Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 4 Number 3 May – June 2017 ISSN 2408 - 1248

การสกัดเซลลูโลสและการทำกระดาษจากเปลือกข่อย*

Cellulose extraction and paper making from Khoi bark

จุฑามาส เรืองยศจันทนา (Jutamas Rueangyodjantana)**
รัชฎา บุญเต็ม (Radchada Buntem)***

บทคัดย่อ

เยื่อข่อยถูกสกัดด้วยเบส 3 ชนิดคือ แคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ เยื่อที่ได้ถูกนำไปขึ้นรูปเป็นกระดาษโดยปรับจากวิธีโบราณ เยื่อก่อนและหลังการสกัดด้วยเบสถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์และการวิเคราะห์เชิงความร้อน สเปกตรัมอินฟราเรดของเยื่อก่อนการสกัดแสดงพีคของลิกนินและเฮมิเซลลูโลสที่ 1733 และ 1522 cm^{-1} เยื่อที่สกัดด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตยังปรากฏพีคของลิกนินและเฮมิเซลลูโลสที่ 1743 และ 1522 cm^{-1} XRD ของกระดาษข่อยที่ผ่านการสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความเป็นผลึกสูงที่สุด จากข้อมูล TGA ความเสถียรของเซลลูโลสมากขึ้นเมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการสกัด เนื่องจากสายของเซลลูโลสเข้ามาใกล้กันมากขึ้นเมื่อเยื่อปราศจากลิกนินและเฮมิเซลลูโลส

---

* บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ระดับปริญญามหาบัณฑิต เรื่อง การศึกษาความเสื่อมสภาพและการอนุรักษ์หนังสือสมุดไทยที่มีภาพเขียนสี กรณีศึกษาหนังสือสมุดไทยเลขทะเบียน ร.ว.3 วัดราชาธิวาส ราชวรวิหาร กรุงเทพมหานคร

This manuscript is a part of the Master thesis entitled “Studies on deterioration and conservation for Thai manuscript with painting, case study on the Thai manuscript with the registration number of R.W. 3 from Wat Rachathiwat Ratchaworawihan temple”.

** นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาอนุรักษ์ศิลปกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร กรุงเทพฯ 10170
e-mail : jutamas.joom@gmail.com

A master degree student in Conservation of Fine Art, Graduate School, Silpakorn University, Bangkok10170, e-mail: jutamas.joom@gmail.com

***อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.รัชฎา บุญเต็ม อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
e-mail: Buntem_R@su.ac.th

A thesis advisor, Asst. Prof. Dr. Radchada Buntem, Department of Chemistry, Faculty of Science, Silpakorn University, e-mail: Buntem_R@su.ac.th

Abstract

Pulp from khoi tree was extracted by three different bases, calcium carbonate, calcium hydroxide and sodium hydroxide. The pulp was then used for paper fabrication. The process was adapted from ancient method. The pulps before after base extraction were analyzed by FTIR, X-ray diffraction and TGA. The FTIR spectrum of the pulp before extraction shows the characteristic peaks of lignin and hemicellulose at 1733 and 1522 cm^{-1}. Calcium carbonate-extracted pulp still shows the peaks of lignin and hemicellulose at 1743 and 1522 cm^{-1}. XRD of the sodium hydroxide-extracted pulp shows the highest crystallinity. From TGA data, the cellulose thermal stability was increased when sodium hydroxide was used for extraction. This is due to the close contact of cellulose chains of the lignin and hemicellulose - free pulp.

บทนำ

การผลิตกระดาษมีประวัติศาสตร์อันยาวนาน เริ่มผลิตในประเทศจีนตั้งแต่ปี ค.ศ. 105 โดยขุนนางในราชวงศ์ฮั่นชื่อเซียะหลุน (Ts'ai Lun) (https://en.wikipedia.org/wiki/Papermaking) ทำแผ่นกระดาษจากปอสา (mulberry) และเส้นใยชนิดอื่น สำหรับประเทศไทยการทำกระดาษเริ่มมาตั้งแต่สมัยอยุธยา (ค.ศ.1351 - 1767) (เดอ ลาลูแบร์, 2552) กระดาษที่นำมาใช้ทำสมุดไทยโบราณทำมาจากต้นข่อย *(Streblus asper Lour.)* ต้นข่อยพบได้ทั่วไปในประเทศไทยและประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ กระบวนการทำกระดาษข่อยเริ่มต้นจากตัดกิ่งข่อยแล้วลอกเปลือกนอกออก นำเปลือกข่อยแช่ในน้ำ 3-4 วัน แล้วฉีกเปลือกข่อยให้เป็นเส้น จากนั้นนำไปคลุกกับปูนขาว(แคลเซียมไฮดรอกไซด์)และให้ความร้อน จนเปลือกสุก จากนั้นนำขึ้นมาล้างน้ำให้สะอาด แล้วนำมาทุบให้ละเอียดและทำการขึ้นรูปเป็นกระดาษ (สำนักหอสมุดแห่งชาติ กรมศิลปากร, 2553) การใช้ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ในการหมักเยื่อข่อยนั้นไม่สามารถกำจัดลิกนินออกจากเส้นใยได้อย่างมีประสิทธิภาพ สังเกตได้จากสีน้ำตาลอ่อนของกระดาษข่อยที่ผลิตได้ มีหลักฐานแสดงให้เห็นชัดเจนว่าลิกนินที่อยู่ในกระดาษเป็นสาเหตุการเสื่อมสภาพของกระดาษ (Bukovský, 2000 และ Bukovský, et al., 2003)

เซลลูโลสมีสูตรเป็น $(C_6H_{10}O_5)_n$ เป็นโพลิเมอร์ที่ได้จากพืชหลายชนิด จากคุณสมบัติเชิงเคมีและฟิสิกส์ที่น่าสนใจทำให้เซลลูโลสเป็นแหล่งชีวมวลที่มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง และเป็นองค์ประกอบหลักในการผลิตกระดาษและอุตสาหกรรมอื่นๆ (de Souze Lima, et al., 2004; Stephen, 1995 และ Whistler, et al., 1997) ในกระบวนการสกัดเซลลูโลสเริ่มต้นด้วยการใช้เบสแก่เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลส รวมทั้งซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) (Li, et al., 2007) และมีการฟอกขาวเส้นใยด้วยสารฟอกขาว ซึ่งถ้าสารฟอกขาวมีองค์ประกอบของคลอรีน ซึ่งมีผลทำให้เนื้อกระดาษมี ความแข็งแรงลดลง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองสกัดเซลลูโลสจากเปลือกข่อยโดยใช้เบส 3 ชนิดคือ แคลเซียม-คาร์บอเนต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วนำเส้นใยเซลลูโลสที่ได้ไปขึ้นรูปเป็นกระดาษ

Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 4 Number 3 May – June 2017 ISSN 2408 - 1248

โดยกระบวนการสกัดและการขึ้นรูปมีบางส่วนที่เลียนแบบจากวิธีโบราณและบางส่วนที่ปรับปรุงเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพกับสภาพของห้องปฏิบัติการวิจัย

วิธีการศึกษา

1. สารเคมี

แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$), แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) มาจากบริษัท Sigma-Aldrich มีความบริสุทธิ์ในระดับ AR grade

2. การเตรียมเปลือกข่อย

ตัดกิ่งออกจากลำต้น เลือกกิ่งที่ไม่อ่อนหรือแก่จนเกินไป เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 - 8 เซนติเมตรลอกเปลือกขณะที่กิ่งยังสด และพยายามลอกส่วนเปลือกนอกออกให้ได้มากที่สุด นำไปตากแดดให้แห้งสนิท

3. การเตรียมเยื่อข่อยสำหรับทำกระดาษ

<u>สกัดด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต</u>

นำเปลือกข่อยจากข้อ 2 หนัก 18 กรัม แช่น้ำ 2 วัน ล้างเมือกที่ติดอยู่ออก แล้วฉีกให้เป็นเส้นเล็กๆ นำเปลือกข่อยที่ได้หนัก 60 กรัม ผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 50 กรัม (0.5 โมล) ในน้ำกลั่น 60 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปกรวย ต้มให้สารละลายเดือดเป็นเวลา 4 ชั่วโมง แยกเปลือกข่อยออกจากสารละลาย แล้วล้างเปลือกข่อยจนน้ำล้างเป็นกลาง แล้วนำมาตำจนเยื่อละเอียดทั่วกัน ล้างเยื่อด้วยน้ำจนสะอาด จะได้เยื่อที่พร้อมขึ้นรูปเป็นกระดาษ

<u>สกัดด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์</u>

ทำการทดลองเลียนแบบการสกัดด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต แต่เปลี่ยนใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์หนัก 37 กรัม

<u>สกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์</u>

ทำการทดลองเลียนแบบการสกัดด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต แต่เปลี่ยนใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์หนัก 20 กรัม

4. การทำกระดาษข่อย

นำเยื่อที่ได้จากข้อ 3 มาผสมกับน้ำ 2.4 ลิตร มาขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.0 เซนติเมตร แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำกระดาษข่อยที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fourier Transformed Infrared Spectroscopy (FTIR) โดยเตรียมตัวอย่างในลักษณะของ KBr disc เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction) และการวิเคราะห์เชิงความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA)

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1. การเตรียมเยื่อข่อยและการขึ้นรูปกระดาษ

เปลือกข่อยที่ผ่านการลอกเปลือกนอกออกมีลักษณะดังรูปที่ 2 (a) หลังจากนำเปลือกข่อยไปตากแห้งจะได้เส้นใยสีน้ำตาลอ่อนดังรูปที่ 1 (b) จากนั้นนำเปลือกข่อยไปแช่น้ำเป็นเวลา 2 วัน แล้วฉีกให้เป็นเส้น (c) จะพบว่าเปลือกจะนิ่มขึ้น และนำเปลือกที่นิ่มขึ้นนี้ไปสกัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลสออกด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต

แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถสกัดเอา ลิกนินออกได้ดีที่สุด โดยดูจากสีของน้ำสกัดที่มีสีน้ำตาลเข้ม (ดูรูปที่ 2)

(a) (b) (c)

รูปที่ 1 (a) การเก็บเปลือกข่อย (b) เปลือกข่อยแห้ง (c) เปลือกข่อยที่แช่น้ำเป็นเวลา 2 วัน

(a) (b) (c)

รูปที่ 2 ลักษณะของน้ำหลังจากการสกัดด้วย (a) แคลเซียมคาร์บอเนต (b) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (c) โซเดียมไฮดรอกไซด์

เยื่อข่อยหลังจากผ่านการสกัดด้วยเบสถูกนำมาตำเยื่อให้ละเอียด (ดูรูปที่ 3) นำเยื่อมาผสมกับน้ำแล้วขึ้นรูปกระดาษบนตะแกรง แล้วอบแผ่นกระดาษที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จะได้แผ่นกระดาษที่มีลักษณะดังรูปที่ 4 พบว่าแผ่นกระดาษที่ได้จากเยื่อที่ผ่านการสกัดด้วย NaOH มีสีอ่อนที่สุด และเยื่อจะดูละเอียดที่สุด

(a) (b)

Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 4 Number 3 May – June 2017 ISSN 2408 - 1248

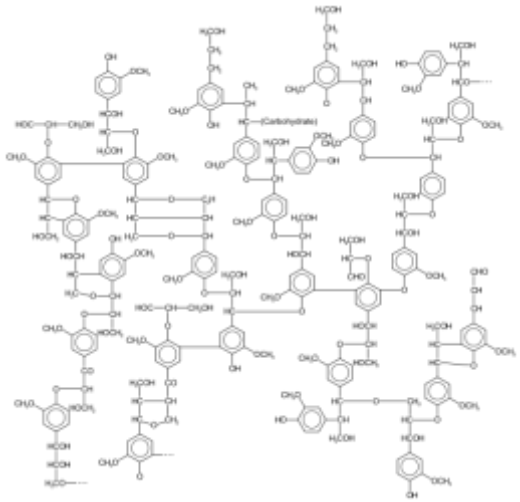
(c)

รูปที่ 3 ลักษณะของเยื่อข่อยหลังจากการสกัดด้วย (a) แคลเซียมคาร์บอเนต (b) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (c) โซเดียมไฮดรอกไซด์ และผ่านการตำเยื่อแล้ว

(a) (b) (c)

รูปที่ 4 กระดาษข่อยหลังจากการสกัดด้วย (a) แคลเซียมคาร์บอเนต (b) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (c) โซเดียมไฮดรอกไซด์

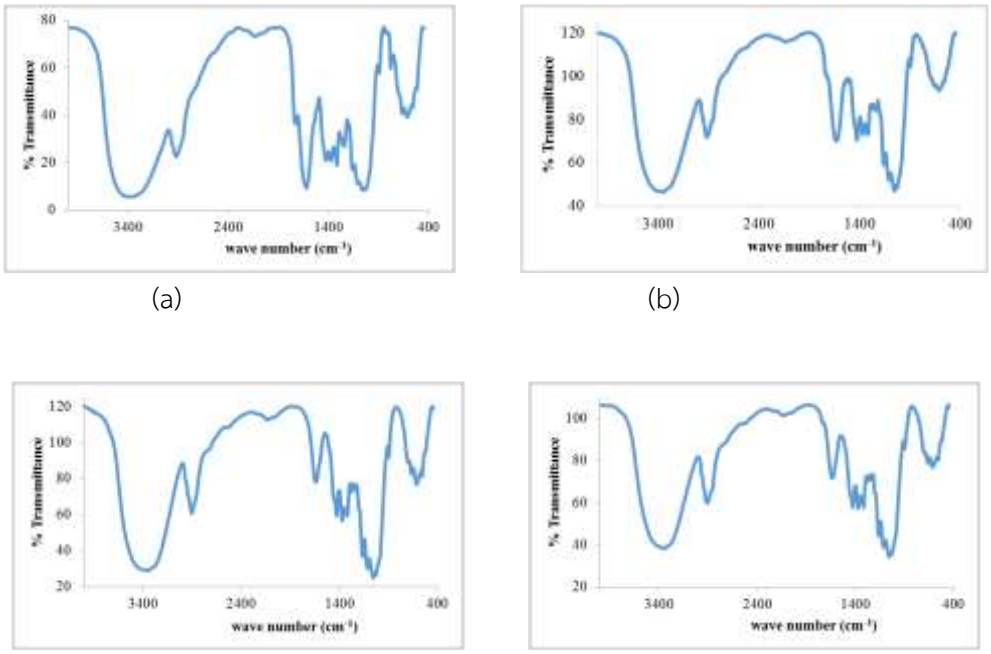
นอกจากนี้จากโครงสร้างของลิกนินในรูปที่ 5 ซึ่งมีส่วนของโครงสร้างเป็นฟีนอลซึ่งมีสมบัติเป็นกรดอ่อน ซึ่งจะถูกสกัดออกมาได้ดีที่สุดด้วยเบสแก่ เช่น NaOH สำหรับการผลิตกระดาษในปัจจุบันใช้ NaOH ในการแยกลิกนินออกจากเส้นใยเซลลูโลส (http://en.wikipedia.org/wiki/Soda_pulping)



รูปที่ 5 โครงสร้างของลิกนิน (https://en.wikipedia.org/wiki/Hemicellulose)

2. การวิเคราะห์กระดาษด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

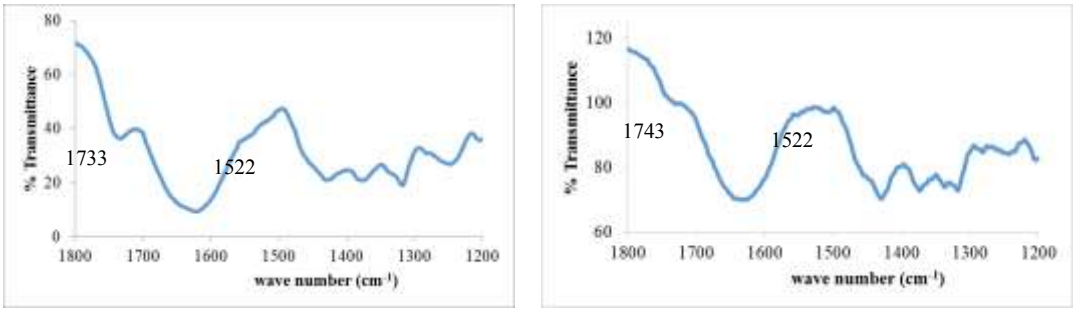
เทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันในเยื่อข่อยก่อนและหลังการสกัดด้วยเบสชนิดต่างๆ สเปกตรัมอินฟราเรดของเส้นใยข่อยก่อนและหลังการสกัดด้วยเบสแสดงในรูปที่ 1 และผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันเป็นดังตารางที่ 1 (Xie, 2016) จะเห็นว่าเส้นใยก่อนการสกัดด้วยเบสปรากฏพีค C=O ของลิกนินที่และเฮมิเซลลูโลส 1733 และ 1522 cm^{-1} (ดูรูปที่ 7) ส่วนเส้นใยหลังการสกัดด้วย $CaCO_3$ ยังปรากฏสัญญาณที่ 1743 และ 1522 cm^{-1} (ดูรูปที่ 7) ซึ่งเป็นพีคของลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ในขณะที่เส้นใยที่ผ่านการสกัดด้วย $Ca(OH)_2$ และ NaOH ไม่ปรากฏสัญญาณของของลิกนินและเฮมิเซลลูโลส



(a) (b)

(c) (d)

รูปที่ 6 สเปกตรัมอินฟราเรดของ (a) เยื่อข่อยก่อนการสกัด และหลังการสกัดด้วย (b) แคลเซียมคาร์บอเนต (c) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (d) โซเดียมไฮดรอกไซด์



(a) (b)

รูปที่ 7 สเปกตรัมอินฟราเรด (ขยายช่วง 1200-1800 cm^{-1}) ของเยื่อข่อย (a) ก่อนการสกัดด้วยเบส (b) หลังสกัดด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต

Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 4 Number 3 May – June 2017 ISSN 2408 - 1248

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR

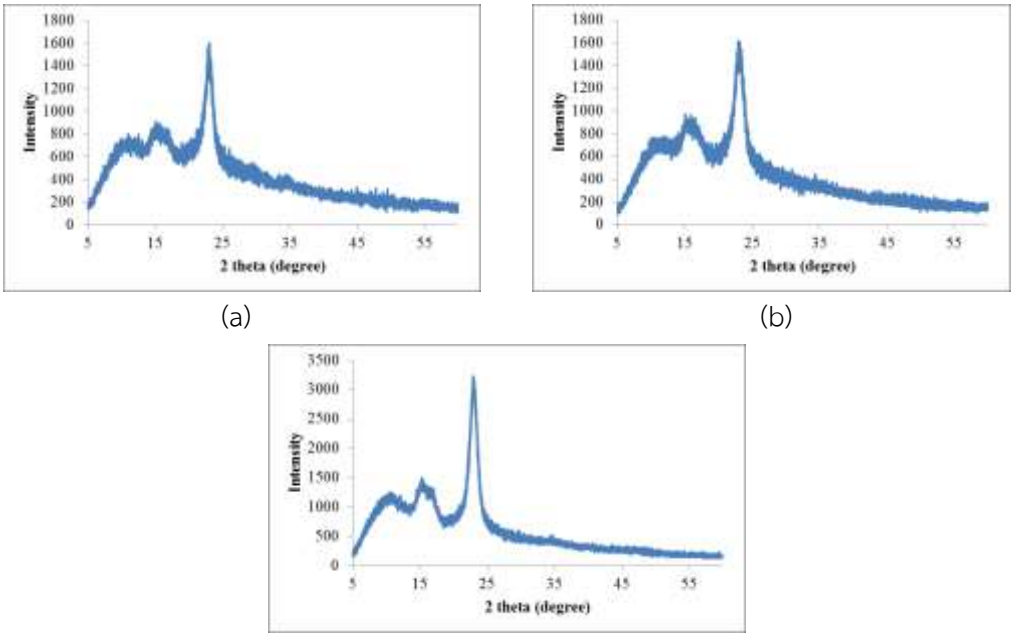
เยื่อข่อย	ความถี่ของการสั่น (cm^{-1}) (ลักษณะการสั่น)
ก่อนการสกัดด้วยเบส	3366 (ν(O-H)), 2923 (ν(C-H)), 1733 (ν(C=O) (ลิกนินหรือเฮมิเซลลูโลส), 1622 (δ(O-H)), 1429, 1374, 1318, 1247 (δ(C-H)), 1161, 1060 (ν(C-O)), 897 (δ(O-H)), 664 (C-H rocking)
หลังสกัดด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต	3348 (ν(O-H)), 2919 (ν(C-H)), 1743 (ν(C=O) (ลิกนินหรือเฮมิเซลลูโลส), 1627 (δ(O-H)), 1461 (δ(C-H)), 1430,1373, 1318 (δ(C-H)), 1161 (ν(C-O)), 1113 (C-H wagging), 1058 (ν(C-O)), 620 (C-H rocking)
หลังสกัดด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์	3349 (ν(O-H)), 2902 (ν(C-H)), 1638 (δ(O-H)), 1464 (δ(C-H)), 1430,1373, 1319 (δ(C-H)), 1166 (ν(C-O)), 1114 (C-H wagging), 1058 (ν(C-O), 619 (C-H rocking)
หลังสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	3348 (ν(O-H)), 2936 (ν(C-H)), 1662 (δ(O-H)), 1465 (δ(C-H)), 1432,1385 (δ(C-H)), 1171 (ν(C-O)), 1168 (C-H wagging), 1062 (ν(C-O), 623 (C-H rocking)

3. การวิเคราะห์กระดาษด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction)

เทคนิคนี้ใช้ในการวัดความเป็นผลึกหรือความเป็นระเบียบของเส้นใย โดย XRD ของเยื่อข่อยแสดงในรูปที่ 8 เส้นใยเซลลูโลสที่มีความบริสุทธิ์สูงกว่าจะมีความเป็นผลึกสูงกว่า โดยคำนวณจากสูตร:

$$\text{ความเป็นผลึก } (\text{CrI}) = \frac{I_{22^\circ} - I_{15^\circ}}{I_{22^\circ}} \times 100$$

ความเป็นผลึกของเยื่อข่อยที่ผ่านการสกัดด้วยเบสชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 2 เยื่อข่อยที่ผ่านการสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความเป็นผลึกสูงที่สุด ลิกนินส่วนใหญ่ในเส้นใยนี้ถูกสกัดออกไปด้วยเบสชนิดนี้ ทำให้สายของเซลลูโลสเข้ามาใกล้กันมากขึ้น ทำให้พันธะไฮโดรเจนซึ่งเป็นแรงกระทำระหว่างโมเลกุลเกิดได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ความเป็นระเบียบของสายเซลลูโลสมีมากขึ้น



รูปที่ 8 XRD ของกระดาษข่อยที่ผ่านการสกัดด้วย (a) แคลเซียมคาร์บอเนต (b) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (c) โซเดียมไฮดรอกไซด์

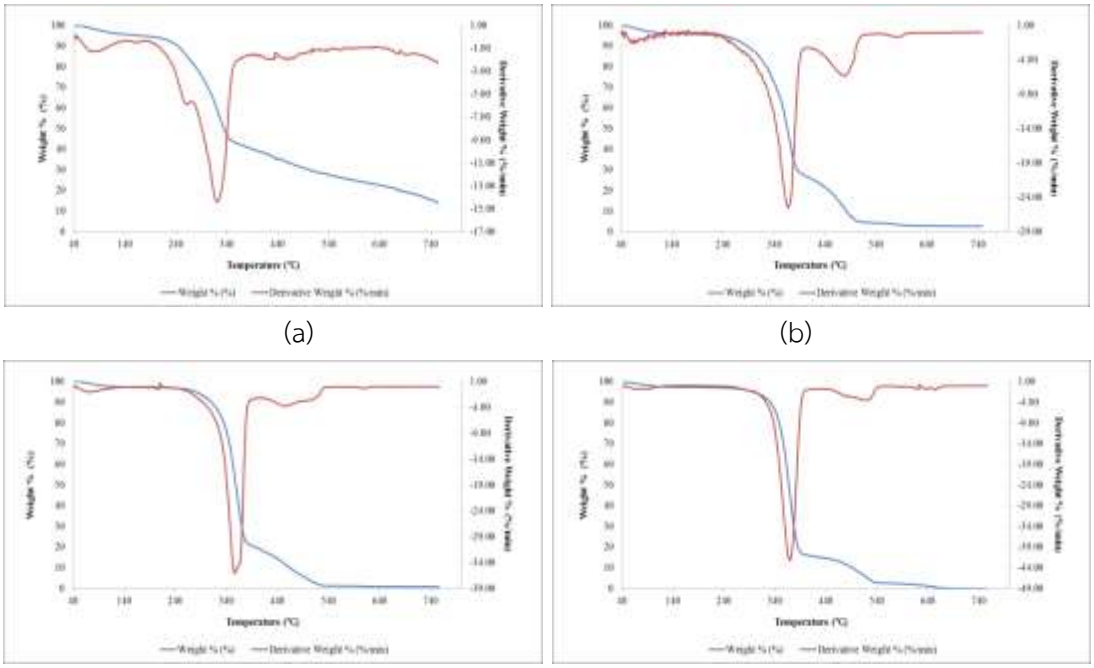
ตารางที่ 2 ความเป็นผลึกของตัวอย่างกระดาษ

กระดาษที่ผ่านการสกัดด้วย	ความเป็นผลึก (%)
แคลเซียมคาร์บอเนต	43.22
แคลเซียมไฮดรอกไซด์	46.22
โซเดียมไฮดรอกไซด์	55.53

3. การวิเคราะห์เชิงความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA)

เทอร์โมแกรม (Thermogram) แสดงการลดลงของน้ำหนักเยื่อเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นของตัวอย่างเยื่อข่อยก่อนและหลังการสกัดด้วยเบสแสดงในรูปที่ 9 และผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3 โดยที่ขั้นตอนที่ 1 ของทุกตัวอย่างเป็นการระเหยของน้ำ ส่วนตัวอย่างเยื่อข่อยก่อนการสกัดจะเกิดการสลายตัวของเซลลูโลสในขั้นตอนที่ 3 ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีการลดลงของน้ำหนักมากที่สุด ส่วนเยื่อข่อยหลังการสกัดด้วยเบส เกิดการสลายตัวของเซลลูโลสในขั้นตอนที่ 2 และ 3 โดยขั้นตอนที่ 2 มีการลดลงของน้ำหนักมากที่สุด พบว่า Tp ในขั้นตอนการสลายตัวของเซลลูโลสในเยื่อข่อยก่อนการสกัดมีค่าน้อยกว่าเยื่อข่อยหลังการสกัด การสกัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลสทำให้สายของเซลลูโลสเข้ามาใกล้กันมากขึ้น พันธะไฮโดรเจนแข็งแรงมากขึ้น ทำให้เซลลูโลสเกิดการสลายตัวยากขึ้น ค่า Tp จะสูงขึ้น และพบว่า Tp ของเยื่อข่อยหลังการสกัดด้วยโซเดียม- ไฮดรอกไซด์มีค่าสูงสุด แสดงว่าทั้งลิกนินและเฮมิเซลลูโลสถูกสกัดออกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ดีที่สุด เยื่อข่อยก่อนการสกัดมีเถ้าเหลือมากที่สุด (% น้ำหนักที่หายไปน้อยที่สุด) ซึ่งเถ้าที่เหลือเป็นสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ในขณะที่ของเยื่อข่อยหลังการสกัดด้วยเบสมีปริมาณเถ้าเหลือน้อยกว่า เนื่องจากเบสจะช่วยกำจัดสารอนินทรีย์และพบพีคการสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตที่หลงเหลือในเยื่อที่สกัดด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต (ขั้นตอนที่ 4)

Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 4 Number 3 May – June 2017 ISSN 2408 - 1248



(a) (b)

(c) (d)

รูปที่ 9 TGA ของ (a) เยื่อข่อยก่อนการสกัด และหลังการสกัดด้วย (b) แคลเซียมคาร์บอเนต (c) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (d) โซเดียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ 3 ผล TGA ของเยื่อข่อย

ตัวอย่าง	ขั้นตอน	อุณหภูมิ (°C)			% น้ำหนักที่หายไป	
		เริ่ม	สุดท้าย	Tp*	แต่ละขั้น	รวม
เยื่อข่อยก่อนการสกัดด้วยเบส	1st	42.65	179.25	79.03	5.08	73.46
	2nd	179.25	269.92	260.52	12.27	
	3rd	269.92	560.33	321.01	56.11	
เยื่อข่อยหลังสกัดด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต	1st	38.02	180.28	57.84	4.15	96.94
	2nd	180.28	404.44	367.89	69.01	
	3rd	404.44	527.66	478.01	22.26	
	4th	527.66	608.2	580.29	1.52	
เยื่อข่อยหลังสกัดด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์	1st	43.24	143.89	73.65	2.7	98.81
	2nd	143.89	404.51	356.63	78.32	
	3rd	404.51	567.29	453.91	17.79	
เยื่อข่อยหลังสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	1st	43.16	196.65	68.22	2.76	97.47
	2nd	196.65	425.32	368.78	82.07	
	3rd	425.32	561.91	515.79	12.64	

หมายเหตุ Tp* คือ อุณหภูมิที่พีคของ Derivative weight % (%/min) เป็นอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมากที่สุด

สรุปผลการทดลอง

การสกัดเยื่อข่อยด้วยเบส 3 ชนิดคือแคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ และ การวิเคราะห์เชิงความร้อน พบว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการกำจัดลิกนิน เฮมิเซลลูโลสและสารอนินทรีย์ได้ดีที่สุด

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

เดอ ลาลูแบร์. (2552). **จดหมายเหตุ ลา ลูแบร์ ราชอาณาจักรสยาม.** พิมพ์ครั้งที่ 3. แปลโดย สันต์ ท. โกมลบุตร. นนทบุรี: ศรีปัญญา.

สำนักหอสมุดแห่งชาติ กรมศิลปากร. (2553) **การทำสมุดไทยและการเตรียมใบลาน**. บริษัททรงสิทธิวรรณจำกัด , 3-19.

http://en.wikipedia.org/wiki/Soda_pulping, เข้าถึงเมื่อวันที่ 6 มิถุนายน 2555.

https://en.wikipedia.org/wiki/Papermaking, เข้าถึงเมื่อวันที่ 12 ธันวาคม 2559.

https://en.wikipedia.org/wiki/Hemicellulose, เข้าถึงเมื่อวันที่ 31 พฤษภาคม 2560.

Bukovský, V. (2000). “The influence of light on ageing of newsprint paper,” **Restaurator,** 21: 55-76.

Bukovský, V., and Trnková, M. (2003). “The influence of secondary chromophores on the light induced oxidation of paper. Part II: The influence of light on groundwood paper.” **Restaurator**, 24: 118-132.

de Souze Lima, M. M., and Borsali, R. (2004). “Rodlike cellulose microcrystals: Structure, properties, and applications.” **Macromolecular Rapid Communications**, 25: 771–787.

Li, J. B., Henriksson, G. and Gellerstedt, G. (2007). “Lignin depolymerization/repoly- merization and its critical role for delignification of aspen wood by steam explosion”. **Bioresource Technology**, 98: 3061–3068.

Stephen, A. M. (1995). **Food polysaccharides and their applications**. New York: Marcel Dekker.

Whistler, R. L., and BeMiller, J. N. (1997). **Cellulosics. In Carbohydrate chemistry for food scientists**. American Association of Cereal Chemists Inc., Minnesota: Vol. 1:155).

Xie, J., Hse, C.-Y., De Hoop, C. F., Hu, T., Qi, J., Shupe, T. F. (2016). “Isolation and characterization of cellulose nanofibers from bamboo using microwave liquefaction combined with chemical treatment and ultrasonication”. **Carbohydrate Polymers**, 151: 725–734.