains are easy to move. Bio-adhesives synthesized from waste cassava starch showed excellent properties to be applied in the wood industry for the added value to the waste cassava starch and also reduce the use of adhesives from petrochemicals.

**Keywords:** Bio-adhesive; Starch waste; Sodium carboxymethyl starch; Polyvinyl alcohol; Tannic acid



## 1. บทนำ

อุตสาหกรรมไม้ส่วนใหญ่ในปัจจุบันใช้เป็นสารยึดเหนี่ยวหรือกาวที่ผลิตจากจากปิโตรเคมี เช่น ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea-formaldehyde) ฟีนอลิกฟอร์มัลดีไฮด์ (Phenolic-formaldehyde) และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ (Melamine-formaldehyde) เป็นต้น เนื่องจากมีความสามารถในการยึดเหนี่ยวที่ดี มีความทนทานต่อความร้อนและความชื้นในระหว่างการใช้งาน [1] อย่างไรก็ตามกาวที่มีฟอร์มัลดีไฮด์เป็นองค์ประกอบจะปลดปล่อยก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ ตั้งแต่กระบวนการผลิตตลอดจนสิ้นอายุการใช้งานของกาว ซึ่งองค์การอนามัยโลก (World Health Organization, WHO) ได้จัดให้ก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ที่ปลดปล่อยออกมามากกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในระยะเวลา 30 นาที จากกาวมีความเป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์ และสิ่งแวดล้อม [2] ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการศึกษาการสังเคราะห์กาวจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติอย่างกว้างขวาง เช่น โพรตีน [3] ไคโตซาน (Chitosan) [4] แป้ง [5] เนื่องจากวัตถุดิบตั้งต้นที่หาได้จากธรรมชาติมีอยู่เป็นจำนวนมากและไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษ [6] แป้งเป็นวัสดุธรรมชาติที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากที่นำมาสังเคราะห์กาว เช่น แป้งสาลี แป้งข้าวโพด และแป้งมันสำปะหลัง [7] ซึ่งแป้งแต่ละชนิดมีองค์ประกอบของอะไมโลส (Amylose) และอะไมโลเพกทิน (Amylopectin) ที่แตกต่างกัน ส่งผลให้มีสมบัติแตกต่างกันไปด้วยแป้งมันสำปะหลังมีองค์ประกอบของอะไมโลเพกทินร้อยละ 83 [8] ทำให้มีคุณสมบัติในการเกิดเจลที่ต่ำ นอกจากนี้ แป้งมันสำปะหลังยังมีโรงงานผลิตหลายแห่ง ซึ่งในระหว่างกระบวนการผลิตแป้งจะมีแป้งที่ปะปนกับน้ำที่ใช้ในการทำความสะดวกระบบการผลิต เมื่อนำน้ำแป้ง

ไปผ่านกระบวนการทำแห้งแล้ว แป้งที่ได้จะเป็นแป้งที่ไม่ผ่านมาตรฐาน มีมูลค่าต่ำ จากงานวิจัยที่ผ่านมา มีแนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้กับแป้งที่ไม่ผ่านมาตรฐาน เช่น การนำมาผลิตเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing Sugar) [9] และผลิตเอทานอล (Ethanol) [10] นอกจากนี้แป้งยังสามารถนำมาผลิตเป็นกาวได้ด้วย อย่างไรก็ตามกาวที่สังเคราะห์จากแป้งที่ไม่ได้ปรับแต่งโครงสร้างยังคงพบปัญหาเนื่องจากมีความหนืดที่ต่ำ และละลายน้ำได้ยาก [11] ได้มีนักวิจัยพบว่าแป้งคาร์บอกซิเมทิล (Carboxymethyl Starch: CMS) เป็นแป้งที่ได้มีการปรับแต่งโครงสร้าง หมู่คาร์บอกซิเมทิลที่อยู่ในโครงสร้างของ CMS จะช่วยให้กาวที่สังเคราะห์ขึ้นมีความหนืดสูงขึ้นเมื่อเทียบกับแป้งที่ไม่ปรับแต่ง [12] ในงานวิจัยของ Junidah Lamaming และคณะ [1] ได้สังเคราะห์กาวจาก CMS และ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl Alcohol: PVA) พบว่าการเติม PVA ทำให้มีความคงตัวระหว่างการรักษาที่ดีขึ้น ความแข็งแรงในการยึดเกาะเพิ่มสูงขึ้นจาก 9.04 เมกะปาสคาล เป็น 16.9 เมกะปาสคาล และมีสมบัติป้องกันน้ำที่ดี ทั้งนี้ PVA ได้รับความนิยมในการนำมาประยุกต์ใช้เป็นกาวเนื่องด้วยมีราคาถูก ทนต่อสารเคมี มีความเข้ากันได้ดีระหว่าง CMS และ PVA [1]

กรดแทนนิก (Tannic Acid: TA) เป็นกรดอ่อนที่ประกอบไปด้วยพอลิฟีนอลิก (Polyphenolic) มีคุณสมบัติตกตะกอน โพรตีน พอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) และ แอลคาลอยด์ (Alkaloid) นอกจากนี้ TA ยังนิยมใช้เป็นตัวเชื่อมขวางเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุ ในงานวิจัยของ Saman Ghahri และคณะ [13] ได้ใช้ TA มาเป็นตัวเชื่อมขวางในโครงสร้างของกาวที่สังเคราะห์มาจากถั่วเหลือง



พบว่า การเติม TA นั้นช่วยเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะร้อยละ 11.3 และลดอัตราการดูดซึมน้ำของไม้ได้ เนื่องจากหมู่ฟีนอลิกในโครงสร้างของ TA ทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนในโครงสร้างของถั่วเหลือง

ไม้ถูกนำมาใช้ในหลากหลายสภาวะทั้งภายใน และภายนอก ดังนั้นการทดสอบความคงทนของกาวสำหรับไม้ในสภาวะต่างๆจึงเป็นสิ่งสำคัญ ในงานวิจัยของ Eirik Raknes [14] ได้ทำการนำกาวจากโรงงานมาทำการทดสอบความแข็งแรงของกาวสำหรับไม้ภายใน และภายนอกอาคารเมื่อเวลาผ่านไป 30 ปี พบว่าไม้ที่วางทิ้งไว้ภายนอกอาคารเกิดการลอกชั้นวัสดุ (Delamination) และมีค่าความแข็งแรงลดลง นอกจากนี้ในงานวิจัยของ Li li และ Cai wang [15] ได้ทำการสังเคราะห์กาวจากพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate) และทดสอบความคงทนของกาวโดยการนำไม้ที่ทา กาวไปวางไว้ในสภาวะความชื้นสูง (98-100%RH) พบว่าเมื่อเวลาในการสัมผัสความชื้นเพิ่มมากขึ้น ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) ของกาวลดลง เนื่องจากมีโมเลกุลของน้ำจำนวนมากแพร่เข้าไปในโครงสร้างของกาว ซึ่งค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วเป็นค่าที่สายโซ่พอลิเมอร์เริ่มเคลื่อนที่เมื่อได้รับความร้อน [16]

ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะเพิ่มมูลค่าให้กับแป้งเสียจากโรงงานโดยการนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์เป็นกาวชีวภาพ และใช้ TA เป็นสารเชื่อมขวางเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกาวชีวภาพ โดยทำการวิเคราะห์ลักษณะทางจุลภาคของกาวชีวภาพ และหาปริมาณกาวที่เหมาะสมรวมถึงวิเคราะห์ความคงทนของกาวชีวภาพ

## 2. วิธีการวิจัย

### 2.1 วัสดุอุปกรณ์

แป้งมันสำปะหลังที่เป็นของเสียจากบริษัท แก่นเจริญ จำกัด พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl Alcohol: PVA) ที่มีระดับการเกิดพอลิเมอร์ไซเทชัน 1,700-1,800 ความหนืด 25-32 เซนติพอยซ์ การไฮโดรไลซิสร้อยละ 98-99 โดยโมล ผลิตจาก Laboratory Reagents & Fine Chemical กรดแทนนิก (Tannic Acid: TA) กรดแทนนิก (TA) มวลโมเลกุล 1701.20 กรัมต่อโมล จากบริษัท Sigma-Aldrich โซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท (Sodium Mono Chloroacetate:  $C_2H_2ClNaO_2$ ) ความบริสุทธิ์ 98% มวลโมเลกุล 116.48 กรัมต่อโมล จากบริษัท Acros Organics ไอโซโพรพานอล (Isopropanol:  $C_3H_8O$ ) ความบริสุทธิ์ 99.9% จากบริษัท RCI Labscan กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid: HCl) 37% จากบริษัท RCI Labscan Limited เอทานอล (Ethanol:  $C_2H_5OH$ ) ความบริสุทธิ์ 99.8% จากบริษัท RCI Labscan โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium Carbonate:  $Na_2CO_3$ ) ความบริสุทธิ์ 99.8% มวลโมเลกุล 105.99 กรัมต่อโมล จากบริษัท Ajax Fine Chemicals โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide: NaOH) จากบริษัท RCI Labscan Limited และน้ำปราศจากประจุ (Deionized Water: DI)

### 2.2 วิธีทดลอง

2.2.1 การเตรียมแป้งคาร์บอกซีเมทิล (Carboxymethyl Starch: CMS) โดยนำแป้งมันสำปะหลังที่เป็นของเสียจากโรงงาน 20 กรัม ผสมกับ Isopropanol 162 มิลลิลิตร แล้วปรับให้มี pH เท่ากับ 11 ด้วย 30 มิลลิโมลาร์ NaOH บ่ม 30 นาที หลังจากนั้นใส่สาร Sodium Mono Chloroacetate 14.38 กรัม ลงในแป้งที่



เตรียมไว้แล้วปั้น 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาทำการกรองสารละลายออกแล้วนำตะกอนที่ได้ไปล้างด้วย 95% Ethanol ปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 5.5 – 6.5 ด้วย HCl ทำการล้างด้วย 85% ethanol จนมีค่า pH เป็นกลาง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง

2.2.2 การสังเคราะห์กาว ทำการละลาย PVA 5 กรัม ในน้ำ DI 80 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส หลังจากละลายเข้ากันแล้วลดอุณหภูมิให้เหลือ 60 องศาเซลเซียส นำ CMS ที่สังเคราะห์ได้ 10 กรัม ใส่ลงไปในการละลาย PVA ที่เตรียมไว้ แล้วนำมาพักที่อุณหภูมิห้อง เมื่อสารละลายมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้ว ทำการใส่สารละลาย TA ความเข้มข้น 0.25% (โดยน้ำหนักเทียบกับปริมาตร) 12 มิลลิลิตร

### 2.3 การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของกาว

วิเคราะห์ลักษณะทางเคมีโดยใช้ ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy: FT-IR) ยี่ห้อ Bruker รุ่น Alpha II ที่เลขคลื่น 500 – 4000 เซนติเมตร<sup>-1</sup>

### 2.4 การวิเคราะห์หาอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้ว (Tg)

ศึกษาอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้ว ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) รุ่น Polyma 214 Netzsch อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียส ต่อนาที จากอุณหภูมิ 10 ถึง 100 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะบรรยากาศไนโตรเจน

### 2.5 การวิเคราะห์หาปริมาณของกาวที่เหมาะสมสำหรับประยุกต์ใช้งานร่วมกับไม้

ทำการเตรียมไม้ขนาด 2.5 x 8 ตารางเซนติเมตร แล้วทา กาวลงบนแผ่นไม้โดยใช้พื้นที่ 2.5 x 3 ตาราง-

เซนติเมตร โดยใช้ปริมาณกาว 350, 400, 450, 500 และ 550 กรัมต่อตารางเมตร หลังจากนั้นทำการเกลี่ยกาวให้ทั่วพื้นที่ที่ได้จำกัดไว้แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำการถ่ายรูปเพื่อดูปริมาณกาวที่ล้นออกมาและนำไปวัดค่าความแข็งแรงด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น EHF-EG10-20L ทำการทดลองซ้ำเป็นจำนวน 6 รอบ

### 2.6 การวิเคราะห์ความคงทนของกาว

ทำการเตรียมไม้ขนาด 2.5 x 8 ตารางเซนติเมตร แล้วทา กาวลงบนแผ่นไม้ที่จำกัดพื้นที่ 2.5 x 3 ตารางเซนติเมตร โดยใช้ปริมาณกาวที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์หาปริมาณกาวที่เหมาะสม หลังจากนั้นนำแผ่นไม้ที่ได้ทา กาวแล้วไปวางไว้ในสภาวะ 3 สภาวะ ได้แก่ สภาวะอุณหภูมิห้อง สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 75% และที่สภาวะท่ามกลางแสงแดด (9 ชั่วโมงต่อวัน ทดลองในเดือนมิถุนายน) เป็นเวลา 7 วัน เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำไปวัดค่าความแข็งแรงด้วยเครื่อง UTM ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น EHF-EG10-20L เพื่อวิเคราะห์ความคงทนของกาวต่อสภาวะต่างๆ ทำการทดลองซ้ำเป็นจำนวน 6 รอบ

## 3. ผลการวิจัย

### 3.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของกาว

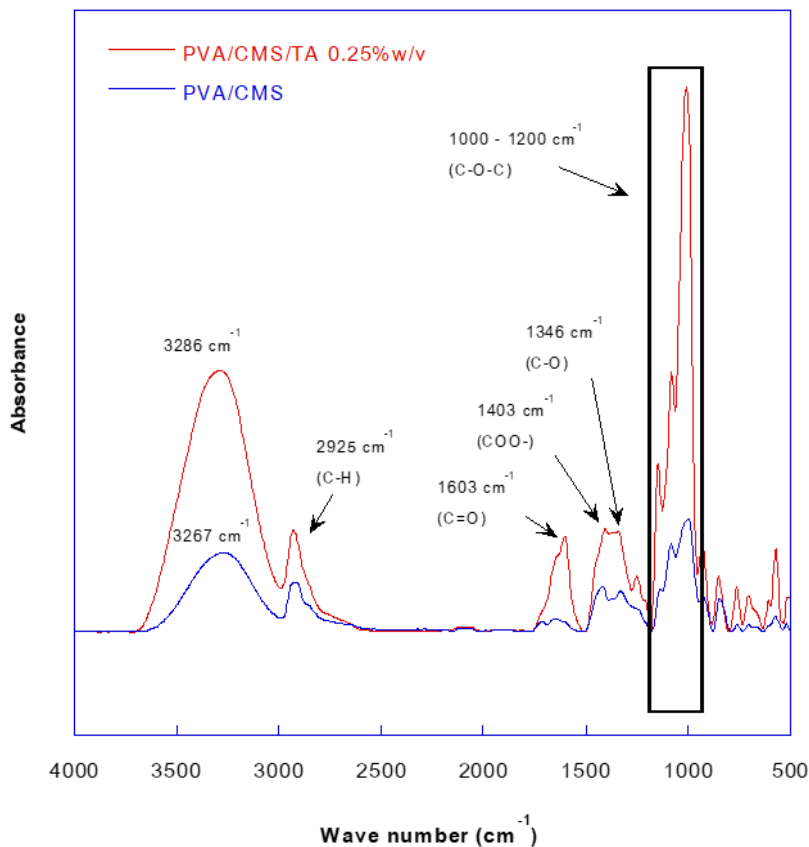
ทำการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของกาวด้วยเทคนิค FT-IR จากรูปที่ 1 ลักษณะของพอลิเมอร์ผสม CMS/PVA พบพีคที่ 1430 เซนติเมตร<sup>-1</sup> แสดงถึงหมู่คาร์บอกซิล (COO<sup>-</sup>) พีคที่ 1346 เซนติเมตร<sup>-1</sup> แสดงถึงหมู่คาร์บอนิล (C=O) พีคที่ 1000-1200 เซนติเมตร<sup>-1</sup> แสดงถึงหมู่อีเทอร์ (C-O-C) พีคที่ 2925 เซนติเมตร<sup>-1</sup>



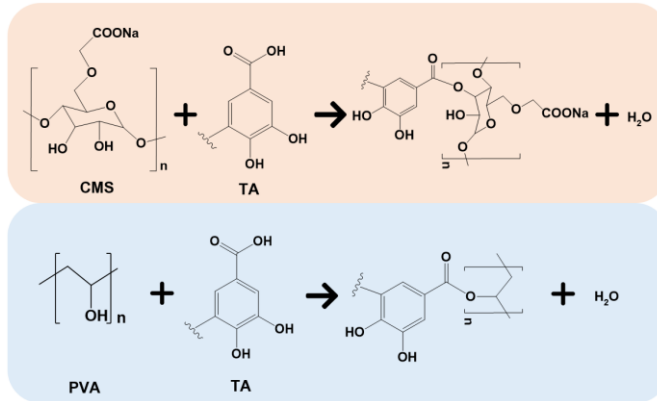
แสดงถึงหมู่แอลเคน (C-H) เมื่อมีการเติม TA จะเห็นลักษณะเฉพาะพีคที่ตำแหน่ง 1603 เซนติเมตร<sup>-1</sup> ซึ่งแสดงถึงพันธะเอสเทอร์ (C=O) ระหว่าง TA CMS และ PVA และพีคที่ตำแหน่ง 1000-1200 เซนติเมตร<sup>-1</sup> มีความชัดเจนมากขึ้นเนื่องจากการมีอยู่ของหมู่อีเทอร์ภายในโครงสร้างของกรดแทนนิก [17] นอกจากนี้พบการเลื่อนของพีคในช่วง 3100-3700 เซนติเมตร<sup>-1</sup> สอดคล้องกับหมู่ไฮดรอกซิล (OH) แสดงให้เห็นถึงการเกิดการเชื่อมขวางภายในโครงสร้างของกาว โดยกระบวนการเชื่อมขวางของกาวแสดงในรูปที่ 2

### 3.2 การวิเคราะห์หาอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้ว ( $T_g$ )

การวิเคราะห์อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้วด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) พบว่ากาว CMS/PVA มีค่า  $T_g$  อยู่ที่อุณหภูมิ 51 องศาเซลเซียส และเมื่อมีการเติม TA เข้าไปในโครงสร้างกาวพบว่า  $T_g$  มีค่าสูงขึ้นเป็น 63 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 3 เนื่องจากการเกิดการเชื่อมขวางทางเคมีภายในโครงสร้างกาว ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เคลื่อนที่ได้ยากขึ้น [18]



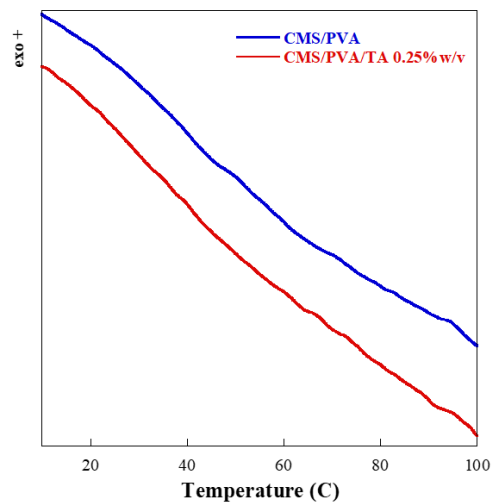
รูปที่ 1 กราฟ FT-IR ของกาวชีวภาพ CMS/PVA และ CMS/PVA/TA



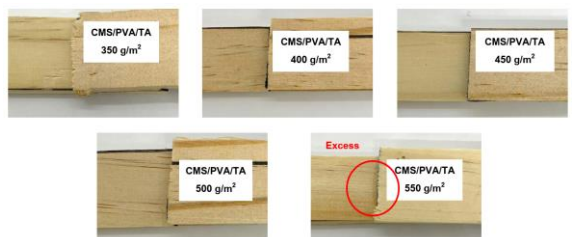
รูปที่ 2 กระบวนการเชื่อมขวางของกาว

### 3.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณที่เหมาะสมของกาว

จากการทดลองหาปริมาณกาวที่เหมาะสมในช่วง 350-550 กรัมต่อตารางเมตร พบว่าเมื่อใช้กาวในปริมาณที่ 550 กรัมต่อตารางเมตร จะทำให้มีกาวบางส่วนล้นออกมา ดังแสดงในรูปที่ 4 เมื่อนำตัวอย่างไปทำการทดสอบค่าความต้านทานแรงเฉือนโดยใช้เครื่อง UTM ในการวิเคราะห์พบว่ามีความต้านทานแรงเฉือนเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่ 0.946 ถึง 2.357 เมกะปาสคาล เมื่อปริมาณกาวเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 1 ทั้งนี้ เนื่องจากเมื่อปริมาณกาวเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ความแข็งแรงของพันธะไฮโดรเจนสูงขึ้น [19] อย่างไรก็ตาม การใช้ปริมาณกาวที่ 550 กรัมต่อตารางเมตร ทำให้ค่าความต้านทานแรงเฉือนลดลง เนื่องจากมีการล้นออกมาของกาวซึ่งแสดงถึงปริมาณกาวที่ไม่จำเป็น นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าด้านทานแรงเฉือนที่สูงที่สุดกับงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีความใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 3 กราฟ DSC ของกาวชีวภาพ CMS/PVA และ CMS/PVA/TA



รูปที่ 4 ปริมาณกาวที่ทาลงบนแผ่นไม้



ตารางที่ 1 ค่าความแข็งแรงของกาวที่ปริมาณต่างๆ

ปริมาณกาว (กรัมต่อตารางเมตร)	ค่าความแข็งแรงเฉลี่ย (เมกะปาสคาล)
350	0.946 ± 0.09
400	2.018 ± 0.13
450	2.096 ± 0.12
500	2.357 ± 0.11
550	2.140 ± 0.14

ตารางที่ 2 ค่าความแข็งแรงของกาวจากงานวิจัยต่างๆ

กาว	ค่าความแข็งแรง (เมกะปาสคาล)
CMS/PVA/TA (งานวิจัยนี้)	2.36
PVA/Tannin/Boric Acid	2.8 [20]
PVA/Starch/Sodium Metabisulphite	2.4 [21]
MCC/PVA/Boric Acid	2.4 [22]
SP/Br/PTGE/TA/Zn <sup>2+</sup>	2.57 [23]

ตารางที่ 3 ค่าความแข็งแรงของกาวในสภาวะต่างๆ  
หลังผ่านไป 7 วัน

สภาวะ	ค่าความแข็งแรงเฉลี่ย (เมกะปาสคาล)
ค่าเริ่มต้น	2.358 ± 0.11
อุณหภูมิห้อง	2.357 ± 0.20
ความชื้น 75 %	1.568 ± 0.14
แสงแดด	1.726 ± 0.14

### 3.3 ผลการวิเคราะห์ความคงทนของกาว

เนื่องจากปริมาณที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานของกาว คือ 500 กรัมต่อตารางเมตร จึงได้นำปริมาณกาวที่เหมาะสมนี้มาทดสอบความคงทนในสภาวะการใช้งานที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ ได้แก่ การใช้งานภายในอาคารที่อุณหภูมิห้อง บริเวณที่มีความชื้น 75% และภายนอกอาคารที่ได้รับแสงแดด เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นจึงทำการทดสอบความต้านทานแรงเฉือน ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าไม้ที่ถูกติดด้วยกาวแล้ววางไว้ภายในอาคารที่อุณหภูมิห้องมีค่าความต้านทานแรงเฉือนเท่ากับ 2.35 เมกะปาสคาล ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าเริ่มต้น อย่างไรก็ตามในสภาวะที่มีความชื้นสูงและภายนอกอาคารที่ได้รับแสงแดด ค่าความต้านทานแรงเฉือนของกาวมีค่าลดลงโดยมีค่าเท่ากับ 1.57 และ 1.73 เมกะปาสคาล ตามลำดับ เนื่องจากโมเลกุลของน้ำสามารถแพร่เข้าไปภายในโครงสร้างของพอลิ-เมอร์เมทริกซ์ส่งผลให้มีปริมาตรอิสระภายในโครงสร้างเพิ่มมากขึ้น ในกรณีที่ได้รับแสงแดด การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเพิ่มและลดลงเป็นวัฏจักรทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ยืดและหดตัวสลับไปมา [24] ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแยกตัวและเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้นส่งผลให้ความแข็งแรงลดลง

### 4. บทสรุป

ในงานวิจัยนี้สามารถนำแบงเสี่ยจากโรงงานมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กาวชีวภาพ โดยการนำแบงเสี่ยจากโรงงานมาสังเคราะห์ CMS เพื่อใช้เป็นพอลิเมอร์เมทริกซ์ร่วมกับ PVA และใช้ TA เป็นสารเชื่อมขวาง จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR พบพีคของพันธะเอสเทอร์เกิดขึ้น แสดงให้เห็นถึงการเกิด





การเชื่อมขวางขึ้นภายในโครงสร้างของกาวชีวภาพ นอกจากนี้ เมื่อทดสอบหาคุณสมบัติเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว พบว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วมีค่าสูงขึ้นเมื่อเติม TA และจากการทดสอบหาปริมาณกาวที่เหมาะสมพบว่าปริมาณ 500 กรัมต่อตารางเมตร เป็นปริมาณที่ดีที่สุด เมื่อนำกาวชีวภาพมาใช้กับไม้ในสภาวะต่างๆ เป็นเวลา 7 วัน พบว่า การใช้งานภายในอาคารที่อุณหภูมิห้องมีค่าความต้านแรงเฉือนที่เสถียรตลอดระยะเวลาใช้งาน โดยมีค่าประมาณ 2.35 เมกะปาสคาล สำหรับบริเวณที่มีความชื้นสูง และภายนอกอาคารที่มีแสงแดด พบว่าค่าความต้านทานแรงเฉือนของกาวชีวภาพมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด จากผลการทดลองกาวชีวภาพที่สังเคราะห์มาจากแป้งที่เป็นของเสียจากโรงงานจึงน่าจะสามารถนำมาใช้เป็นกาวทางเลือกทดแทนกาวจากปิโตรเคมีได้ เพื่อแก้ปัญหาการปลดปล่อยแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ และยังเป็นแนวทางการเพิ่มมูลค่าของเสียได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ครอบคลุมการใช้งานของกาวให้มากขึ้นควรมีการวัดค่าอื่นเพิ่ม เช่น ความหนืดของกาว และความคงทนของกาวต่อสภาวะอื่นๆ เป็นต้น

## 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากทุนวิจัยเพื่อส่งเสริมศักยภาพการผลิตบัณฑิตระดับปริญญาโท โดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สัญญาเลขที่ M-Eng.-CHEM-001/2564

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Lamaming, N.B. Heng, A.A. Owodunni, S.Z. Lamaming, N.K.A. Khadir, R. Hashim, O. Sulaiman, M.H.M. Kassim, M.H. Hussin, Y. Bustami, M.H.M. Amini and S. Hiziroglu, Characterization of rubberwood particleboard made using carboxymethyl starch mixed with polyvinyl alcohol as adhesive, *Composites Part B: Engineering*, 2020, 183, 107731.
- [2] M.N. Islam, A.A. Liza, M.O. Faruk, M.A. Habib, and S. Hiziroglu, Formulation and characterization of tamarind (*Tamarindus indica* L.) seed kernel powder (TKP) as green adhesive for lignocellulosic composite industry, *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, 142, 879–888.
- [3] S. Chen, H. Chen, S. Yang and D.Fan, Developing an antifungal and high-strength soy protein-based adhesive modified by lignin-based polymer, *Industrial Crops and Products*, 2021, 170, 113795.
- [4] N. Mati-Baouche, C. Delattre, H. de Baynast, M. Grédiac, J.D. Mathias, A.V. Ursu, J. Desbrières and P. Michaud, Alkyl-chitosan-based adhesive: water resistance improvement, *Molecules*, 2019, 24(10), 1987.



- [5] M.I. Maulana, M.A.R. Lubis, F. Febrianto, L.S. Hua, A.H. Iswanto, P. Antov, L. Kristak, E. Mardawati, R.K. Sari, L.H. Zaini, W. Hidayat, V.L. Giudice and L. Todaro, Environmentally friendly starch-based adhesives for bonding high-performance wood composites: A review, *Forests*, 2022, 13, 1614.
- [6] C. Yu, X. Tang, S. Liu, Y. Yang, X. Shen and C. Gao, Laponite crosslinked starch/polyvinyl alcohol hydrogels by freezing/thawing process and studying their cadmium ion absorption, *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, 117, 1–6.
- [7] A. Emblem and M. Hardwidge, Adhesives for packaging, *Packaging Technology*, 2012, 12, 381–394.
- [8] S. Sisang, Starch properties for fisheries products, Fisheries Industrial Technology Research and Development Division, 2020. (in Thai)
- [9] I. Prasertsung, K. Aroonraj, K. Kamwilaisak, N. Saito and S. Damrongsakkul, Production of reducing sugar from cassava starch waste (CSW) using solution plasma process (SPP), *Carbohydrate Polymers*, 2019, 205, 472–479.
- [10] P. Rawaengsungnoen P, S. Leklai and S. Tantipaibulvut, Ethanol production from cellulosic cassava waste, *The Journal of Applied Science*, 2018, 17, 37–46.
- [11] S. Tantiwatcharothai and J. Prachayawarakorn, Property improvement of antibacterial wound dressing from basil seed (*O. basilicum* L.) mucilage- ZnO nanocomposite by borax crosslinking, *Carbohydrate Polymers*, 2020, 227, 115360.
- [12] S. Jin, K. Li, J. Li and H. Chen, A low-cost, formaldehyde-free and high flame retardancy wood adhesive from inorganic adhesives: properties and performance, *Polymers*, 2017, 9(10), 513.
- [13] S. Ghahri, B. Mohebbi, A. Pizzi, A. Mirshokraie and H.R. Mansouri, Improving water resistance of soy-based adhesive by vegetable tannin, *Journal of Polymers and Environment*, 2017, 265, 1881–1890.
- [14] E. Raknes, Durability of structural wood adhesives after 30 years ageing, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 1997, 55, 83–90.
- [15] L. Li and C. Wang, The adhesive and durability of adhesive-poly (ethylene terephthalate) film joints, *Pigment & Resin Technology*, 2009, 38, 310–314.
- [16] N.R. Jadhav, V.L. Gaikwad, K.J. Nair and H.M. Kadam, Glass transition temperature: basics and application in pharmaceutical sector, *Asian Journal of Pharmaceutics*, 2009, 3(2), 82–89.



- [17] M.A. Pantoja-Castroa and H. González-Rodrígueza, Study by infrared spectroscopy and thermogravimetric analysis of tannins and tannic acid, *Revista Latinoamericana de Química*, 2012, 39(3), 107–112
- [18] J. Stejny, The effect of crosslinking on the glass transition temperature and the density of diethylene glycol bis(allylcarbonate) polymer networks, *Polymer Bulletin*, 1996, 36, 617–621.
- [19] O.Y. Ogunsanwo, A.O. Adenaiya and C.A. Adedeji, Effect of adhesive quantity on selected physico-mechanical properties of bamboo glulam, *Maderas: Ciencia y Tecnologia*, 2019, 21, 113–122.
- [20] R.V. Gadhave, S.K. Vineeth, P.V. Dhawale and P.T. Gadekar, Effect of boric acid on poly vinyl alcohol-tannin blend and its application as water-based wood adhesive, *Designed Monomers and Polymers*, 2020, 23, 188–196.
- [21] S.K. Vineeth, R.V. Gadhave and P.T. Gadekar, Investigation of crosslinking ability of sodium metabisulphite with polyvinyl alcohol–corn starch blend and its applicability as wood adhesive, *Indian Chemical Engineer*, 2022, 64, 197–207
- [22] R.V. Gadhave, S.K. Vineeth, P.A. Mahanwar and P.T. Gadekar, Effect of addition of boric acid on thermomechanical properties of microcrystalline cellulose/polyvinyl alcohol blend and applicability as wood adhesive, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 2020, 35, 1072–1086.
- [23] Y. Xu, Y. Han, M. Chen, J. Luo, S.Q. Shi, J. Li and Q. Gao, Constructing a triple net work structure to prepare strong, tough, and mildew resistant soy protein adhesive, *Composites Part B*, 2021, 211, 108677.
- [24] S.M.R. Khalili, M. Najafi, R. Eslami-Farsani, Effect of Thermal Cycling on the Tensile Behavior of Polymer Composites Reinforced by Basalt and Carbon Fibers, *Mechanics of composite materials*, 2017, 52, 807–816.