

การเตรียมกระดาษบ่งชี้อินดิเคเตอร์จากเส้นใยชานอ้อยที่มีสารสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน กะหล่ำปลีม่วง และดอกเข็มแดง สำหรับประยุกต์ใช้ตรวจวัดความเป็นกรด-เบสในดิน

The Preparation of pH Indicator Paper from Bagasse Fiber with Anthocyanin Extract from Butterfly Pea Flower, Purple Cabbage and Lxora Coccinea for an Acid-Base Soil Monitoring Application

ภาวิณี เทียมดี^{1*} ภคพร ชาวปลายนา¹ และศิริประภา พลธนะ²

Pawinee Theamdee^{1*} Pakaporn Chawpaina¹ and Siraprapha Polthana²

Received: November 28, 2022; Revised: January 13, 2023; Accepted: January 15, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเตรียมกระดาษบ่งชี้อินดิเคเตอร์จากเส้นใยชานอ้อยที่มีสารสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน กะหล่ำปลีม่วง และดอกเข็มแดง สำหรับประยุกต์ใช้ตรวจวัดความเป็นกรด-เบสในดิน การเตรียมกระดาษทำโดยนำเยื่อชานอ้อยต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 20 %w/v อุณหภูมิ 90 - 95 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วพอกเยื่อด้วยสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 25 %w/v เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำเส้นใยชานอ้อย 40 50 60 และ 70 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง ขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์เป็นชิ้นงานรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า 2 วัน จนแห้งสนิท จากนั้นนำไปศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และทางกล ได้แก่ ความหนา การดูดซึมน้ำ การละลายน้ำ การต้านทานแรงกด การต้านทานแรงเฉาะ และศึกษาการย่อยสลาย จากการศึกษพบว่ากระดาษจากเส้นใยชานอ้อยน้ำหนัก 60 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม จากนั้นทำให้แห้งที่ 45 °C เป็นเวลา 30 นาที ทำการหยดสารสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน กะหล่ำปลีม่วง และดอกเข็มแดง ปริมาตร 50 μ L ลงบนกระดาษทั้งกระดาษให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที ศึกษาประสิทธิภาพของกระดาษที่มีสารสกัดแอนโทไซยานินในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 1-14 และตรวจสอบความเป็นกรด-เบสในดิน พบว่ากระดาษบ่งชี้จากเส้นใยชานอ้อย

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

² คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

¹ Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University, Lopburi

² Faculty of Science and Technology, Kamphang Phet Rajabhat University, Kamphang Phet

* Corresponding Author, Tel. 08 6213 6336, E - mail: pawinee.t169@gmail.com

ที่มีสารสกัดแอนโทไซยานินแสดงการตอบสนองที่ชัดเจนต่อการแปรผันของค่า pH และมีอัตราการย่อยสลายร้อยละ 61.12 ดังนั้นกระดาษบ่งชี้อินดิเคเตอร์จึงมีศักยภาพในการตรวจสอบดินที่เป็นกรด-เบส และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งมีต้นทุนที่ต่ำและเป็นอินดิเคเตอร์ที่ไวต่อ pH

คำสำคัญ : กระดาษบ่งชี้อินดิเคเตอร์; แอนโทไซยานิน; กระดาษขาน้อย; เส้นใย; ดิน

Abstract

The objective of this research was to prepare pH indicator paper from bagasse fiber with anthocyanin extract from butterfly pea flower, purple cabbage and *Ixora coccinea* to acid-base soil monitoring. The handmade paper was prepared by treating bagasse with 20 %w/v sodium hydroxide at 90 - 95 degrees Celsius for 3 hours, and pulp was bleached with 25 %v/v hydrogen peroxide for 2 hours. Afterward, different weights, 40, 50, 60, and 70 grams, of bagasse fiber were separately prepared into paper by molding in rectangular shape trays and subsequently dried at ambient conditions for 2 days. After drying, the physical and mechanical properties of paper from bagasse; water absorption, compression test, puncture strength, and degradation were evaluated. As a result, the appropriate weight was 60 grams of bagasse fiber. The paper from bagasse fiber (60 grams) was dried at 45 degrees Celsius for 30 minutes before loading the indicator. During loading, 50 microlite anthocyanin extracts from butterfly pea flower, purple cabbage and *Ixora coccinea* were deposited on the paper. After loading, the paper was dried at the ambient condition for 30 minutes. The efficiency of the indicator paper from bagasse fiber with anthocyanin extract was studied in different buffer solutions of pH ranging 1-14 and tested for acid-base soil monitoring. The indicator paper from bagasse fiber with anthocyanin extract showed a clear response to pH variation. The degradation study of the paper from the bagasse (60 grams) sample was buried under the ground (8 - 10 cm depth) for 8 months at ambient temperature (28 ± 2 degrees Celsius), which was degraded by 61.12 Percentage. Therefore, which could be used as a green route monitoring for acid-base soil using low-cost and sensitive pH indicators. In addition, this made of natural material is biodegradable which can reduce the amount of waste.

Keywords: Indicator Paper; Anthocyanin; Bagasse Paper; Fiber; Soil

บทนำ

ดินถือเป็นเรื่องที่มีความสำคัญเป็นอันดับต้นของการปลูกพืช ถ้าดินมีความเป็นกรด-ด่างที่มากหรือน้อยเกินไป จะส่งผลกระทบต่อกระบวนการเจริญเติบโตของพืช โดยปกติแล้วดินส่วนใหญ่ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินอยู่ในช่วง pH 6.0 - 6.5 เป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุด โดยดินกรดหรือดินเปรี้ยว คือ ดินที่มีระดับ pH ต่ำกว่า 7.0 และดินด่าง คือ ดินที่มีระดับ pH สูงกว่า 7.0 [1] งานวิจัยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมีความสำคัญในการพัฒนาที่ยั่งยืน ผู้วิจัยสนใจทำการศึกษาการพัฒนากระดาษที่สามารถบ่งชี้ความเป็นกรด-ด่างในดินทางการเกษตร โดยเส้นใยจากธรรมชาติที่นำมาเตรียมกระดาษนั้นมีหลายชนิด เช่น เส้นใยลูกสน (*Pinus pinea* L.) [2] เส้นใยใบสับปะรด [3] เส้นใยจากกล้วย [4] เส้นใยผักตบชวา (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.) [5] และเส้นใยฟางข้าว [6]

เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยมุ่งศึกษาการผลิตกระดาษจากวัสดุจากธรรมชาติจากเส้นใยชานอ้อย ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยองค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อยประกอบด้วยเซลลูโลส 42.3 % เฮมิเซลลูโลส 18.8 % ลิกนิน 24.7 % และเถ้า 3.5 % ซึ่งโครงสร้างและการจัดเรียงตัวของผลึกในเส้นใยของอ้อยมีค่าสูงและมีความแข็งแรงของเส้นใยสูง [7] - [8] จึงนำมาเตรียมกระดาษจากชานอ้อย เพื่อทดแทนปริมาณเยื่อจากไม้ และเพื่อลดการนำเข้าเยื่อจากต่างประเทศ ซึ่งอาจจะเป็นทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มวัตถุดิบในการทำเยื่อกระดาษ อีกทั้งยังสามารถใช้วัสดุเหลือใช้มาพัฒนาให้เกิดประโยชน์ได้มากขึ้น

ปัจจุบันอินดิเคเตอร์ที่ใช้กันทั่วไป เป็นอินดิเคเตอร์สังเคราะห์โดยให้สีที่ชัดเจน แต่สารสังเคราะห์ประเภทนี้เป็นอันตราย ราคาสูง และทำลายสิ่งแวดล้อม มีรายงานการวิจัยที่ศึกษาการสกัดสีจากพืชธรรมชาติเพื่อนำมาใช้เป็นอินดิเคเตอร์ เช่น การใช้สารสกัดจากกุหลาบ (*Rosa* sp), กระเจียนแดง (*Hibiscus sabdariffa* L) [9], บีทรูท (*Beta vulgaris* L), ชบา (*Hibiscus rosa-sinensis*) [10], ดอกทองอุไร (*Tecoma stans* Juss.), ดอกคูน (*Cassia fistula* L.) [11], และมันม่วง (*Ipomoea batatas* L.) [12] เป็นต้น เนื่องจากมีสารแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) เป็นรงควัตถุให้สีตามธรรมชาติที่พบได้ทั่วไปในพืชทั้งในดอกไม้ ผลไม้ และใบหรือลำต้นของพืชละลายน้ำได้ดี โดยสีของแอนโทไซยานินจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะความเป็นกรด-ด่าง กล่าวคือ ในสภาพที่เป็นกรด สารแอนโทไซยานินมีสีแดง ในสภาพที่ค่อนข้างเป็นกลาง สารแอนโทไซยานินมีสีม่วง และเมื่อสภาพเป็นเบสแอนโทไซยานินจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน สีที่แตกต่างกันของแอนโทไซยานิน เกิดจากโครงสร้างเรโซแนนซ์ของออร์บิทัลไพลอน ทำให้ pH มีผลต่อคุณสมบัติของ แอนโทไซยานินด้วย [13] งานวิจัยนี้ได้นำสารสกัดจากดอกอัญชัน กะหล่ำปลีม่วง และดอกเข็มแดง เป็นพืชท้องถิ่นที่มีอยู่มากในจังหวัดลพบุรี และมีสารแอนโทไซยานินเป็นส่วนประกอบสำคัญมีคุณสมบัติความเป็นอินดิเคเตอร์ธรรมชาติที่เหมาะสมสามารถทดแทนการใช้อินดิเคเตอร์สังเคราะห์ โดยจากงานวิจัยของ [14] ได้เตรียมอินดิเคเตอร์กระดาษอย่างง่ายโดยใช้อินดิเคเตอร์จากธรรมชาติ ได้แก่ กะหล่ำปลีม่วง อัญชัน กุหลาบ และกล้วยไม้ เพื่อทำเป็นชุดทดสอบวัดความเป็นกรดเป็นเบสของสารเคมีในชีวิตประจำวัน นอกจากนี้ [15] ได้ศึกษาการเตรียมกระดาษบ่งชี้อินดิเคเตอร์จากสารสกัดออยด์ตึงเทศ (*Ruellia Simplex*) ในการตรวจวัดความสดของกุ้งจนถึงเน่าเสีย โดยการดูการเปลี่ยนสีบนกระดาษจากสีชมพูอมม่วงกลายเป็นสีเทาอมเหลือง สามารถช่วยตอบโจทย์ของผู้บริโภคในยุคปัจจุบันได้ดียิ่งขึ้น

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจเพื่อศึกษาการเตรียมกระดาษบ่งชี้อินดิเคเตอร์จากชานอ้อยที่มีสารสกัดแอนโทไซยานินจากอัญชัน กะหล่ำปลีม่วง และดอกเข็มแดง สำหรับประยุกต์ใช้ตรวจวัดความเป็นกรด-เบสในดิน พร้อมทั้งศึกษาสมบัติทางกายภาพ เคมี และทางกล รวมถึงศึกษาอัตราการย่อยสลายของกระดาษบ่งชี้อินดิเคเตอร์จากชานอ้อย เพื่อเป็นแนวทางให้กับชุมชนผลิตใช้เองได้ง่าย ใช้วัตถุดิบที่ไม่ใช่แล้วให้เกิดประโยชน์สามารถทำได้สะดวก ต้นทุนต่ำ พกพาสะดวกและเมื่อใช้งานเสร็จแล้วสามารถทิ้งให้ย่อยสลายตามธรรมชาติได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

ระเบียบวิธีวิจัย

1. การเตรียมกระดาษจากชานอ้อย

เตรียมชานอ้อยแห้งแช่น้ำไว้ 1 คืน จากนั้นเตรียมกระดาษชานอ้อยโดยวิธีการทำกระดาษด้วยมือคัดแปลงตามวิธี [16] โดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักแห้งของชานอ้อยต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และนำไปฟอกสีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 25 โดยปริมาตร จากนั้นนำเส้นใยมาล้างน้ำ บิบน้ำออกจนหมด ปั่นเส้นใยด้วยเครื่องปั่น อบด้วยตู้อบลมร้อนจนเส้นใยแห้ง ดังรูปที่ 1 นำไปชั่งน้ำหนัก โดยกำหนดให้ใช้น้ำหนักของวัสดุที่จะขึ้นรูปกระดาษแต่ละแผ่น ใช้เยื่อเป็น 40 50 60 และ 70 กรัม (โดยน้ำหนักแห้ง) ปั่นผสมกับน้ำจนเป็นเนื้อเดียวกัน ร่อนบนตะแกรงที่ขึงด้วยกรอบไม้ขนาด 30 x 20 เซนติเมตร เกลี่ยเส้นใยให้ทั่วตะแกรงจนได้เป็นแผ่นที่เนื้อเยื่อสม่ำเสมอ จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อหาปริมาณของเส้นใยที่เหมาะสมในการขึ้นรูป



รูปที่ 1 เส้นใยจากชานอ้อย

2. เตรียมสารสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน กะหล่ำปลีม่วง และดอกเข็มแดง

ดัดแปลงตามวิธี [17] สกัดสารโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย นำตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ดอกอัญชัน กะหล่ำปลีม่วง และดอกเข็มแดง อบให้แห้งแล้วบดด้วยเครื่องปั่นผสมไฟฟ้า (Sharp, EM-ICE 2, ประเทศไทย) ซึ่งผงตัวอย่าง 1 กรัมต่อตัวทำละลาย 5 มิลลิลิตร แช่ทิ้งไว้นาน 5 นาที กรองสารสกัดด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 1 ใส่ขวดสีชาที่อุณหภูมิห้อง ได้สารสกัดจากตัวอย่างเพื่อนำไปใช้เป็นอินดิเคเตอร์

3. เตรียมกระดาษบ่งชี้อินดิเคเตอร์จากชานอ้อยที่มีสารสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน กะหล่ำปลีม่วง และดอกเข็มแดง

ดัดแปลงตามวิธี [14] โดยนำกระดาษชานอ้อยมาตัดขนาด 5 x 1 เซนติเมตร จากนั้นนำเทียนไขที่เหลวให้คล้ายไส้ดินสอมาขีดช่องลงบนกระดาษชานอ้อย แต่ละช่องมีความกว้าง 1 เซนติเมตร จำนวน 3 ช่อง จากนั้นนำกระดาษชานอ้อยไปอังบนเครื่องให้ความร้อนประมาณ 1 นาที ความร้อนจะทำให้เทียนหลอมเหลว และซึมตามแถวแบ่งช่อง หยดสารสกัดทั้ง 3 ชนิด (50 ไมโครลิตร) ลงบนช่องบนกระดาษชานอ้อย แต่ละช่อง ให้หยดด้วยสารสกัดเพียงชนิดเดียวเท่านั้น ทั้งกระดาษให้แห้งก่อนที่จะนำไปทดสอบความเป็นกรด-เบส ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการสร้างกระดาษบ่งชี้อินดิเคเตอร์จากเส้นใยชานอ้อยที่มีสารสกัดแอนโทไซยานิน

4. วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางกล

การวัดความหนาของกระดาษ ด้วย Micrometer (Mitutoyo, ญี่ปุ่น) โดยทำการวัดกระดาษ ตำแหน่งต่าง ๆ กัน 5 ตำแหน่ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย และทำการทดสอบ 3 ซ้ำ

สมบัติการละลายน้ำ (Water Solubility) ดัดแปลงจากวิธี [18] โดยตัดชิ้นงานให้มีขนาด 2.0 x 2.0 เซนติเมตร (ชิ้นงาน 1 ตัวอย่าง สุ่มตัดที่ตำแหน่งต่าง ๆ มา 3 ชิ้น) นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 ± 2 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งน้ำหนักของชิ้นงานก่อนทดสอบ (W_1) นำไปแช่น้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร กวนด้วยแท่งกวนแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองผ่านกระดาษกรองที่ชั่งน้ำหนักแล้ว (a_1) นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 ± 2 °C เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งน้ำหนักกระดาษกรอง (a_2) บันทึกผลและคำนวณดังสมการที่ (1)

$$\text{ร้อยละการละลายน้ำ} = \frac{W_1(a_2 - a_1)}{W_1} \times 100 \quad (1)$$

สมบัติการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) คัดแปลงจากวิธี [19] โดยตัดชิ้นงานให้มีขนาด 2.0×2.0 เซนติเมตร นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 ± 2 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักชิ้นงานก่อนทดสอบ (W_0) นำไปแช่ในน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร กวนด้วยแท่งกวนแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นงานชั่งน้ำหนัก (W_1) บันทึกผลและคำนวณดังสมการที่ (2)

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \frac{(W_1 - W_0)}{W_0} \times 100 \quad (2)$$

วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของเส้นใยชานอ้อยและสารแอนโทไซยานินจากพืช ด้วยใช้เครื่อง FTIR Spectrometer (Perkin Elmer, รุ่น Spectrum 100 FTIR System Universal, ประเทศสหรัฐอเมริกา) มีช่วงเลขคลื่นในการวิเคราะห์เท่ากับ $4,000 - 400 \text{ cm}^{-1}$

การศึกษาคุณสมบัติทางกลการต้านทานแรงเจาะและการต้านทานแรงเฉือน (Puncture Strength and Shear Test)

วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Texture Analyser (Stable Microsystems, TA-XT2, ประเทศอังกฤษ) ทดสอบการต้านทานแรงเฉือน ใช้หัววัด HDP/BS Blade Set ตัดชิ้นงานให้มีขนาด 6×9 เซนติเมตร ความเร็วหัววัดขณะกดตัวอย่าง 1 mm/sec และระยะที่กดผ่านตัวอย่าง 4 mm สำหรับการทดสอบการต้านทานแรงเจาะ ใช้หัววัด HDP/CFS และ HDP/90 Heavy Duty Platform ตัดชิ้นงานให้มีขนาด 2.5×2.5 เซนติเมตร ความเร็วหัววัดขณะกดตัวอย่าง 5 mm/sec และระยะที่กดลงตัวอย่าง 3 mm โดยแต่ละตัวอย่างทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ [20] - [21]

5. ศึกษาประสิทธิภาพของกระดาษบ่งชี้อินดิเคเตอร์จากชานอ้อยที่มีสารสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน กระหล่ำปลีม่วง และดอกเข็มแดง ในการเปลี่ยนสีเมื่อสัมผัสสารละลายกรด-เบส

ทดสอบการเปลี่ยนสีของกระดาษบ่งชี้อินดิเคเตอร์จากชานอ้อยที่มีสารสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน กระหล่ำปลีม่วง และดอกเข็มแดง จากนั้นหยดสารละลายบัฟเฟอร์ที่ pH 1-14 จำนวน 2 - 3 หยด บันทึกผลการทดลอง

6. ศึกษาการประยุกต์ใช้กระดาษบ่งชี้อินดิเคเตอร์จากชานอ้อยที่มีสารสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน กระหล่ำปลีม่วง และดอกเข็มแดง เพื่อตรวจวัดความเป็นกรด-เบสในดิน

ดัดแปลงตามวิธี [22] - [23] โดยดินที่ใช้ในการทดลองเก็บจากพื้นที่เพาะปลูก 2 ภูมิภาค คือ ดินสภาวะเป็นกรดและด่าง จากตำบลคองคิง อำเภอบ้านหมี่ จังหวัดลพบุรี ด้วยการเก็บตัวอย่างดิน ชุดดินที่มีความลึก 0 - 20 เซนติเมตร แล้วนำดินมาวิเคราะห์ โดยใช้น้ำเป็นสารสกัดใช้สัดส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 จากนั้นวิเคราะห์ค่า pH ด้วยกระดาษบ่งชี้อินดิเคเตอร์จากชานอ้อยที่มีสารสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน กระหล่ำปลีม่วง และดอกเข็มแดงทดสอบความเป็นกรด-เบสในดิน และบันทึกผลการทดลอง

7. ศึกษาอัตราการย่อยสลายของกระดาษจากชานอ้อย

โดยตัดชิ้นงานให้มีขนาด 2×5 เซนติเมตร นำมาชั่งน้ำหนัก (A) จากนั้นนำไปฝังลงในดิน ซึ่งมีลักษณะเป็นดินร่วน ทำการทดลองฝังดินในกระถางเพาะชำขนาด $55 \times 39 \times 28$ เซนติเมตร และฝังชิ้นงานให้มี ความลึกประมาณ 8 - 10 เซนติเมตร เป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 33 ± 2 °C โดยไม่มีการให้น้ำ ความชื้นเริ่มต้นของดินเท่ากับร้อยละ 21 โดยน้ำหนัก บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักชิ้นงานทุกเดือน (B) โดยทำการทหาน้ำหนักที่หายไป (ร้อยละของน้ำหนักที่หายไป) ดังสมการที่ (3) [24]

$$\text{ร้อยละการย่อยสลาย} = \frac{(A - B)}{A} \times 100 \quad (3)$$

7. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS® Version 12 (SPSS Inc., สหรัฐอเมริกา) และวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัยและการอธิบายผล

1. ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระดาษชานอ้อย

กระดาษชานอ้อยที่น้ำหนักเส้นใย 40 50 60 และ 70 กรัม พบว่ากระดาษชานอ้อย 40 และ 50 กรัม (รูปที่ 3(ก) และ (ข)) มีลักษณะขรุขระ แผ่นบาง พับงอแล้วขาด กระดาษชานอ้อย 60 กรัม (รูปที่ 3(ค)) มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ หนาพอดี พับงอแล้วไม่ขาด และกระดาษชานอ้อย 70 กรัม (รูปที่ 3(ง)) มีลักษณะขรุขระเล็กน้อย และมีความหนาค่อนข้างมาก เมื่อสังเกตลักษณะทางกายภาพของกระดาษชานอ้อย พบว่าเมื่อมีปริมาณเส้นใยของชานอ้อยมากขึ้นกระดาษมีความหนาเพิ่มขึ้น



(ก) 40 กรัม



(ข) 50 กรัม



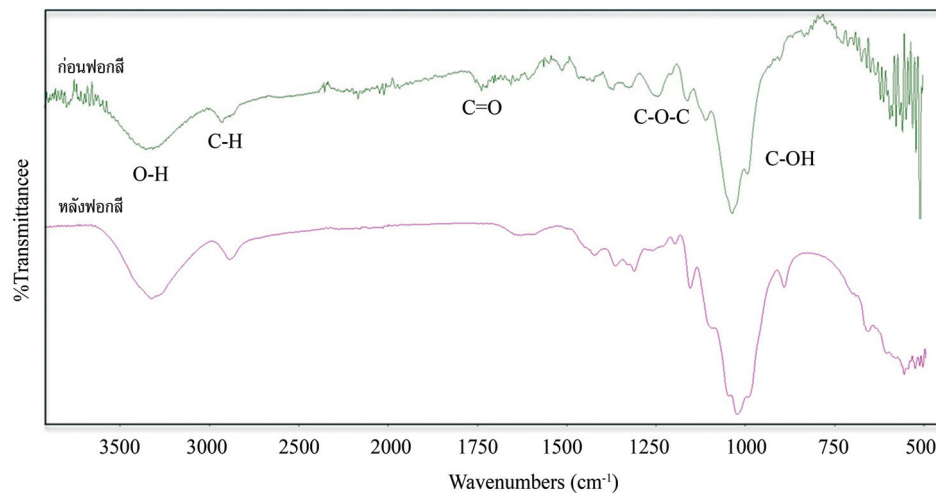
(ค) 60 กรัม



(ง) 70 กรัม

รูปที่ 3 ลักษณะพื้นผิวกระดาษชานอ้อยที่น้ำหนักเส้นใย

จากการศึกษาผลของหมู่ฟังก์ชันของเส้นใยจากชานอ้อยก่อนและหลังการฟอกสีด้วยเครื่อง FTIR ดังรูปที่ 4 พบว่าลักษณะสเปกตรัมของเส้นใยชานอ้อยก่อนฟอกสี ช่วงเลขคลื่น $3,300 - 3,500 \text{ cm}^{-1}$ แสดงการสั่นของหมู่ -OH และช่วงเลขคลื่น $3,000 - 2,800 \text{ cm}^{-1}$ แสดงการสั่นของ aliphatic-CH และช่วงคลื่น $1,100 - 1,000 \text{ cm}^{-1}$ แสดงการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน C-OH ซึ่งเป็นโครงสร้างของเซลลูโลส ช่วงเลขคลื่น $1,765 - 1,715 \text{ cm}^{-1}$ แสดงหมู่ C=O ของเฮมิเซลลูโลส และช่วงคลื่น $1,250 \text{ cm}^{-1}$ แสดงหมู่ C-O-C ของลิกนิน จากสเปกตรัมเส้นใยชานอ้อยหลังฟอกสี พบว่าสัญญาณของตำแหน่งเซลลูโลสยังคงปรากฏอยู่แต่สัญญาณของตำแหน่งเฮมิเซลลูโลสและลิกนินลดลงอย่างชัดเจน แสดงว่ามีการทำลายโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน สอดคล้องกับงานวิจัย [25]



รูปที่ 4 สเปกตรัม FT-IR ของเส้นใยชานอ้อยก่อนฟอกสีและหลังฟอกสี

จากตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของกระดาษเส้นใยชานอ้อย จากการศึกษา ค่าความหนาของกระดาษ พบว่ามีค่าความหนาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อปริมาณเส้นใยชานอ้อยมากขึ้น จากการศึกษาค่าการดูดซึมน้ำและค่าการละลายน้ำ พบว่าค่าของการดูดซึมน้ำและการละลายน้ำของกระดาษชานอ้อยมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยชานอ้อยมากขึ้น ($p \leq 0.05$) เนื่องจากเส้นใยชานอ้อยมีองค์ประกอบเคมีหลักเป็นเซลลูโลสจากธรรมชาติ มีความเหนียว พ่นเซลลูล์แข็งและหนา รวมถึงความหนาของกระดาษมากขึ้น ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำและการละลายน้ำลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยชานอ้อยเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัย [26]

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของกระดาษจากชานอ้อย

ตัวอย่าง	ความหนา (mm)	การดูดซึมน้ำ (%)	การละลายน้ำ (%)
B40	0.76±0.15 ^b	452.64±15.63 ^a	6.14±0.14 ^a
B50	0.83±0.13 ^{ab}	447.05±14.79 ^a	6.06±0.13 ^a
B60	0.87±0.17 ^{ab}	347.85±11.37 ^b	5.08±0.11 ^b
B70	1.10±0.10 ^a	315.25±7.36 ^c	4.87±0.12 ^b

หมายเหตุ: ^{a-c} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าการต้านแรงเฉาะและการต้านแรงฉีกขาดของกระดาษชานอ้อย พบว่าค่าของการต้านแรงเฉาะและการต้านแรงฉีกขาดของกระดาษชานอ้อยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยมากขึ้น ($p \leq 0.05$) เนื่องจากเส้นใยชานอ้อยมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ ซึ่งโครงสร้างมีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบ ซึ่งมีผลทำให้เซลลูโลสมีความแข็งแรงที่ดี เมื่อปริมาณเส้นใยมากขึ้นสามารถต้านแรงเฉาะและแรงฉีกขาดได้ดีกว่ากระดาษที่มีปริมาณเส้นใยที่น้อยกว่า [27]

ตารางที่ 2 สมบัติทางกลของกระดาษจากชานอ้อย

ตัวอย่าง	ความต้านทานแรงเจาะ (N/m ²)	ความต้านทานแรงเฉือน (N/m ²)
B40	10.28±0.85 ^c	69.61±12.57 ^d
B50	15.07±1.33 ^b	108.16±12.91 ^c
B60	31.95±2.52 ^a	153.27±17.61 ^b
B70	35.30±2.25 ^a	188.56±19.00 ^a

หมายเหตุ: ^{a-d} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

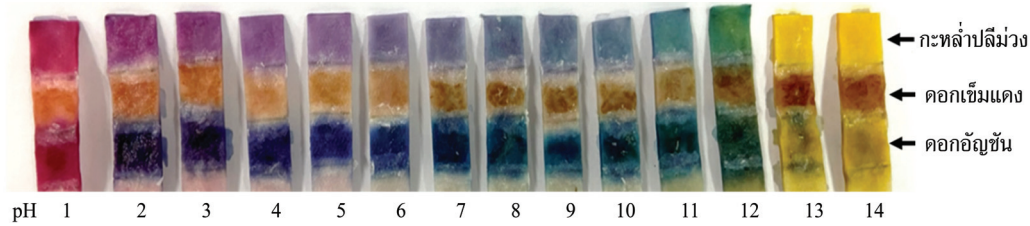
จากการวิเคราะห์ที่ผ่านมาพบว่ากระดาษชานอ้อยปริมาณเส้นใย 60 กรัม มีการทดสอบโดยรวมเหมาะสมที่สุด เนื่องจากคุณสมบัติของกระดาษอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมนั้นควรมีผิวกระดาษที่เรียบ ไม่หนาและบางเกินไป ทำให้ในการทดสอบการสกัดจากพืชของกระดาษมีความเรียบเนียนที่ดีกว่า ซึ่งลักษณะพื้นผิวกระดาษชานอ้อยที่น้ำหนักเส้นใย 60 กรัม (ดังรูปที่ 3) มีจุดเด่นคือ พื้นผิวกระดาษมีความเรียบไม่ขรุขระ พับงอแล้วไม่ขาด การดูดซึมน้ำและการละลายน้ำไม่สูงเกินไป ส่วนสมบัติทางกลนั้นมีค่าสูงเทียบเท่าหรือใกล้เคียงกับกระดาษชานอ้อยที่น้ำหนักเส้นใย 70 กรัม แต่ใช้ปริมาณเส้นใยที่น้อยกว่า ดังนั้นจึงเลือกกระดาษชานอ้อยที่น้ำหนักเส้นใย 60 กรัม มาศึกษาในการทำกระดาษบ่งชี้อินดิเคเตอร์จากเส้นใยชานอ้อย โดยการทดสอบการสกัดของพืชทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ อัญชัน กะหล่ำปลีม่วง และดอกเข็มแดง บนช่องของกระดาษ พบว่ากระดาษบ่งชี้อินดิเคเตอร์จากเส้นใยชานอ้อยที่มีสารสกัดทั้ง 3 ชนิด เกิดการเปลี่ยนสีเมื่อสัมผัสสารละลายบัฟเฟอร์ pH 1-14 ดังรูปที่ 6 ใกล้เคียงกับสีของสารสกัดในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 1-14 (รูปที่ 5) แถบสีของกระดาษอินดิเคเตอร์แถบสีที่มีสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงมีช่วงการเปลี่ยนสีที่ชัดเจนอยู่ คือ การเปลี่ยนสีจากสีแดงเป็นสีม่วง (pH 1-5) การเปลี่ยนสีจากม่วงเป็นสีฟ้าอมม่วง (pH 6-10) และการเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีเหลือง (pH 11-14) ส่วนแถบสีของกระดาษอินดิเคเตอร์แถบสีที่มีสารสกัดดอกเข็มแดงมีช่วงการเปลี่ยนสีจากสีชมพูเป็นสีชมพูน้ำตาลอ่อน (pH 1-4) การเปลี่ยนสีจากสีน้ำตาลอ่อนเป็นสีน้ำตาลเข้ม (pH 5-10) และการเปลี่ยนสีจากสีน้ำตาลเข้มเป็นสีน้ำตาลเหลือง (pH 11-14) และแถบสีของกระดาษอินดิเคเตอร์แถบสีที่มีสารสกัดอัญชันมีช่วงการเปลี่ยนสีจากสีแดงเป็นสีม่วงอมน้ำเงิน (pH 1-2) การเปลี่ยนสีจากสีน้ำเงินเป็นเขียวอมฟ้า (pH 3-10) และการเปลี่ยนสีจากสีเขียวอมฟ้าเป็นสีเหลือง (pH 11-14) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปรากฏความชัดเจนของสีตามการเปลี่ยน pH ของสารละลายบัฟเฟอร์



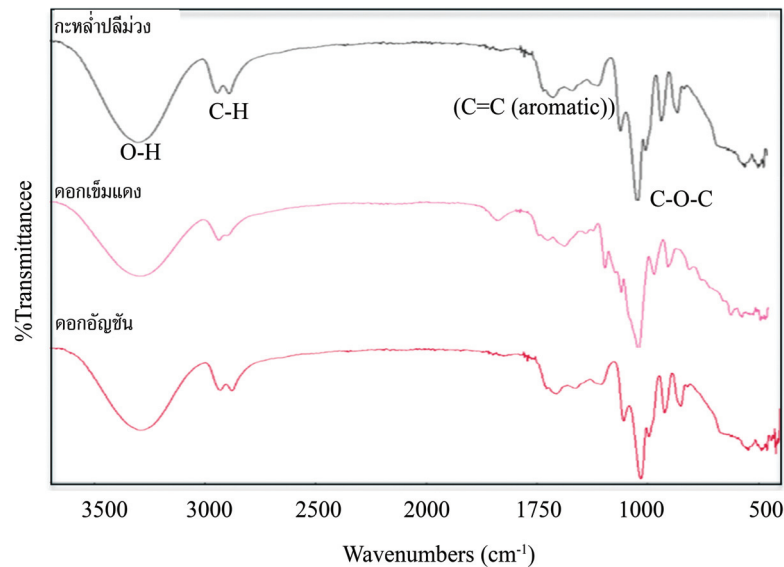
(ก) สารสกัดกะหล่ำปลีม่วง (ข) สารสกัดดอกเข็มแดง (ค) สารสกัดอัญชัน

รูปที่ 5 การเปลี่ยนสีของสารสกัดในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 1-14 ของสารสกัด

จากการศึกษาผลของหมู่ฟังก์ชันของแอนโทไซยานินจากสารสกัดจากกะหล่ำปลีม่วง สารสกัดดอกเข็มแดง และสารสกัดอัญชัน พบว่าแอนโทไซยานินพบหมู่ฟังก์ชันของ -OH ที่ตำแหน่ง 3,400 cm⁻¹, C-H ที่ตำแหน่ง 2,979 cm⁻¹, C=C ในวงอะโรมาติกที่ตำแหน่ง 1,650 cm⁻¹ และ C-O-C ที่ตำแหน่ง 1,040 cm⁻¹ ยืนยันได้ว่ามีสารแอนโทไซยานินอยู่ในสารสกัดทั้ง 3 ชนิดจริง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย [28]



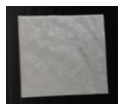
รูปที่ 6 กระดาษอินดิเคเตอร์จากเส้นใยชานอ้อยที่มีสารสกัดหลังสัมผัสสารละลายบัฟเฟอร์ pH 1-14



รูปที่ 7 สเปกตรัม FT-IR ของสารแอนโทไซยานินจากสารสกัดกะหล่ำปลีม่วง สารสกัดดอกเข็มแดง และสารสกัดดอกอัญชัน

จากการศึกษาการย่อยสลายของกระดาษจากเส้นใยชานอ้อย 60 กรัม โดยทำการฝังลงดิน และวิเคราะห์ตัวอย่างทุก ๆ 2 เดือน ดังตารางที่ 3 พบว่ากระดาษจากเส้นใยชานอ้อยมีการย่อยสลายร้อยละ 61.12 ในเวลา 8 เดือน ทั้งนี้เนื่องมาจากโมเลกุลของเซลลูโลสเป็นโมเลกุลชีวภาพจึงย่อยสลายได้ประกอบกับจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในดินจึงช่วยให้กระดาษจากเส้นใยชานอ้อยย่อยสลายได้ [29] - [30]

ตารางที่ 3 การย่อยสลายของกระดาษจากเส้นใยชานอ้อย

ตัวอย่าง	ลักษณะทางกายภาพ					การย่อยสลาย (ร้อยละ)
	ระยะเวลา (เดือน)					
	0	2	4	6	8	
กระดาษจาก เส้นใยชานอ้อย (60)						61.12

จากการศึกษาการประยุกต์ใช้กระดาษบ่งชี้อินดิเคเตอร์จากเส้นใยชานอ้อยที่มีสารสกัดแอนโทไซยานิน เพื่อตรวจวัดความเป็นกรด-เบสในดิน โดยนำดินตัวอย่างนำมาละลายในน้ำ นำกระดาษบ่งชี้อินดิเคเตอร์จุ่มลงไป ในสารละลายดิน วิเคราะห์โดยเทียบสีที่ได้กับตัวอย่างแถบสีในรูปที่ 3(ข) ว่ามีค่า pH อยู่ระดับใด พบว่ากระดาษบ่งชี้อินดิเคเตอร์ มีการเปลี่ยนแปลงแถบสีบนกระดาษเมื่อ pH ของสารละลายดินเปลี่ยนไป ซึ่งอ่านค่าระดับ pH

ได้ที่ pH = 5 และ pH = 8 ดังตารางที่ 4 จากผลที่ได้กระด้างขี้เถ้าอินดิเคเตอร์ยังเปลี่ยนสีได้ไม่ชัดเจนมากนัก มีข้อจำกัดในเรื่องของความละเอียดและความแม่นยำ แต่ใช้งานง่ายและพกพาสะดวก

ตารางที่ 4 ลักษณะทางกายภาพของกระด้างขี้เถ้าอินดิเคเตอร์จากเส้นใยชานอ้อยที่มีสารสกัดแอนโทไซยานิน ก่อนและหลังสัมผัสสารละลายดินตัวอย่าง

กระด้างขี้เถ้าอินดิเคเตอร์ (สัมผัสสารละลายดินตัวอย่าง)		
ก่อนสัมผัส	หลังสัมผัสระดับค่า	
	pH = 5	pH = 8
		

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมกระด้างขี้เถ้าอินดิเคเตอร์จากเส้นใยชานอ้อยที่มีสารสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน กะหล่ำปลีม่วง และดอกเข็มแดง สำหรับประยุกต์ใช้ตรวจวัดความเป็นกรด-เบสในดิน พบว่าจากการศึกษา สมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางกล ปริมาณที่เหมาะสมในการเตรียมกระด้าง คือ น้ำหนักเส้นใยจากชานอ้อยปริมาณ 60 กรัม มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำมาประยุกต์ใช้เป็นกระด้างขี้เถ้าอินดิเคเตอร์ และการทดสอบการย่อยสลายด้วยวิธีการฝังกลบดิน พบว่ากระด้างจากเส้นใยชานอ้อยปริมาณ 60 กรัม มีการย่อยสลายได้ร้อยละ 61.12 ในเวลา 8 เดือน จากนั้นนำสารสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน กะหล่ำปลีม่วง และดอกเข็มแดง มาทดสอบบนกระด้างจากเส้นใยชานอ้อยปริมาณ 60 กรัม พบว่ากระด้างขี้เถ้าอินดิเคเตอร์เกิดการเปลี่ยนสีเมื่อสัมผัสสารละลายบัฟเฟอร์ pH 1-14 และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ตรวจวัดความเป็นกรด-เบสในดินได้ จากการศึกษารูปได้ว่ากระด้างขี้เถ้าอินดิเคเตอร์ใช้วัสดุจากธรรมชาติเป็นส่วนประกอบหลัก แสดงผลการตรวจวัดได้อย่างรวดเร็ว และสามารถใช้งานได้สะดวก เมื่อใช้งานเสร็จสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ โดยไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งสารสกัดที่มีสีจากพืชธรรมชาตินำมาใช้เป็นอินดิเคเตอร์สามารถทดแทนอินดิเคเตอร์สังเคราะห์ได้ เป็นทางเลือกหนึ่งที่ประหยัด และสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดประยุกต์ใช้ในด้านอื่น ๆ ได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี สถาบันวิจัยและพัฒนา ประจำปีงบประมาณ 2565 และขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี (ค.บ.) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร และศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์สำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้

References

- [1] Sammayo, S., Poomipan, P., Thepsilvisul, O., and Chakhatrakan, S. (2019). Effects of Soil pH and Phosphorus Fertilizer on Efficiency of Arbuscular Mycorrhizal Fungi, *Glomus intraradices* on Maize Production in Infertile Soil. **Thai Science and Technology Journal**. Vol. 27, No. 1, pp. 78-87 (in Thai)
- [2] Arrakhiz, F. Z., Benmoussa, K., Bouhfid, R., and Qaiss, A. (2013). Pine Cone Fiber/Clay Hybrid Composite: Mechanical and Thermal Properties. **Materials & Design**. Vol. 50, pp. 376-381. DOI: 10.1016/j.matdes.2013.03.033
- [3] Vaithanomsat, P., Kongsin, K., Trakunjae, C., Boonyarit, J., Jarerat, A., Sudesh, K., and Chollakup, R. (2021). Biosynthesized Poly(3-Hydroxybutyrate) on Coated Pineapple Leaf Fiber Papers for Biodegradable Packaging Application. **Polymers**. Vol. 13, Issue 11, pp. 1-15. DOI: 10.3390/polym13111733
- [4] Luepong, K., Sasithorn, N., and Manarungwit, K. (2016). Kraft Paper Preparation from Water Hyacinth, Pineapple Leaves and Leaf Sheath of Banana Tree. **RMUTP Research Journal**. Vol. 11, No. 1, pp. 15-22 (in Thai)
- [5] Islam, M. N., Rahman, F., Papri, S. A., Faruk, M. O., Das, A. K., Adhikary, N., and Ahsan, M. N. (2021). Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.) as an Alternative Raw Material for the Production of Bio-Compost and Handmade Paper. **Journal of Environmental Management**. Vol. 294, pp. 1-9. DOI:10.1016/j.jenvman.2021.113036
- [6] Kaur, D., Bhardwaj, N. K., and Lohchab, R. K. (2017). Prospects of Rice Straw as a Raw Material for Paper Making. **Waste Management**. Vol. 60, pp. 127-139. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.08.001
- [7] Rocha, G. J. M., Martín, C., Silva, V. F. N., Gómez, E. O., and Gonçalves, A. R. (2012). Mass Balance of PilotScale Pretreatment of Sugarcane Bagasse by Steam Explosion Followed by Alkaline Delignification. **Bioresource Technology**. Vol. 111, pp. 447-452. DOI: 10.1016/j.biortech.2012.02.005
- [8] Rocha, G. J. M., Nascimento, V. M., Gonçalves, A. R., Silva, V. F. N., and Martín, C. (2015). Influence of Mixed Sugarcane Bagasse Samples Evaluated by Elemental and Physical-Chemical Composition. **Industrial Crops and Products**. Vol. 64, pp. 52-58. DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.11.003
- [9] Paristiowati, M., Moersilah, M., Stephanie, M. M., Zulmanelis, Z., Idroes, R., and Puspita, R. A. (2019). *Rosa sp* and *Hibiscus sabdariffa* L Extract in Ethanol Fractionas Acid Base Indicator: Application of Green Chemistry in Education. In **4th Annual Applied Science and Engineering Conference Journal of Physics: Conference Series**. ID: 055041. DOI: 10.1088/1742-6596/1402/5/055041
- [10] Madushan, R., Vidanarachchi, J. K., Prasanna, P. H. P., Werellagama, S., and Priyashantha, H. (2021). Use of Natural Plant Extracts as a Novel Microbiological Quality Indicator in Raw Milk: An Alternative for Resazurin Dye Reduction Method. **LWT-Food Science and Technology**. Vol. 144, pp. 1-9. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111221

- [11] Singh, S., Bothara, S.B., Singh, S., Patel, R., and Mahobia, N. (2010). Preliminary Pharmaceutical Characterization of Flowers as Natural Indicator: Acid - Base Indicator. **The Pharma Research**. Vol. 4, pp. 83-90. DOI: 10.5530/pj.2011.22.8
- [12] Becerril, R., Nerín, C., and Silva, F. (2021). Bring Some Colour to Your Package: Freshness Indicators Based on Anthocyanin Extracts. **Trends in Food Science & Technology**. Vol. 111, pp. 495-505. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.02.042
- [13] Zheng, Luman., Liu, L., Yu, J., and Shao, P. (2022). Novel Trends and Applications of Natural pH-Responsive Indicator Film in Food Packaging for Improved Quality Monitoring. **Food Control**. Vol. 134, pp. 1-16. DOI: 10.1016/j.foodcont.2021.108769
- [14] Chawloe, M. and Chairam, S. (2020). Fabrication of Simple Paper-Based Indicator for using in Acid-Base Learning. **Journal of Science and Science Education**. Vol. 3, No. 1, pp. 61-72 (in Thai)
- [15] Listyarini, A., Sholihah, W., and Imawan, C. (2018). A Paper-Based Colorimetric Indicator Label using Natural Dye for Monitoring Shrimp Spoilage. **IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering**. Vol. 367, No. 1, pp. 1-7. DOI: 10.1088/1757-899X/367/1/012045
- [16] Ritthisorn, S. and Chamdit, S. (2020). Production of Bagasse Paper with Antibacterial Activity Against Foot-Odor Causing Bacteria. **Science and Technology RMUTT Journal**. Vol. 10, No. 1, pp. 10-18 (in Thai)
- [17] Thongpoon, C. and Kraison, P. (2015). Acid-Base Titration by using Butterfly Pea Extract as Indicator. **Rajabhat Journal of Sciences, Humanities and Social Sciences**. Vol. 16, No. 2, pp. 156-166 (in Thai)
- [18] Sanyang, M. L., Sapuan, S., Jawaid, M. M., Ishak, M. R., and Sahari, J. (2016). Development and Characterization of Sugar Palm Starch and Poly (lactic acid) Bilayer Films. **Carbohydrate Polymers**. Vol. 146, pp. 36-45. DOI: 10.1016/j.carbpol.2016.03.051
- [19] Velazquez, G., Cazón, P., and Vázquez, M. (2018). Cellulose-Glycerol-Polyvinyl Alcohol Composite Films for Food Packaging: Evaluation of Water Adsorption, Mechanical Properties, Light-Barrier Properties and Transparency. **Carbohydrate Polymers**. Vol. 195, pp. 432-443. DOI: 10.1016/j.carbpol.2018.04.120
- [20] Theamdee, P., Chomjan, S., and Pansuma, P. (2022). Development of Bio-foam from Banana Sheath and Cassava Starch (81 cultivar) with Natural Wax as Coating Agent for Food Packaging. **RMUTI JOURNAL Science and Technology**. Vol. 15, No. 1, pp. 96-109 (in Thai)
- [21] Luepong, K., Sasithorn, N., and Manarungwit, K. (2017). Kraft Paper Preparation from Water Hyacinth, Pineapple Leaves and Leaf Sheath of Banana Tree. **RMUTP Research Journal**. Vol. 11, No. 1, pp. 15-22 (in Thai)
- [22] Kanthiya, N. and Aumtong, S. (2014). Effects of Soils, Water Regimes and pH on Availability of Phosphorus Fractions. **Khon Kaen Agriculture Journal**. Vol. 42, pp. 314-321 (in Thai)
- [23] Damrongrak, I. (2019). Acid Soil Improvement by Ash from Bioelectric Power Plant for Baby Corn Planting. **Thaksin University Journal**. Vol. 22, No. 2, pp. 37-43 (in Thai)
- [24] Konruang, S., Kaewyai, K., Tepnual, T., and Chatwannasi, M. (2020). Production of Biodegradable Plastics from Sago Fibers. **Thaksin University Journal**. Vol. 23, No. 2, pp. 65-73 (in Thai)

- [25] Maduang, T., Chunhachart, O., and Pawongrat, R. (2018). The Effect on Morphological Change of Cellulose Fibers by Sonochemical-Assisted Pretreatment of Lignocellulosic Biomass. **RMUTSB Academic Journal**. Vol. 6, No. 1, pp. 26-36 (in Thai)
- [26] Kiangkoo, N., Ngencharoen, S., and Tanghengjarern, C. (2017). Manufacturing of Thermal Insulation Sheet from Beverage Labelling Waste and Bagasse fiber. **Thaksin University Journal**. Vol. 20, No. 2, pp. 44-53 (in Thai)
- [27] Uddin, A. J., Yamamoto, A., Gotoh, Y., Nagura, M., and Iwata, M. (2010). Preparation and Physical Properties of Regenerated Cellulose Fibres from Sugarcane Bagasse. **Textile Research Journal**. Vol. 80, No. 17, pp. 1846-1858. DOI: 10.1177/0040517510369408
- [28] Csóka, L., Dudić, D., Petronijević, I., Rozsa, C., Halasz, K., and Djoković, V. (2015). Photo-Induced Changes and Contact Relaxation of the Surface AC-Conductivity of the Paper Prepared from Poly(ethyleneimine)-TiO₂-Anthocyanin Modified Cellulose Fibers. **Cellulose**. Vol. 22, No. 1, pp. 779-788. DOI: 10.1007/s10570-014-0537-3
- [29] Xia, Q., Chen, C., Yao, Y., Li, J., He, S., Zhou, Y., Li, T., Pan, X., Yao, Y., and Hu, L. (2021). A Strong, Biodegradable and Recyclable Lignocellulosic Bioplastic. **Nature Sustainability**. Vol. 4, pp. 627-635. DOI: 10.1038/s41893-021-00702-w
- [30] Zhiliang, H., Liwu, Q., Qianjuan, Y., Na, Y., Tingguo, L., and Dong, T. (2018). Biodegradability Studies of Poly(butylene succinate) Composites Filled with Sugarcane Rind Fiber. **Polymer Testing**. Vol. 66, pp. 319-326. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2018.02.003