



## การปรับสภาพกระดาษสำนักงานและกระดาษหนังสือพิมพ์โดยวิธีทางเคมีและกายภาพร่วมกับเคมี Pretreatment of Office Paper and Newspaper by Chemical and Physicochemical Method

ปิยาภรณ์ วงศ์ศิริกุล<sup>1</sup>, นูร์มี และปานา<sup>1</sup>, ซัมมีรา โซ๊ะโก<sup>1</sup>, สาธุมา สมานมานัน<sup>1</sup>, รวิวรรณ วัฒนายน<sup>1</sup>

Piyaporn Vangsirigul<sup>1</sup>, Nurme Leahpana<sup>1</sup>, Samira Sohko<sup>1</sup>, Saluma Samanman<sup>1</sup>, Rawiwan Wattanayon<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

การศึกษาการปรับสภาพที่เหมาะสมของกระดาษสำนักงานและกระดาษหนังสือพิมพ์โดยวิธีทางเคมีและกายภาพร่วมกับเคมี เมื่อนำกระดาษสำนักงานมาปรับสภาพทางเคมีที่ดีที่สุด คือ กรดไฮโดรคลอริก 3 โมลาร์ มีปริมาณเซลลูโลส 92.60% ลิกนิน 1.60% และเฮมิเซลลูโลส 5.90% เมื่อนำกระดาษสำนักงานมาผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 3 โมลาร์ ร่วมกับความร้อนไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จะมีปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้น (94.39%) แต่มีปริมาณลิกนิน (1.10%) และเฮมิเซลลูโลสลดลง (4.51%) ส่วนกระดาษหนังสือพิมพ์การปรับสภาพทางเคมีที่ดีที่สุด คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 3 โมลาร์ มีเซลลูโลส 91.45% ลิกนิน 28.33% และเฮมิเซลลูโลส 21.78% ส่วนกระดาษหนังสือพิมพ์ ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 3 โมลาร์ ร่วมกับความร้อนไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จะมีปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้น (97.00%) แต่มีปริมาณลิกนิน (21.00%) และเฮมิเซลลูโลสลดลง (18.00%) ดังนั้น การปรับสภาพด้วยเคมีร่วมกับกายภาพมีประสิทธิภาพดีกว่าเคมีเพียงอย่างเดียว เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของกระดาษสำนักงานและกระดาษหนังสือพิมพ์ นำไปไฮโดรไลซ์ด้วยกรดและเอนไซม์ ได้น้ำตาลโมลกุลเดี่ยวมาใช้ในการหมักไปเอทานอล

**คำสำคัญ:** การปรับสภาพ การปรับสภาพวิธีทางเคมี การปรับสภาพกายภาพร่วมกับเคมี

### Abstract

The pretreatment study of office paper and newspaper by chemical and physicochemical methods. In from of chemical, The office paper treated with 3 M HCl resulted in 92.60% cellulose, 1.60% lignin and 5.90% hemicellulose. The office paper treated 3 M HCl autoclaved at 121 °C for 15 minute was demonstrated 94.39% cellulose the higher yield as 94.39% of cellulose but lower yield of 1.10% of lignin and 4.51% of hemicellulose. Beside, the newspaper was present the best of pretreatment for chemical method with 3 M NaOH treatment. It was shown 91.45% of cellulose, 28.33% of lignin and 21.78% of hemicellulose. Moreover, newspaper treated with 3 M NaOH and autoclave at 121 °C for 15 minute was shown the higher yield as 97.00% of cellulose but lower yield as 21.00% of lignin and 18.00% of hemicellulose. Therefore, the physicochemical pretreatment method show higher efficiency than chemical pretreatment method. The cellulose and hemicellulose chemical composition in office paper and newspaper were hydrolyzed by acid and enzymes converted to sugar monomer that used for fermentation to bioethanol.

**Keywords:** Pretreatment, Chemical pretreatment, Physicochemical pretreatment

<sup>1</sup> คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

<sup>1</sup> Faculty of Science and Technology, Princess of Naradhiwas University



## บทนำ

ในปัจจุบันกระดาษมีจำนวนมากมายมหาศาล โดยกระดาษเป็นวัสดุที่มีการนำมาใช้ในชีวิตประจำวันค่อนข้างมาก และมีหลากหลายชนิด ได้แก่ กระดาษหนังสือพิมพ์ กระดาษเครื่องเขียนขนาดต่างๆ กระดาษคอมพิวเตอร์และกล่องกระดาษ (เสาวนีย์ กอวุฒิกุลรังษี, 2551) กระดาษที่ผลิตขึ้นมาแต่ละชนิด ประกอบด้วยส่วนเส้นใย ที่เรียกทั่วไปว่าเยื่อ แเบงออกเป็นเยื่อใยยาวและเยื่อใยสั้น เยื่อใยยาวจะได้จากไม้เนื้อแข็ง เช่น ต้นสน ไม้ยูคาลิปตัส ไม้ เป็นต้น ส่วนเยื่อใยสั้นมาจากไม้เนื้ออ่อน ส่วนใหญ่ได้จากพืชท้องถิ่นหลายชนิด ได้แก่ เยื่อจากขานอ้อย ฟางข้าว เป็นต้น เมื่อเปรียบเทียบในการผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ปี 2556 ผลผลิตอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อกระดาษลดลงร้อยละ 8.92 เมื่อเทียบกับปีก่อน โดยในส่วนของกระดาษ ได้แก่ กระดาษแข็งและกระดาษคราฟท์ มีการผลิตเมื่อเปรียบเทียบกับปีก่อนเพิ่มขึ้น ร้อยละ 1.87 และ 1.66 ตามลำดับ ซึ่งยังเติบโตอย่างต่อเนื่องตามการขยายตัวของอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์และสิ่งพิมพ์เพื่อการบรรจุหีบห่อ ประกอบกับความต้องการใช้ในภาคการผลิตที่ขยายตัวเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง สำหรับกระดาษพิมพ์เขียนและกระดาษลูกฟูก มีการผลิตลดลงร้อยละ 0.08 และ 5.15 ตามลำดับ (“การผลิต”, ม.ป.ป.) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณกระดาษเพิ่มขึ้นตามจำนวนความต้องการของผู้ใช้ จึงมีผลทำให้ปริมาณขยะกระดาษเพิ่มมากขึ้น กระดาษสามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ใหม่เนื่องจากองค์ประกอบของกระดาษ ประกอบด้วยเส้นใย แต่ในปัจจุบันกระดาษที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่เป็นกระดาษรีไซเคิลไม่ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ จำนวนที่เหลือมากมายกลายเป็นขยะอยู่ในแหล่งทิ้งขยะเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่สิ้นเปลืองที่สุด โดยเฉพาะหนังสือพิมพ์เป็นผลิตภัณฑ์จากกระดาษที่มีการผลิตขึ้นเพื่อให้ข้อมูลข่าวสารซึ่งมีจำนวนมากภายในแต่ละวัน หลังจากการอ่านแล้วทิ้งกลายเป็นขยะ ทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม มีเพียงร้อยละ 3 ของกระดาษหนังสือพิมพ์ที่สามารถนำไปผลิตสิ่งพิมพ์ได้ใหม่ (“กระดาษที่ใช้ในการพิมพ์”, ม.ป.ป.) จากที่กล่าวมาข้างต้น แสดงให้เห็นว่ากระดาษที่ใช้แล้ว ส่วนใหญ่จะกลายเป็นขยะ ซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำงานกำจัดขยะ เนื่องจากส่วนใหญ่การกำจัดขยะจะใช้วิธีการเผา การฝังกลบซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีทางเลือกอีกหนทางโดยนำมาผลิตเป็นน้ำตาล เนื่องจากองค์ประกอบของกระดาษส่วนใหญ่เป็นเส้นใยที่เป็นองค์ประกอบของเซลลูโลส สามารถนำมาผลิตเป็นน้ำตาล โดยการผลิตน้ำตาลจะมี 2 กระบวนการที่สำคัญ คือ กระบวนการเปลี่ยนเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบหลักในการผลิตน้ำตาล (Saccharification) และการนำน้ำตาลที่ได้มาเป็นแหล่งอาหารในกระบวนการหมักให้จุลินทรีย์ (Fermentation) ในการผลิตเอทานอลหรือกรดแลคติก ซึ่งในกระบวนการเปลี่ยนเซลลูโลสเป็นน้ำตาล จะต้องผ่านกระบวนการที่สำคัญคือ กระบวนการปรับสภาพวัตถุดิบ เป็นการกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ลดความเป็นผลึกของเซลลูโลส เนื่องจากองค์ประกอบของไม้ที่ผลิตกระดาษจะประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เพราะลิกนินเป็นส่วนป้องกันเซลลูโลสไม่ให้ถูกย่อยสลายได้ง่ายโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ (Cheng et al., 2008) จึงต้องมีกระบวนการปรับสภาพโดยแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ ได้แก่ การปรับสภาพทางกายภาพ การปรับสภาพทางกายภาพร่วมกับเคมี การปรับสภาพทางเคมี และการปรับสภาพทางชีวภาพ (สุภาวดี ผลประเสริฐ, 2557) เพื่อเพิ่มปริมาณเซลลูโลสและลดปริมาณลิกนิน ดังนั้น กระบวนการเปลี่ยนเซลลูโลสเป็นน้ำตาลจะต้องผ่านกระบวนการปรับสภาพวัตถุดิบก่อน โดยในการวิจัยได้ศึกษากระบวนการปรับสภาพทางเคมีและทางกายภาพร่วมกับเคมี โดยใช้วัตถุดิบที่เป็นกระดาษสำนักงานและกระดาษหนังสือพิมพ์ที่เหลือใช้จากการทำเป็นสื่อต่างๆ เพื่อสามารถนำไปต่อยอดผลิตเป็นน้ำตาลได้

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาชนิดของสารเคมีที่เหมาะสมในการปรับสภาพกระดาษสำนักงานและกระดาษหนังสือพิมพ์เพื่อช่วยเพิ่มปริมาณเซลลูโลส และลดปริมาณลิกนิน
2. เพื่อศึกษาการปรับสภาพทางเคมีและทางกายภาพร่วมกับเคมีที่เหมาะสมในการปรับสภาพกระดาษสำนักงานและกระดาษหนังสือพิมพ์เพื่อช่วยเพิ่มปริมาณเซลลูโลส และลดปริมาณลิกนิน
3. เพื่อศึกษาองค์ประกอบของกระดาษสำนักงานและกระดาษหนังสือพิมพ์ก่อนและหลังปรับสภาพ



## ระเบียบวิธีวิจัย

### 1. การเตรียมกระดาษ

นำกระดาษสำนักงานและกระดาษหนังสือพิมพ์มาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาด 1x1 เซนติเมตร กระดาษที่ได้จากขั้นตอนนี้เรียกว่า กระดาษก่อนปรับสภาพ

### 2. การศึกษาการปรับสภาพ

#### 2.1 การศึกษาการปรับสภาพทางเคมี

นำกระดาษสำนักงานและกระดาษหนังสือพิมพ์ที่ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ในข้อ 1 โดยใช้กระดาษ 10 กรัมต่อสารละลาย 150 มิลลิลิตร โดยสารละลาย 3 ชนิด ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ แอมโมเนียมซัลเฟต และกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 3 โมลาร์ แล้วเขย่าด้วยเครื่องเขย่าอัตโนมัติเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมากรองด้วยผ้าขาวบาง อบให้แห้ง นำตะกอนที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก (ทำการอบจนกว่าน้ำหนักคงที่) นำมาทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ตะกอนที่ได้หลังจากขั้นตอนนี้ เรียกว่า กระดาษหลังปรับสภาพ

#### 2.2 การศึกษาการปรับสภาพทางเคมีร่วมกับกายภาพ

การศึกษาการปรับสภาพทางเคมีร่วมกับความดันไอน้ำ นำกระดาษสำนักงานและกระดาษหนังสือพิมพ์ที่ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ในข้อ 1 โดยใช้กระดาษ 10 กรัมต่อสารละลาย 150 มิลลิลิตร โดยสารละลาย 3 ชนิด ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ แอมโมเนียมซัลเฟต และกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 3 โมลาร์ แล้วเขย่าด้วยเครื่องเขย่าอัตโนมัติเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำกระดาษไปเข้าหม้อหนึ่งความดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำกระดาษมากรองด้วยผ้าขาวบาง อบให้แห้ง นำตะกอนที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก (ทำการอบจนกว่าน้ำหนักคงที่) นำมาทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ตะกอนที่ได้หลังจากขั้นตอนนี้ เรียกว่า กระดาษหลังปรับสภาพ

### 3. การวิเคราะห์องค์ประกอบของกระดาษ

#### 3.1 การวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลสตาม TAPPI T203 om-88

นำกระดาษสำนักงานและกระดาษหนังสือพิมพ์ไม่ปรับสภาพและปรับสภาพมาอย่างละ 3 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำกลั่น 160 มิลลิลิตร ใส่กรดอะซิติกเข้มข้น 0.5 มิลลิลิตรและโซเดียมคลอไรด์ 1.5 กรัม นำขวดรูปชมพู่ไปตั้งในอ่างที่มีอุณหภูมิประมาณ 70-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เขย่าสม่ำเสมอ จากนั้นนำมาวางในอ่างน้ำแข็งจนกระทั่งสารละลายในขวดรูปชมพู่มีอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส แล้วนำสารละลายมากรอง ล้างตะกอนด้วยอะซิโตน นำมาอบให้แห้งแล้วชั่งน้ำหนัก นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์เซลลูโลส จากสมการ

คำนวณหาปริมาณเซลลูโลส

$$\% \text{เซลลูโลส} = [A/w] \times 100$$

เมื่อ  $A =$  น้ำหนักเซลลูโลสเป็นกรัม

$w =$  น้ำหนักกระดาษเป็นกรัม

#### 3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณลิกนินตาม TAPPI T222 om-88

นำกระดาษสำนักงานและกระดาษหนังสือพิมพ์ไม่ปรับสภาพและปรับสภาพมาอย่างละ 1 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ นำบีกเกอร์ไปวางในอ่างน้ำแข็ง แล้วค่อยๆ เติม 72%  $H_2SO_4$  ที่เย็น 15 มิลลิลิตร คนสารละลายให้ผสมกันปิดด้วยกระดาษนาฬิกา หลังจากนั้นนำบีกเกอร์ใส่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง คนทุกๆ 15 นาที เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเทสารละลายในบีกเกอร์ลงในขวดก้นกลม พร้อมเติมน้ำกลั่น 135 มิลลิลิตร ทำการรีฟลักซ์ (Reflux) สารละลาย นาน 4 ชั่วโมง จากนั้นให้เทสารละลายในบีกเกอร์ ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน แล้วนำมากรองล้างตะกอนด้วยน้ำร้อน อบให้แห้ง ชั่งน้ำหนัก นำค่าที่ได้คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของลิกนิน



คำนวณหาปริมาณลิกนิน

$$\% \text{ลิกนิน} = [A/w] \times 100$$

เมื่อ  $A$  = น้ำหนักของลิกนินเป็นกรัม

$w$  = น้ำหนักกระดาษเป็นกรัม

### 3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณเฮมิเซลลูโลส (ปิยาภรณ์ วังศิริกุล, 2553)

เนื่องจากโครงสร้างของพอลิแซคคาไรด์ในเซลล์พืชจะมีองค์ประกอบหลักเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เซลลูโลสซึ่งเป็นแหล่งวัตถุดิบสำหรับการผลิตกระดาษ จะมีมากในส่วนที่เรียกว่า ลำต้น เนื้อไม้ในส่วนที่เป็นลำต้น ประกอบด้วยเส้นใยเซลลูโลสปนอยู่กับเฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ทั้งไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็งจะมีเซลลูโลสอยู่ถึงร้อยละ 50 จึงสามารถนำมาคำนวณหาเฮมิเซลลูโลสได้จากสมการ

$$100 = \text{เซลลูโลส} + \text{เฮมิเซลลูโลส} + \text{ลิกนิน}$$

## ผลการวิจัย

### ผลของการวิเคราะห์องค์ประกอบของกระดาษหนังสือพิมพ์และกระดาษสำนักงานก่อนปรับสภาพ

องค์ประกอบทางเคมีของกระดาษหนังสือพิมพ์และกระดาษสำนักงานก่อนปรับสภาพนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของเซลลูโลส ลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบองค์ประกอบของกระดาษหนังสือพิมพ์และกระดาษสำนักงานก่อนปรับสภาพ

ตัวอย่าง	เซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)	เฮมิเซลลูโลส (%)
กระดาษหนังสือพิมพ์	87.32±0.88	40.67±0.58	28.00
กระดาษสำนักงาน	82.22±0.19	2.80±0.78	14.98

### ผลของการวิเคราะห์องค์ประกอบของกระดาษหนังสือพิมพ์และกระดาษสำนักงานหลังปรับสภาพ

#### ผลของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลังปรับด้วยวิธีทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของกระดาษหนังสือพิมพ์และกระดาษสำนักงาน ที่ผ่านวิธีการปรับสภาพทางเคมีโดยใช้สารละลาย 3 ชนิด ได้แก่ ไฮโดรคลอริก (HCl) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และแอมโมเนียมซัลเฟต ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ความเข้มข้น 3 โมลาร์ เพื่อเพิ่มปริมาณเซลลูโลสและลดปริมาณลิกนิน นำมาวิเคราะห์หาปริมาณของเซลลูโลส ลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของกระดาษหนังสือพิมพ์ก่อนและหลังปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมี โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แอมโมเนียมซัลเฟต และกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 3 โมลาร์

ตัวอย่าง	สารละลาย	เซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)	เฮมิเซลลูโลส (%)
กระดาษหนังสือพิมพ์	3M HCl	85.11±0.19	35.67±0.58	21.78
กระดาษหนังสือพิมพ์	3M NaOH	91.45±0.39	28.33±0.58	21.78
กระดาษหนังสือพิมพ์	3M(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	84.30±30.58	38.67±0.58	23.00
กระดาษสำนักงาน	3M HCl	92.60±0.35	1.50±0.50	5.90
กระดาษสำนักงาน	3M NaOH	73.60±1.34	1.60±0.76	36.17
กระดาษสำนักงาน	3M(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	62.83±1.76	1.00±0.00	24.80



### ผลของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลังปรับด้วยวิธีทางเคมีร่วมกับกายภาพ

#### ผลของการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่ปรับสภาพด้วยเครื่องความดันไอน้ำกับเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของกระดาษหนังสือพิมพ์และกระดาษสำนักงานที่ผ่านวิธีการปรับสภาพทางเคมีร่วมกับความดันไอน้ำ โดยใช้สารละลาย 3 ชนิด ได้แก่ ไฮโดรคลอริก (HCl) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และแอมโมเนียมซัลเฟต ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ความเข้มข้น 3 โมลาร์ ด้วยเครื่องความดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที เพื่อเพิ่มปริมาณเซลลูโลสและลดปริมาณลิกนิน นำมาวิเคราะห์หาปริมาณของเซลลูโลส ลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** องค์ประกอบของกระดาษหนังสือพิมพ์และกระดาษสำนักงานก่อนและหลังปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมีร่วมกับความดันไอน้ำ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แอมโมเนียมซัลเฟต และ กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 3 โมลาร์ และเพิ่มความดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

ตัวอย่าง	สารละลาย	เซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)	เฮมิเซลลูโลส (%)
กระดาษหนังสือพิมพ์	3M HCl	91.00±0.33	28.00±1.00	19.00
กระดาษหนังสือพิมพ์	3M NaOH	97.00±0.33	21.00±1.00	18.00
กระดาษหนังสือพิมพ์	3M(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	87.89±0.19	32.00±1.00	19.89
กระดาษสำนักงาน	3M HCl	94.39±3.84	1.10±0.28	4.51
กระดาษสำนักงาน	3M NaOH	83.00±3.78	1.30±0.28	15.70
กระดาษสำนักงาน	3M(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	72.11±6.39	1.50±0.5	26.39

#### ผลการเปรียบเทียบก่อนปรับสภาพ, หลังปรับสภาพทางเคมีและเคมีร่วมกับกายภาพ

การเปรียบเทียบการปรับสภาพก่อนปรับสภาพและหลังการปรับสภาพ การปรับสภาพทางเคมีของกระดาษสำนักงานด้วยไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 3 โมลาร์ กระดาษหนังสือพิมพ์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 3 โมลาร์ และวิธีทางเคมีร่วมกับความดันไอน้ำ กระดาษสำนักงาน ด้วยไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 3 โมลาร์กับเพิ่มความดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที กระดาษหนังสือพิมพ์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 3 โมลาร์กับเพิ่มความดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ได้แสดงผลในตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** องค์ประกอบของกระดาษหนังสือพิมพ์และกระดาษสำนักงานก่อนและหลังปรับสภาพ

ชนิดกระดาษ	องค์ประกอบ (%)	ก่อนปรับสภาพ	สารละลาย	ปรับสภาพทางเคมี	ปรับสภาพทางเคมี รวมความดันไอน้ำ
กระดาษหนังสือพิมพ์	เซลลูโลส	87.32±0.88	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (3 M)	95.89±0.19	97.00±0.33
	ลิกนิน	40.67±0.58		23.00±1.00	21.00±1.00
	เฮมิเซลลูโลส	28.00		18.89	18.00
กระดาษสำนักงาน	เซลลูโลส	82.22±0.19	ไฮโดรคลอริก (3 M)	92.33±2.88	94.39±3.84
	ลิกนิน	2.80±0.78		1.10±0.28	1.10±0.28
	เฮมิเซลลูโลส	14.98			4.51

**ผลการเปรียบเทียบการเพิ่มของเซลลูโลสและการลดลงของลิกนินกับเฮมิเซลลูโลส**

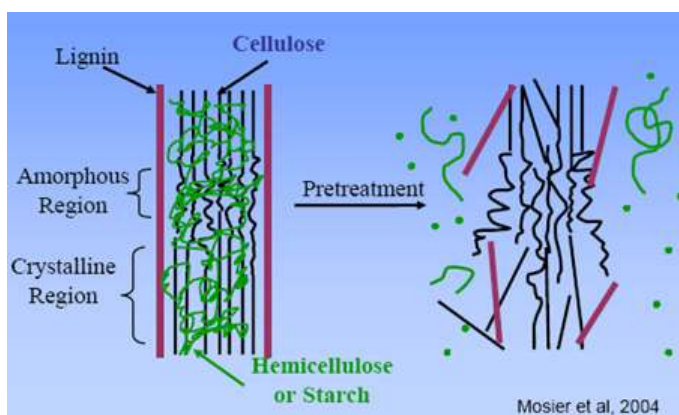
การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของเซลลูโลส และเปอร์เซ็นต์การลดลงของลิกนินกับเฮมิเซลลูโลสด้วยวิธีทางเคมีและเคมีร่วมกับกายภาพ ผลการทดลอง พบว่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของเซลลูโลสด้วยวิธีทางเคมีร่วมกับกายภาพจะมากกว่าวิธีทางเคมีเพียงอย่างเดียว และมีปริมาณลิกนินและเฮมิเซลลูโลสลดลงกว่าวิธีทางเคมี โดยเอาค่าก่อนปรับสภาพมาหักลบกับหลังการปรับสภาพ เป็นเปอร์เซ็นต์ของการเพิ่มขึ้นของเซลลูโลส และเปอร์เซ็นต์การลดลง ถ้ายิ่งเปรียบเทียบค่าเซลลูโลส มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าก่อนปรับ ส่วนเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน เปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้น แสดงว่าเฮมิเซลลูโลสและลิกนินมีปริมาณลดลงได้ดี

**ตารางที่ 6** การเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของเซลลูโลสและการลดลงของลิกนินกับเฮมิเซลลูโลส

ตัวอย่าง	วิธีการปรับสภาพ	เซลลูโลส (%)	เฮมิเซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)
กระดาษสำนักงาน	HCl	10.38	9.08	1.30
	HCl กับ ความดันไอน้ำ	12.17	10.47	1.70
กระดาษหนังสือพิมพ์	NaOH	4.12	6.22	12.34
	NaOH กับ ความดันไอน้ำ	9.67	10.00	19.67

**อภิปรายผล**

การปรับสภาพวัตถุดิบ มีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดลิกนิน เนื่องจากมีสมบัติไปห่อหุ้มหรือเคลือบโครงสร้างของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนินจึงเหมือนผนังป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลายเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส นอกจากนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มขนาดรูพรุนของตัววัตถุดิบและลดการเกิดผลึกของเซลลูโลส ทำให้เอนไซม์เข้าถึงวัตถุดิบได้ง่ายขึ้น อีกทั้งช่วยลดค่าใช้จ่ายสำหรับใช้เอนไซม์ในการย่อยเซลลูโลส เนื่องจากหากใช้เอนไซม์เพียงอย่างเดียว โดยไม่มีการปรับสภาพวัตถุดิบก่อนจะมีค่าใช้จ่ายสำหรับเอนไซม์ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ (Brodeur et al., 2011) ของต้นทุนการผลิตเอทานอลทั้งหมด จากภาพที่ 1 ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ เมื่อผ่านการปรับสภาพโครงสร้างจะแตกตัวออกจากกัน เป็นการกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลส



**ภาพที่ 1** ผลจากการปรับสภาพในการกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลส  
ที่มา ; Mosier et al., (2004)



กระดาษหนังสือพิมพ์ก่อนปรับสภาพมีปริมาณเซลลูโลส 87.33 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน 40.67 เปอร์เซ็นต์ และเฮมิเซลลูโลส 28 เปอร์เซ็นต์ เมื่อผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมีด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3 โมลาร์ ดีที่สุด คือ เซลลูโลส 91.45 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน 28.33 เปอร์เซ็นต์ และเฮมิเซลลูโลส 21.78 เปอร์เซ็นต์ การปรับสภาพทางเคมีร่วมกับความดันไอน้ำมีเซลลูโลส 97.00 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน 21.00 เปอร์เซ็นต์ และ เฮมิเซลลูโลส 18.00 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับงานวิจัยของ Sangkharak (2011) การศึกษาการปรับสภาพกระดาษหนังสือพิมพ์ ซึ่งปรับสภาพด้วย 3 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และบ่มตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง จะมีปริมาณของแอลฟา-เซลลูโลส 80.34% และลิกนิน 12.14% เมื่อเทียบกับก่อนปรับสภาพจะมีแอลฟา-เซลลูโลสเพิ่มขึ้น และลิกนินลดลงเช่นกัน แต่จะเห็นว่าการใช้ไอน้ำร่วมด้วยจะทำให้ปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้นและลิกนินลดลง จากข้อมูลการทดลองจะแสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพด้วยสารความดันไอน้ำจะได้ปริมาณเซลลูโลสสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการปรับสภาพและการปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมี แสดงให้เห็นว่าหลังปรับสภาพมีปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณลิกนินและเฮมิเซลลูโลสลดลง เนื่องจากการใช้ต่างในการปรับสภาพเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในการทำปฏิกิริยาทำให้วัสดุมีความพรุนมากขึ้นได้ ลดความเป็นผลึกของเซลลูโลส ลดระดับความเป็นพอลิเมอร์ขนาดใหญ่ (รัชพล พะวงค์รัตน์, 2558) ต่างสามารถแตกโครงสร้างของลิกนินและลดการเกิดผลึกของเซลลูโลส (Sun & Cheng, 2002) งานของนันทิกา คล้ายชม, เพ็ญจิตร์ ศรีนพคุณและอนุสิษฐ์ ณะพิมพ์เมธา (2554) รายงานว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์จะทำให้ปริมาณของเซลลูโลสเพิ่มขึ้นในขณะที่ปริมาณเฮมิเซลลูโลสและลิกนินลดลง เมื่อคิดเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นจะแสดงให้เห็นว่าทางเคมีร่วมกับความดันไอน้ำจะมีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นสูงกว่าการใช้เคมีเพียงอย่างเดียว เนื่องจากการใช้ต่างสามารถแตกโครงสร้างของลิกนินและลดการเกิดผลึกของเซลลูโลส (Sun & Cheng, 2002) และเมื่อร่วมกับความดันไอน้ำยังทำให้เกิดการย่อยสลาย เฮมิเซลลูโลสและเปลี่ยนรูปลิกนินได้มากขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงเป็นการเพิ่ม คักยภาพในการย่อยเซลลูโลสด้วย ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการระเบิดด้วยไอน้ำ ได้แก่ ระยะเวลา อุณหภูมิ และขนาด ของชิ้นชีวมวล (Pejo, Olive & Ballesteros, 2008)

กระดาษสำนักงานก่อนปรับสภาพมีปริมาณเซลลูโลส 82.22 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน 2.80 เปอร์เซ็นต์ และเฮมิเซลลูโลส 14.98 เปอร์เซ็นต์ เมื่อผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมีด้วยสารละลายไฮโดรคลอริก 3 โมลาร์ มีค่าเซลลูโลส 92.60 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน 1.50 เปอร์เซ็นต์ และเฮมิเซลลูโลส 5.90 เปอร์เซ็นต์ การปรับสภาพเคมีร่วมกับความดันไอน้ำมีปริมาณเซลลูโลส 94.39 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน 1.10 เปอร์เซ็นต์ และ เฮมิเซลลูโลส 4.51 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการปรับสภาพแสดงให้เห็นว่าหลังปรับสภาพมีปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณลิกนินและเฮมิเซลลูโลสลดลง เปรียบเทียบกับสิริภา จันทราชติ (2553) ทำการทดลองการปรับสภาพกระดาษโดยก่อนปรับสภาพจะมีค่าเซลลูโลส 86.00 ไฮโลเซลลูโลส 84.89 และลิกนิน 2.82 เปอร์เซ็นต์ หลังปรับสภาพกระดาษโดยใช้สารละลายไฮโดรคลอริก 3 โมลาร์ ร่วมกับความดันไอน้ำจะมีค่าเซลลูโลส 89.05 ไฮโลเซลลูโลส 87.15 และลิกนิน 2.80 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเทียบกับงานวิจัยของ Sangkharak (2011) การศึกษาการปรับสภาพกระดาษสำนักงาน ซึ่งปรับสภาพด้วย 3 โมลาร์ โซเดียม ไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และบ่มตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง จะมีปริมาณของแอลฟา-เซลลูโลส 87.12% และลิกนิน 10.93% เมื่อเทียบกับก่อนปรับสภาพจะมีแอลฟา-เซลลูโลสเพิ่มขึ้น และลิกนินลดลง แสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพเคมีร่วมกับความดันไอน้ำจะมีค่าเซลลูโลสเพิ่มขึ้น ซึ่งการใช้กรดเจือจางในการปรับสภาพพบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยเซลลูโลสได้ (สุภาวดี ผลประเสริฐ, 2557) เมื่อร่วมกับความดันไอน้ำยังทำให้เกิดการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสและเปลี่ยนรูปลิกนินได้มากขึ้น



## สรุป

กระดาษหนังสือพิมพ์และกระดาษสำนักงานที่ผ่านการปรับสภาพจะทำให้มีปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณลิกนินและเฮมิเซลลูโลสลดลง โดยกระดาษหนังสือพิมพ์จะปรับสภาพโดยวิธีทางเคมีร่วมกับความดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที จะมีปริมาณเซลลูโลส 97.00 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน 21.00 เปอร์เซ็นต์ และ เฮมิเซลลูโลส 18.00 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกระดาษสำนักงานจะปรับสภาพโดยวิธีทางเคมีร่วมกับความดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที จะมีปริมาณเซลลูโลส 94.39 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน 1.10 เปอร์เซ็นต์ และ เฮมิเซลลูโลส 4.51 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพทางเคมีร่วมกับความดันไอน้ำจะมีผลต่อวัตถุดิบ โดยวัตถุดิบจะถูกผสมกับไอน้ำอ้อมตัวที่ความดันสูงแล้วทำการลดความดันอย่างรวดเร็ว เป็นผลทำให้เกิดการแยกเอาเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนินออกจากกันที่อุณหภูมิสูง โดยส่วนของเฮมิเซลลูโลสจะละลายในน้ำที่ควบแน่นจากไอน้ำ ปัจจัยที่มีผลในกระบวนการปรับสภาพด้วยวิธีนี้คือ เวลาที่ใช้ อุณหภูมิ ขนาดของวัสดุตั้งต้นที่ใช้และปริมาณความชื้นที่อยู่ในวัตถุดิบ (Duff และ Muffay, 1996) ซึ่งจากผลการทดลองการปรับสภาพกระดาษหนังสือพิมพ์และกระดาษสำนักงานสามารถนำไปใช้ในการต่อยอดในการผลิตน้ำตาลโดยการนำไปไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ และสามารถต่อยอดไปได้ถึงการผลิตเอทานอลจากกระดาษซึ่งเป็นส่วนที่เหลือจากการใช้ในสำนักงานต่างๆ

## ขอเสนอแนะ

1. เพื่อนำผลการทดลองจากวิจัยฉบับนี้ สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยกระดาษให้เป็นน้ำตาลและสามารถนำน้ำตาลมาต่อยอดในการผลิตเอทานอลได้
2. เพื่อเป็นการลดปริมาณขยะกระดาษที่มีปริมาณมากในปัจจุบัน เนื่องจากในปัจจุบันนี้มีการใช้ทรัพยากรกระดาษอย่างสิ้นเปลือง และช่วยปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม

## รายการอ้างอิง

- กระดาษที่ใช้ในการพิมพ์. (ม.ป.ป.) สืบค้นเมื่อวันที่ 25 ธันวาคม 2559, จาก <http://www.printingdesign.rmutt.ac.th/wp-content/uploads/2014/01/1.pdf>.
- การผลิต. (ม.ป.ป.). สืบค้นเมื่อวันที่ 13 มีนาคม 2560, จาก <http://www.tcijthai.com/news/2015/01/watch/5288>.
- หนักกา คล้ายชม, เพ็ญจิตร์ ศรีนพคุณ และอนุสิษฐ์ ชนะพิมพ์เมธา. (2554). การผลิตน้ำตาลรีดิวส์จากซางข้าวฟ่างหวานโดยกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรด. *วิศวกรรมสาร มก.*, 24, 91-102.
- ปิยาภรณ์ วังศิริกุล. (2553). *สภาวะที่เหมาะสมของการผลิตน้ำตาลจากกระดาษโดยใช้เซลลูโลส*. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- รัชพล พวงศรีรัตน์. (2558). กระบวนการปรับสภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกนินเซลลูโลส. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยศิลปากร*, 2(1), 143-157.
- สุภาวดี ผลประเสริฐ. (2557). *การปรับสภาพวัตถุดิบพวกลิกนินเซลลูโลสสำหรับการผลิตเอทานอล*. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ อนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- สิริภา จันทราชิต. (2553). *สภาวะที่เหมาะสมของการผลิตน้ำตาลจากกระดาษด้วยเซลลูโลสโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ.





- เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี. (2551). การนำกระดาษหนังสือพิมพ์ผสมยางธรรมชาติทำผลิตภัณฑ์ใหม่. ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- Brodeur, G., Yau, E., Badal, K., Collier, J., Ramachandran, K.B. & Ramakrishnan, S. (2011). Chemical and physicochemical pretreatment of lignocellulosic biomass: A review. **Enzyme Research**, 1,1-17.
- Cheng, K.K., Zhang, J.A., Ping, W.X., Ge, J.P., Zhou, Y.J., Ling, H.Z. & J.M. Xu, J.M. (2008). Sugarcane Bagasse Mild Alkaline/Oxidative Pretreatment for Ethanol Production by Alkaline Recycle Process. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, 151, 43-50.
- Duff, S. J. B. & Murray, W. D. 1996. Bioconversion of forest products industry waste cellulose to fuel ethanol: a review. **Bioresource Technology**, 55, 1-33.
- Sangkharak, K. (2011). Optimization hydrolysis for ethanol production by simultaneous saccharification and fermentation of wastepaper. **Waste Management & Research**, 29, 1134.
- Mosier, N., Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y.Y., Holtzapple, M., & Ladisch., M. (2004). Features of promising technologies for pre-treatment of lignocellulosic biomass. **Bioresource Technology**, 96, 673-86.
- Pejo, E.T., Olive, J.M. & Ballesteros, M. (2008). Realistic approach for full-scale bioethanol production from lignocellulose: A review. **Journal of Scientific & Industrial Research**, 67, 874- 884.
- TAPPI T203 om-88. (1992). Alpha, beta, and gamma cellulose in pulp.
- TAPPI T222 om-88. (1988). Acid-insoluble lignin in wood and pulp.
- Sun, Y. & Cheng, J. (2002). Hydrolysis of lignocellulosic materials for bioethanol production: review. **Bioresource Technology**, 83, 1-11.