# รายงานการวิจัย

เรื่อง

# การพัฒนากระดาษสาสำหรับการกรองฝุ่น

# Saa Paper Development for Dust Filters

หัวหน้าโครงการ

**นงคราญ ไชยวงค์**

ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ประจำปี 2553

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กุมภาพันธ์ 2555



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

# กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนากระดาษสาสำหรับการกรองฝุ่น นี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปี 2553 ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ หัวหน้าภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม ที่การส่งเสริมให้บุคลากรทำวิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อนันต์เสวก เห่วซึ่งเจริญ และ อ.ดร.ศันศนีย์ คำบุญชู ที่ช่วยชี้แนะเกี่ยวกับข้อมูลและการทำกระดาษสาในงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ คุณพัชนีย์ ด้วงนิล ผู้ช่วยนักวิจัย ที่ช่วยเหลือในการทำวิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ บุคลากรและเจ้าหน้าที่ ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ ด้านสถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณสมาชิกในครอบครัวที่เป็นกำลังใจ ให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

นงคราญ ไชยวงค์

กุมภาพันธ์ 2555

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

# บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีการผลิตกระดาษสา โดยพัฒนาการผลิตแผ่นกระดาษสาสำหรับการกรองฝุ่น กระดาษสากรองนี้ ใช้เยื่อสาฟอกและเศษกระดาษสาจากโรงงานในท้องถิ่น เพื่อการเปรียบเทียบ โดยทำการตีเยื่อสาที่ภาวะต่าง ๆ ได้แก่ เวลา 1 ชั่วโมง (10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที ตามลำดับ) น้ำหนักเยื่อสา 15 และ 20 กรัม นำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษสาโดยวิธีการแตะเยื่อ กระดาษสาที่ได้ วัดความหนา ศึกษาพื้นที่ผิวและรูพรุนโดยใช้วิธีการดูดซับแก๊สไนโตรเจน ศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และทดสอบการกรองฝุ่น โดยวัดขนาดอนุภาคฝุ่นก่อนและหลังการกรองด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนเลเซอร์

ผลการทดลองพบว่า วิธีการผลิตกระดาษสาทั้ง 2 ชนิด จากเยื่อสาและเศษกระดาษ ภาวะที่เหมาะสมคือ ใช้เวลาตีเยื่อ 30 นาที และน้ำหนักเยื่อสา 15 กรัม และ 20 กรัม ในการแตะเป็นแผ่นกระดาษสา กระดาษสากรองมีพื้นที่ผิวและขนาดรูพรุนในช่วง 234.20–240.30 ตารางเมตรต่อกรัม และ 31.84–56.22 ไมครอน ตามลำดับ สามารถกรองฝุ่นในช่วงขนาดอนุภาคก่อนกรอง 1.14–26.04 ไมครอน อนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 6.50 ไมครอน อนุภาคฝุ่นหลังกรอง 1.14–19.42 ไมครอน อนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 6.23 ไมครอน สรุปได้ว่ากระดาษสากรองที่ผลิตในการวิจัยนี้ สามารถกรองฝุ่นได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

## ABSTRACT

In this research, the production of Saa paper for used as dust filter was studied. The bleaching Saa pulps and waste Saa papers from local industries were applied as raw materials for filter paper production. Saa pulping process was carried out at different stirring times (10, 20, 30, 40, 50 and 60 minutes) and weight of Saa pulp (15 and 20 grams). Subsequently, Saa filter papers were made from Saa pulp by molding technique. The properties of Saa filter papers were investigated by measurement of the thickness as well as determination of surface area and pore size by nitrogen adsorption. Morphology of Saa filter paper was characterized using scanning electron microscopy (SEM). Furthermore the efficiency of Saa filter paper which applied as dust filter was examined using laser diffraction technique

It was found that the optimum conditions for Saa filter paper production can be obtained from stirring time of 30 minutes and Saa pulp weight of 15 and 20 grams. Surface area and pore size of the obtained Saa filer paper were 234.20 to 240.30 $m^2/g$ and 31.84 to 56.22 μm, respectively. The obtained Saa filter paper was applied to filter dust in the particle size range of 1.14–26.04 μm which showed the average size of 6.50 μm. After dust filtration, the particle size of dust which passed through Saa filter paper was in range of 1.14–19.42 μm which showed the average size of 6.23 μm. Experiments proved that Saa filter paper which obtained from this research can be served as dust filter paper.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

# สารบาญ


| | หน้า |
|---|---|
| กิตติกรรมประกาศ | ก |
| บทคัดย่อภาษาไทย | ข |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ค |
| สารบาญ | ง |
| สารบาญตาราง | ฉ |
| สารบาญภาพ | ช |
| บทที่ 1 บทนำ | |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย | 1 |
| 1.2 สรุปสาระสำคัญเอกสารที่เกี่ยวข้อง | 3 |
| 1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ | 4 |
| 1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ | 4 |
| บทที่ 2 ทฤษฎี | |
| 2.1 สาหรือปอสา | 5 |
| 2.2 การผลิตกระดาษสาในประเทศไทย | 6 |
| 2.3 ฝุ่น | 8 |
| 2.4 ระบบบำบัดฝุ่น | 10 |
| 2.5 เครื่องดูดฝุ่นแบบดูดฝุ่นแห้ง | 12 |
| 2.6 อันตรายจากฝุ่น | 14 |
| บทที่ 3 การทดลอง | |
| 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ | 17 |
| 3.2 วัตถุดิบและสารเคมี | 17 |
| 3.3 วิธีการทดลอง | 17 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล | |
| 4.1 ผลการศึกษาภาวะการตีเยื่อสาด้วยเครื่องตีเยื่อที่เหมาะสม สำหรับการทำแผ่นกระดาษสาสำหรับการกรอง | 23 |


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

# สารบาญ (ต่อ)

หน้า

4.2 การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของกระดาษสาด้วยเครื่องศึกษาพื้นที่ผิว และรูพรุน 24
4.3 ศึกษาสัณฐานวิทยาของกระดาษสา ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด 26
4.4 ผลการวัดขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของอนุภาคฝุ่น ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยการเลี้ยวเบนเลเซอร์ 32
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง
5.1 สรุปผลการทดลอง 35
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ 35
เอกสารอ้างอิง 36
ภาคผนวก ก ผ ก-1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

# สารบาญตาราง


| ตาราง | | หน้า |
|---|---|---|
| 4.1 | แสดงความหนาของกระดาษสาที่แตะเยื่อในสภาวะต่าง ๆ ขนาดของกลุ่มอนุภาค | 23 |
| 4.2 | ผลการวิเคราะห์พื้นที่และรูพรุนของกระดาษสาเยื่อสา | 25 |
| 4.3 | ผลการวิเคราะห์พื้นที่และรูพรุนของกระดาษสาจากเศษกระดาษสา | 25 |
| 4.4 | ผลรูพรุนจากภาพถ่าย SEM ของกระดาษสาจากเยื่อสาและเศษกระดาษสา | 27 |
| 4.5 | ผลของขนาดอนุภาคฝุ่นที่ผ่านการกรอง ของกระดาษสาจากเยื่อสาใหม่ | 31 |
| 4.6 | ผลของขนาดอนุภาคฝุ่นที่ผ่านการกรอง ของกระดาษสาจากเศษกระดาษสา | 33 |


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

# สารบาญภาพ


| รูป | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | ต้นปอสาชนิดใบหยักและใบไม่หยัก | 5 |
| 2.2 | เครื่องกำจัดฝุ่น Jet Pulse | 11 |
| 2.3 | ถุงกรองฝุ่น | 11 |
| 3.1 | การตีเยื่อสาการตีเยื่อสาฟอกเปรียบเทียบกับการตีเยื่อสาจากเศษกระดาษสา | 18 |
| 3.2 | การแตะเยื่อสาใช้วิธีเดียวกัน ทั้งเยื่อสาฟอกและเยื่อสาจากเศษกระดาษสา | 19 |
| 3.3 | เครื่องศึกษาพื้นที่ผิวและรูพรุน รุ่น Autosorp–1MP | 20 |
| 3.4 | กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด | 21 |
| 3.5 | เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยการเลี้ยวเบนเลเซอร์รุ่น Mastersizer S | 21 |
| 3.6 | เครื่องดูดฝุ่นเล็ก (Mini Vacuum), 230 V–(DC 3.6V )และถุงกรองฝุ่นกระดาษสา | 22 |
| 4.1 | กราฟความหนาของกระดาษสาที่แตะเยื่อในสภาวะต่าง ๆ | 24 |
| 4.2 | แสดงขนาดของเส้นใยสาจากเยื่อสาใหม่และจากเศษกระดาษสา | 26 |
| 4.3 | เปรียบเทียบ ง. เส้นใยสาจากกระดาษสาและ จ. เส้นใยเซลลูโลส | 26 |
| 4.4 | ภาพถ่าย SEM ของกระดาษสาจากเยื่อสาใหม่ ที่น้ำหนักเยื่อสา 15, 20 กรัม เวลาตีเยื่อสา 20 นาที | 28 |
| 4.5 | ภาพถ่าย SEM ของกระดาษสาจากเยื่อสาใหม่ ที่น้ำหนักเยื่อสา 15, 20 กรัม เวลาตีเยื่อสา 30 นาที | 28 |
| 4.6 | ภาพถ่าย SEM ของกระดาษสาจากเยื่อสาใหม่ ที่น้ำหนักเยื่อสา 15, 20 กรัม เวลาตีเยื่อสา 40 นาที | 29 |
| 4.7 | ภาพถ่าย SEM ของกระดาษสาจากเศษกระดาษสาที่น้ำหนักเยื่อสา 15, 20 กรัม เวลาตีเยื่อสา 20 นาที | 29 |
| 4.8 | ภาพถ่าย SEM ของกระดาษสาจากเศษกระดาษสาที่น้ำหนักเยื่อสา 15, 20 กรัม เวลาตีเยื่อสา 30 นาที | 30 |
| 4.9 | ภาพถ่าย SEM ของกระดาษสาจากเศษกระดาษสาที่น้ำหนักเยื่อสา 15, 20 กรัม เวลาตีเยื่อสา 40 นาที | 30 |


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

## สารบาญภาพ (ต่อ)

**รูป** **หน้า**

4.10 ผลการกระจายตัวของอนุภาคฝุ่นที่กรองด้วยถุงกรองกระดาษสาจากเยื่อสาใหม่ 32

4.11 ผลการกระจายตัวของอนุภาคฝุ่นที่กรองด้วยถุงกรองจากกระดาษสาจากเศษกระดาษสา 33

4.12 ตัวอย่างภาพถ่าย SEM ก. อนุภาคฝุ่นดินขาว ข.กระดาษกรองสา และ ค. อนุภาคฝุ่น ง. อนุภาคฝุ่นบนกระดาษกรองสา [10] 34

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภททำความสะอาด มีความสำคัญต่อชีวิตประจำวัน เนื่องจากให้ความสะดวกและประหยัดเวลาในการทำความสะอาดที่อยู่อาศัย สิ่งที่ต้องคำนึงถึงอุปกรณ์ที่นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ จะต้องปลอดภัยต่อสุขภาพ รูปแบบในการใช้มีให้เลือกหลากหลายประเภท เช่น การทำงานประเภทดูดฝุ่นแห้ง ดูดฝุ่นเปียกหรือดูดน้ำ นอกจากประสิทธิภาพในการใช้งานแล้ว คุณสมบัติของเครื่องดูดฝุ่นจะต้องมี การกรองฝุ่นหรือการเก็บฝุ่นได้เต็ม 100 % เช่น อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการเก็บฝุ่นหรือกรองฝุ่น ต้องมีคุณสมบัติในการกรองฝุ่น ที่มีความละเอียดมาก ๆ ตั้งแต่ 0.01 ไมครอน ถึง 0.03 ไมครอน การเก็บฝุ่นในตัวเครื่อง อุปกรณ์หรือวัสดุที่นำมาใช้ส่วนใหญ่มีหลายแบบ มีความแตกต่างกันไป มีประสิทธิภาพที่ไม่เท่ากันความสามารถในการกรองฝุ่นนั้นขึ้นอยู่กับวัสดุต่าง ๆ เช่น

1. **ถุงกรองแบบกระดาษ** ความสามารถในการกรองฝุ่นได้ละเอียดถึง 0.1 ไมครอน เมื่อใช้จนเต็มต้องถอดทิ้ง ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ จะต้องเปลี่ยนใหม่ เพราะกระดาษไม่สามารถล้างได้ ซึ่งพบว่า

ข้อดีของถุงกระดาษ คือ อากาศสามารถไหลผ่าน จึงช่วยกรองอากาศได้ดี และสามารถเก็บฝุ่นได้ปริมาณมาก ซึ่งถุงกระดาษที่ดีควรจะมีเยื่อ 2 ชั้น หรือมีสารเคลือบยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

ข้อเสียของถุงกระดาษ คือ หาซื้ออะไหล่ค่อนข้างยาก เมื่อสินค้าตกรุ่นทำให้ไม่มีอะไหล่วางจำหน่ายทั่วไป

2. **ถุงกรองแบบใยสังเคราะห์** ความสามารถในการกรองฝุ่น กรองได้ละเอียดถึง 0.3 ไมครอน สามารถใช้ได้ตลอดอายุการใช้งาน ล้างทำความสะอาดได้ง่าย ไม่ขึ้นรา และไม่มีกลิ่นอับ ปลอดภัย

3. **ถุงกรองแบบผ้า** ความสามารถในการกรองฝุ่นได้ละเอียด 0.5 ไมครอน ถอดล้างทำความสะอาดได้ ใช้ได้ตลอด อายุการใช้งาน มีกลิ่นอับบ้าง ในกรณีใช้งานที่ไม่มีการถอดทำความสะอาดถุงกรอง ถุงผ้า สามารถถอดซักล้างแล้วนำกลับมาใช้ได้อีก แต่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประสิทธิภาพการกรองฝุ่นจะด้อยกว่า เพราะหากซักบ่อย ๆ เนื้อผ้าจะห่างทำให้กรองฝุ่นได้น้อยลง ข้อควรระวังสำหรับถุงผ้า คือ เนื้อผ้าที่ใช้จะต้องเป็นผ้ากรอง ไม่ใช่ผ้าธรรมดาที่ใช้ตัดเย็บเสื้อผ้า ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกรองต่ำ คุณสมบัติของผ้ากรอง คือ มีความหนากว่าผ้าธรรมดาประมาณ 4 เท่า โดยเนื้อผ้าทั้ง 2 ด้านจะต่างกัน เนื้อผ้าด้านนอกจะคล้ายผ้ายีนส์ ส่วนเนื้อผ้าด้านในคล้ายผ้าสักหลาด หรือผ้าขนสัตว์

**หากพิจารณาระบบการกรองฝุ่น** แผ่นกรองฝุ่นของเครื่องดูดฝุ่นที่ดีควรมีระบบการกรองฝุ่นที่สามารถกรองเศษผงขนาดเล็กถึง 0.06 ไมครอนได้ (1 ไมครอน เท่ากับ 0.001 มม. ผมหนึ่งเส้นหนา 100 ไมครอน) และควรเลือกเครื่องดูดฝุ่นที่มีแผ่นกรองในระดับเดียวกับที่ใช้ในเครื่องฟอกอากาศ อาทิเช่น แผ่นกรองอากาศที่ให้ประสิทธิภาพสูง สามารถกรองอนุภาคฝุ่นขนาด 0.15 ไมครอน ได้ถึง 99.97 % หรือกรองอนุภาคฝุ่นขนาด 0.06 ไมครอนได้

ภาคเหนือโดยเฉพาะจังหวัดเชียงใหม่ มีอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษสาและผลิตภัณฑ์จากกระดาษสา รวมถึงผู้ประกอบการผลิตกระดาษสาจำนวนมาก เนื่องจากกระดาษสาเป็นที่นิยม เพราะมีคุณลักษณะเฉพาะที่สวยงามมีความแข็งแรงทนแรงดึงได้สูง กระดาษสาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง มีการดัดแปลงมาใช้ทำสิ่งของต่าง ๆ มากขึ้น แต่เดิมส่วนใหญ่ใช้ทำร่ม ว่าว กระดาษห่อของ กระดาษแบบเสื้อ กระดาษที่ใช้เขียนพุทธประวัติ คัมภีร์ เป็นต้น ปัจจุบันนำมาใช้อย่างกว้างขวาง เช่น สมุดจดที่อยู่ เบอร์โทรศัพท์ กระดาษเขียนจดหมายพร้อมซองบัตร อวยพรต่าง ๆ ดอกไม้ประดิษฐ์ โคมไฟ ภาพวาด เสื้อผ้าชุดวิวาห์ ชุดผ่าตัด กระดาษเช็ดมือ กระดาษชำระใช้ซับเลือด กระดาษห่อเครื่องมือและอุปกรณ์ทางการแพทย์ ก่อนนำไปฆ่าเชื้อโรค ฯลฯ ทำให้กระดาษสาเป็นที่รู้จัก และได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางมากขึ้นในปัจจุบัน

การวิจัยในครั้งนี้ ต้องการผลิตกระดาษสากรองฝุ่น โดยพัฒนาการผลิตแผ่นกระดาษสา ให้เหมาะสมสำหรับการกรองฝุ่น โดยการทำกระดาษสากรองนี้ วิธีการต้องไม่มีผลกระทบต่อวิธีการดั้งเดิมของชุมชน สามารถเผยแพร่และถ่ายทอดเทคโนโลยีวิธีการผลิตกระดาษสากรองให้แก่กลุ่มผู้ผลิตกระดาษสา ให้นำไปใช้ประโยชน์และสร้างมูลค่าเพิ่มแก่ผลิตภัณฑ์กระดาษสาที่มีอยู่ ซึ่งจะสามารถขยายตลาดและรายได้ให้แก่ผู้ประกอบการ และนำไปสู่การขยายตัวทางเศรษฐกิจของชุมชนต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง [4,5,13]**

สาหรือปอสา (Mulberry) เป็นวัตถุดิบที่ดีอย่างหนึ่งในการทำกระดาษ เนื่องจากเส้นใยยาว มีสมบัติด้านความแข็งแรง ความเหนียวนุ่มมีสีขาวถึงค่อนข้างขาว และยังมีสมบัติด้านการดูดซึมน้ำ ปอสาไทยเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลาง มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Broussonetia papyrifera (L.) Vent.* จัดอยู่ในวงศ์ขนุนคือ Moraceae มีแหล่งกำเนิดในแถบเหนือของแหลมอินโดจีน คือ ประเทศไทย ลาว พม่า เวียดนาม ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย เรียกว่า ปอสา หรือ ปอกระสา ภาคตะวันตกเรียก หมดพี หรือ หมกพี ภาคใต้เรียก ปอฝ้าย ปอสาเป็นต้นไม้ประเภทไม่มีแกน ลำต้นค่อนข้างเปราะ แตกกิ่งก้านโดยรอบ เปลือกมีสีขาวปนเทาหรือสีเขียวอ่อน ใบมี 2 ชนิด คือ ใบหยักและใบไม่หยัก ปอสามีดอกตัวผู้และตัวเมียแยกกันคนละต้น ดอกตัวเมียมีลักษณะเป็นกลุ่มค่อนข้างกลม ดอกตัวผู้เป็นงวงยาว นอกจากปอสาไทยแล้วมีการพบปอสาอีก 3 ชนิด ได้แก่ *B. kurzii* หรือต้นสะแล และปอสาญี่ปุ่นอีก 2 ชนิด ได้แก่ *B. kazinoki* และ *B. kaempferi* ขยายพันธุ์ทั้งจากการเพาะเมล็ด การปักชำลำต้น ราก และการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

การศึกษาและพัฒนาอุตสาหกรรมสาและกระดาษสาในประเทศไทยเริ่มใหม่เมื่อปี พ.ศ. 2511 เป็นต้นมา โดยหน่วยงานของรัฐ เริ่มจากการเปลี่ยนการใช้ขี้เถ้าในการย่อยเยื่อมาเป็นการใช้โซดาไฟ ส่งเสริมการตีเยื่อด้วยเครื่อง และฟอกเยื่อด้วยสารประกอบคลอรีนในระยะ 15 ปีแรก ระยะที่สองอีก 10 ปีต่อมา ได้หันมาปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เป็นระบบมากขึ้น และในระยะที่สาม ช่วงเวลา 5 ปี เน้นการพัฒนาทางด้านสิ่งแวดล้อม คุณภาพเยื่อสา และการจัดการระบบ ความรู้และเทคโนโลยีที่ได้ดำเนินการอย่างต่อเนื่องในระยะเวลา 30 ปี ที่ผ่านมา ทำให้วงการสาไทยเติบโตอย่างรวดเร็วตั้งแต่ปี 2523 แหล่งผลิตกระดาษสาและผลิตภัณฑ์กระดาษสาส่วนใหญ่ในประเทศจะเป็นกลุ่มจังหวัดทางภาคเหนือ ได้แก่ เชียงใหม่ ลำปาง และน่าน เป็นต้น

การส่งออกมากขึ้นตั้งแต่ปี 2533 เป็นต้นมา ประเทศไทยมีการส่งออกกระดาษสาและผลิตภัณฑ์กระดาษสาแปรรูปต่าง ๆ มากมาย คิดเป็นมูลค่าการส่งออกเป็นเงินหลายร้อยล้านบาท เป็นเพราะความมีเอกลักษณ์พิเศษจากริ้วของเส้นใยธรรมชาติ ทำให้เกิดลวดลายอันงดงามในเนื้อกระดาษสา อย่างไรก็ตามการทำกระดาษสาในภาคเหนือตอนบนยังคงเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กอยู่ ขั้นตอนการผลิต ยังคงเป็นแบบเดิมแม้จะมีการนำเครื่องจักรกลเข้ามาแทนแรงงานคนในบางส่วนของงาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนการผลิตซึ่งเริ่มต้นจากการนำ “เปลือกปอสา” มาผ่านกระบวนการ ต้มเยื่อด้วยสารเคมีได้เป็น “เยื่อปอสา” นำเยื่อปอสาที่ได้ไปผ่านกระบวนการฟอกให้มีสีขาวขึ้นด้วยสารฟอกขาว จากนั้นจึงนำเยื่อปอสาฟอกขาวไปทำเป็นแผ่นกระดาษ ด้วยวิธีการทำแผ่นกระดาษ ซึ่งอาจเป็นวิธี “แบบช้อน” หรือ “แบบแตะ” ขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้ทำแผ่นและความต้องการของตลาด

การทำกระดาษสาส่วนมากยังคงใช้วิธีช้อนเยื่อและวิธีแตะเยื่อ การช้อนแผ่นจะทำในอ่างปูนที่กว้างเพียงพอสามารถนำตะแกรงลงช้อนในอ่างได้สะดวก แผ่นกระดาษที่ได้จะเป็นแผ่นกระดาษบาง ๆ และจะมีการเติมเยื่อปอสาภายหลังการช้อนประมาณ 5–10 ครั้ง ตามประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติ การแตะแผ่นกระดาษจะทำการปั้น เยื่อปอสาเป็นก้อน ๆ และในบางแหล่งผลิตจะมีการชั่งน้ำหนักเพื่อทำให้เยื่อแต่ละก้อนมีน้ำหนักใกล้เคียงกัน แล้วจึงแตะแผ่นกระดาษในอ่างปูนทีลึกพอสำหรับการวางตะแกรง ในการทำแผ่นกระดาษแบบแตะผู้ปฏิบัติงานต้องใช้ความชำนาญสูงมากเพื่อที่จะให้แผ่นกระดาษที่ได้มีความสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น ส่วนการย้อมสีเยื่อสาก่อนทำเป็นแผ่นกระดาษแทบไม่มีการปรับปรุงให้ดีขึ้น ส่วนมากยังคงใช้สีสังเคราะห์ที่ใช้ย้อมผ้าและที่ใช้ย้อมกก

กระบวนการผลิตเยื่อปอสาฟอกขาวยังมีปัญหาเกิดขึ้นในหลายๆ ขั้นตอน อาทิ กระบวนการต้มเยื่อ กระบวนการฟอกเยื่อ การทำแผ่นกระดาษ และการปรับปรุงสมบัติของกระดาษสา เพื่อให้ได้กระดาษสาที่มีสมบัติที่สอดคล้องกับการใช้งาน

## 1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อหาภาวะการตีเยื่อสาหรือการบดเยื่อสาให้ได้เยื่อสาที่เหมาะสมสำหรับการทำแผ่นกระดาษสาสำหรับการกรอง
2. เพื่อพัฒนาคุณภาพของกระดาษสาให้เหมาะสมสำหรับการกรองฝุ่น

## 1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1. ได้วิธีการที่เหมาะสมสำหรับการทำแผ่นกระดาษสำหรับการกรอง
2. สามารถเพิ่มมูลค่าของกระดาษสา และเพิ่มการใช้ประโยชน์กระดาษสา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

# บทที่ 2
# ทฤษฎี

## 2.1 สาหรือปอสา

สาหรือปอสา (Mulberry) เป็นวัตถุดิบที่ดีอย่างหนึ่งในการทำกระดาษ เนื่องจากเส้นใยยาว มีความเหนียวนุ่มมีสีขาวถึงค่อนข้างขาว ปอสาไทยเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลาง มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Broussonetia papyrifera (L.) Vent.* จัดอยู่ในวงศ์ขนุนคือ Moraceae มีแหล่งกำเนิดในแถบเหนือของแหลมอินโดจีน คือ ประเทศไทย ลาว พม่า เวียดนาม ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยเรียกว่า ปอสา หรือ ปอกระสา ภาคตะวันตกเรียก หมดพี หรือหมกพี ภาคใต้เรียก ปอฝ้าย ปอสาเป็นต้นไม้ประเภทไม่มีแกน ลำต้นค่อนข้างเปราะ แตกกิ่งก้านโดยรอบ เปลือกมีสีขาวปนเทาหรือสีเขียวอ่อน ใบมี 2 ชนิด คือ ใบหยักและใบไม่หยัก ปอสามีดอกตัวผู้และตัวเมียแยกกันคนละต้น ดอกตัวเมียมีลักษณะเป็นกลุ่มค่อนข้างกลม ดอกตัวผู้เป็นงวงยาว นอกจากปอสาไทยแล้วมีการพบปอสาอีก 3 ชนิด ได้แก่ *B. kurzii* หรือต้นสะแล และปอสาญี่ปุ่นอีก 2 ชนิด ได้แก่ *B. kazinoki* และ *B. kaempferi* ขยายพันธุ์ทั้งจากการเพาะเมล็ด การปักชำลำต้น ราก และการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

รูปที่ 2.1 ต้นปอสาชนิดใบหยักและใบไม่หยัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การศึกษาและพัฒนาอุตสาหกรรมสาและกระดาษสาในประเทศไทยเริ่มใหม่เมื่อปี พ.ศ. 2511 เป็นต้นมา โดยหน่วยงานของรัฐ เริ่มจากการเปลี่ยนการใช้ขี้เถ้าในการย่อยเยื่อมาเป็นการใช้โซดาไฟ ส่งเสริมการตีเยื่อด้วยเครื่อง และฟอกเยื่อด้วยสารประกอบคลอรีนในระยะ 15 ปีแรก ระยะที่สองอีก 10 ปีต่อมา ได้หันมาปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เป็นระบบมากขึ้น และในระยะที่สาม ช่วงเวลา 5 ปี เน้นการพัฒนาทางด้านสิ่งแวดล้อม คุณภาพเยื่อสา และการจัดการระบบ ความรู้และเทคโนโลยีที่ได้ดำเนินการอย่างต่อเนื่องในระยะเวลา 30 ปี ที่ผ่านมา ทำให้วงการสาไทยเติบโตอย่างรวดเร็วตั้งแต่ปี 2523 และมีการส่งออกมากขึ้นตั้งแต่ปี 2533 เป็นต้นมา แต่อย่างไรก็ตามการทำกระดาษสาในภาคเหนือตอนบนยังคงเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กอยู่ ขั้นตอนการผลิต ยังคงเป็นแบบเดิมแม้จะมีการนำเครื่องจักรกลเข้ามาแทนแรงงานคนในบางส่วนของงาน การทำกระดาษสาส่วนมากยังคงใช้วิธีช้อนเยื่อและวิธีแตะเยื่ออยู่ ส่วนการย้อมสีเยื่อสาก่อนทำเป็นแผ่นกระดาษแทบไม่มีการปรับปรุงให้ดีขึ้นส่วนมากยังคงใช้สีสังเคราะห์ที่ใช้ย้อมผ้าและที่ใช้ย้อมกก

## 2.2 การผลิตกระดาษสาในประเทศไทย

นายธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ และคณะ ได้กล่าวถึง การผลิตกระดาษสามี 2 รูปแบบ คือ การผลิตกระดาษสาในรูปการทำด้วยมือ (Handmade paper) โดยที่ทุกขั้นตอนการผลิตจะเป็นลักษณะการทำโดยใช้แรงงานคนเป็นหลักและกระดาษที่ได้ส่วนใหญ่จะนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ และการผลิตกระดาษสาในรูปโรงงานอุตสาหกรรม (Machine-made Paper) โดยที่ทุกขั้นตอนการผลิตมีการใช้เครื่องจักรเป็นหลัก ผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่จะส่งไปขายต่างประเทศ โดยมีการลงทุนร่วมกับต่างชาติทำการผลิตในประเทศไทย

การทำกระดาษสาในประเทศไทยยังคงเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ขั้นตอนการผลิตยังคงเป็นแบบเดิมแม้จะมีการนำเครื่องจักรกลเข้ามาแทนแรงงานคนในบางส่วนของงาน

**1. วัตถุดิบ** วัตถุดิบที่ใช้ทำกระดาษสา ซึ่งนำมาจากส่วนของต้นปอสา หรือปอกระสา ซึ่งสามารถทำกระดาษสาได้มี 4 ส่วน คือ

**1.1 เปลือกใน** คือ เปลือกที่อยู่ชั้นในสุดซึ่งติดกับเนื้อไม้ มีสีขาวหรือครีมอมขาว บนผิวของเปลือกในสีขาวนี้จะมีชั้นของเปลือกในสีเขียวอยู่ถัดมา เปลือกในสีเขียวกับสีขาวแยกออก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จากกันได้เมื่อลอกมักติดไปกับเปลือกนอก เปลือกในนี้เป็นเส้นใยประเภทเส้นใยยาว เป็นที่นิยมในการนำมาทำกระดาษสาแบบทำด้วยมือมาก

**1.2 เปลือกนอก** คือ เปลือกที่อยู่ชั้นนอกสุด เปลือกนอกนี้สามารถทำกระดาษสาประเภททำด้วยมือได้เช่นกัน แต่จะมีความเหนียวหรือความทนทานสู้เปลือกในไม่ได้ นอกจากจะทำกระดาษได้แล้วยังมีการนำไปตากแห้งและนำมาป่นให้เป็นผงเล็ก ๆ นำไปทำเป็นลายกระดาษสา ซึ่งเรียกลายกระดาษสาที่ใช้เปลือกนอกทำเป็นลาย ว่า ลายไข่นกกระทา

**1.3 เปลือกนอกและเปลือกใน** คือ เปลือกที่ลอกจากต้นปอสาเพียงครั้งเดียวแล้วไม่แยกเอาเปลือกนอกและเปลือกในออกจากกัน เป็นเปลือกซึ่งประกอบด้วยเปลือก 3 อย่าง คือ เปลือกนอก เปลือกในสีเขียว และเปลือกใน เปลือกประเภทนี้สามารถทำกระดาษสาได้ดี มีความเหนียวทนทานเช่นกัน แต่ทนทานน้อยกว่ากระดาษสาที่ใช้เฉพาะเปลือกในไม่ได้ แต่ก็ทนทานกว่ากระดาษสาที่ใช้เปลือกนอกอย่างเดียว นอกจากนี้สามารถลดปัญหาหรือลดต้นทุนการลอกปอสา การทำกระดาษจากเปลือกชนิดนี้ต้องเพิ่มสารฟอกสีให้ขาวขึ้นเล็กน้อยกว่าที่ใช้อยู่เดิม

**1.4 แก่น** หรือส่วนที่เป็นเนื้อไม้ เป็นเส้นใยประเภทเส้นใยสั้น ซึ่งยังไม่มีกรรมวิธีนำเส้นใยมาทำกระดาษสาแบบทำด้วยมือ การทำกระดาษจากแก่นต้องใช้วิธีการผลิตแบบโรงงานอุตสาหกรรม

**2. การต้มเยื่อสาและการฟอกเยื่อสา** ปัจจุบันส่วนมากยังคงใช้ด่างโซดาไฟในการต้มเยื่อ และเริ่มมีการใช้ด่าง โปแตสมากขึ้น แทนปริมาณโซดาไฟที่ใช้ 7–10 % น้ำหนักสาแห้ง ใช้อัตราส่วนสาแห้งต่อน้ำ 1:10 ต้มเดือดนาน 3 – 5 ชั่วโมง จากนั้นปิดเตาแช่เยื่อสาต่ออีกประมาณ 12 ชั่วโมง ล้างด่างออกจากเยื่อสา ถ้าจะทำการผลิตกระดาษสาสีธรรมชาติไม่ต้องนำไปฟอกขาว เยื่อสาจะถูกส่งต่อไปเข้าขั้นตอนตีเยื่อต่อไป เยื่อสาที่ต้องการฟอกขาว ปัจจุบันนิยมใช้การฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากกว่าการฟอกขาวด้วยคลอรีนแบบดั้งเดิม เนื่องจากมีผลต่อสิ่งมีชีวิตน้อยกว่า แม้ว่าการฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะมีต้นทุนสูงกว่าและสีขาวที่ได้จะไม่ถาวรเท่ากับการใช้คลอรีน การฟอกขาวเยื่อสาใช้อุณหภูมิ 60–70 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.5 – 3% น้ำหนักสาแห้ง แมกนีเซียมซัลเฟต 0.05% และโซเดียมซิลิเกต 5% อัตราเยื่อต่อน้ำ 1:10 ปรับพีเอชเป็น 10 ด้วยโซดาไฟ หลังการฟอกล้างเยื่อด้วยน้ำให้สะอาด บีบน้ำออกให้แห้งหมาด คัดแยกเยื่อสาที่ต้มไม่สุก ส่วนที่ฟอกแล้วไม่ขาว รวมทั้งสิ่งสกปรกแปลกปลอมต่าง ๆ ออกก่อนส่งไปตีเยื่อสาต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**3. การทำให้เป็นเยื่อ** วิธีการทำให้เป็นเยื่อมี 2 วิธี ได้แก่

**3.1 การทุบด้วยมือ** การทุบด้วยมือต้องใช้เวลานาน ปอสาหนัก 2 กิโลกรัม ใช้เวลาทุบนานประมาณ 5 ชั่วโมง

**3.2 การใช้เครื่องตีเยื่อ** เป็นเครื่องบดเยื่อด้วยไฟฟ้าหรือเครื่องตัดเยื่อด้วยไฟฟ้าแบบไม่ต่อเนื่อง ใช้เวลาประมาณ 35 นาทีต่อครั้ง เครื่องตีเยื่อที่ใช้ในอุตสาหกรรม มีความจุของกระดาษสาต่าง ๆ กัน ระหว่าง 10–25 กิโลกรัม

**4. การทำเป็นแผ่นกระดาษ**

นำเส้นใยสาใส่ในอ่างหรือภาชนะที่เหมาะสม ใส่น้ำให้มีระดับพอเหมาะแล้วใช้ไม้พายคนเยื่อในอ่างน้ำให้ทั่ว เพื่อให้เยื่อลอยตัวและกระจายออกจากกันอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นนำแม่พิมพ์สำหรับทำแผ่นกระดาษมาช้อนเยื่อต่อไป ซึ่งมีการทำแผ่นได้ 2 วิธี คือ

**4.1 แบบตัก** ใช้แม่พิมพ์ซึ่งมีลักษณะเป็นตะแกรงไนลอน ขนาดกว้าง 50 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร (ขนาดตะแกรงขึ้นอยู่กับขนาดกระดาษที่ต้องการ) ช้อนตักเยื่อเข้าหาตัวยกตะแกรงขึ้นตรง ๆ แล้วเทน้ำออกไปทางด้านหน้าโดยเร็ว จะช่วยให้กระดาษมีความสม่ำเสมอ

**4.2 แบบแตะ** มักใช้ตะแกรงที่ทำจากผ้าใยบัวหรือผ้ามุ้ง ซึ่งมีเนื้อละเอียด และใช้วิธีชั่งน้ำหนักของเยื่อเป็นตัวกำหนดความหนาของแผ่นกระดาษ นำเยื่อใส่ในอ่างน้ำใช้มือแตะเกลี่ยกระจายเยื่อบนแม่พิมพ์ให้สม่ำเสมอ

นำตะแกรงไปตากแดดประมาณ 1–3 ชั่วโมง กระดาษสาจะแห้งติดกันเป็นแผ่น จึงลอกกระดาษสาออกจากแม่พิมพ์ เปลือกปอสาหนัก 1 กิโลกรัม สามารถทำกระดาษสาได้ประมาณ 10 แผ่น

**2.3 ฝุ่น**

ฝุ่น หรืออนุภาคสารแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Particulate, TSP) และฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM – 10) การตรวจวัดฝุ่นมีวิธีการเฉพาะเป็นวิธี manual เป็นวิธีอ้างอิง มีอุปกรณ์เก็บเรียกว่า high – volume อุปกรณ์เก็บตัวอย่างจะมีองค์ประกอบสำคัญคือ ปั๊มดูดอากาศ และอุปกรณ์บันทึกอัตราการไหลหรืออุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลอย่างใดอย่างหนึ่ง การเก็บตัวอย่างฝุ่น (TSP) อากาศจะดูดผ่านแผ่นกรอง ในอัตราการไหล 40–60 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที ให้ฝุ่นที่มีขนาด 0.3 – 100 ไมครอน ถูกดักไว้ที่แผ่นกรองชนิดใยแก้ว (Glass fiber filter) หรือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แผ่นกรองชนิดเมนเบรน (Membrane filter) ความเข้มข้นของฝุ่นในบรรยากาศ (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) จะคำนวณได้จากปริมาณของฝุ่นบนกระดาษกรองที่ชั่งได้กับปริมาตรของอากาศที่ผ่านแผ่นกรองดังกล่าว โดยปกติจะเก็บตัวอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา 24 ชั่วโมง จะทำให้ได้ตัวอย่างฝุ่นที่พอเพียงในการวิเคราะห์ แม้ว่าในอากาศจะมีฝุ่นอยู่เพียง 1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ก็ตาม อุปกรณ์เก็บตัวอย่าง High – Volume โดยอุปกรณ์ PM – 10 มีพื้นฐานการทำงานเหมือนกับอุปกรณ์ high – volume แต่จะมีขั้นตอนการกำจัดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน ก่อนที่อากาศจะถูกดึงผ่านตัวกรอง การออกแบบได้อาศัยหลักการของการชน (Impaction) และการตกสู่พื้น (Settling Chamber) ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเท่านั้นที่จะตกอยู่บนกระดาษกรอง

**2.3.1 การตรวจวัดฝุ่นในสถานประกอบการ** มี 2 แบบ ดังนี้คือ

1. ฝุ่นละอองทุกขนาด (Total Dust)

เป็นฝุ่นที่สร้างความรำคาญให้กับผู้ปฏิบัติงานซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิต แต่ถ้ามีปริมาณมากก็จะทำให้เกิดอันตรายได้

2. ฝุ่นละอองขนาดเล็กที่สามารถเข้าถึง และสะสมในถุงลมปอดได้ (Respirable Dust) เป็นฝุ่นที่อันตรายต่อระบบทางเดินหายใจส่วนปลาย เนื่องจากมีขนาดเล็กและมองไม่เห็น

**2.3.2 วิเคราะห์หาปริมาณฝุ่นละอองด้วยวิธี Gravimetric Method**

โดยการชั่งน้ำหนักกระดาษกรองฝุ่นละอองทั้งก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง และหาความแตกต่างของน้ำหนักนั้นมาคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง

1. การเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

เก็บด้วยเครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศชนิด Sampling Pump อากาศจะถูกดูดผ่านกระดาษกรองพีวีซี (PVC) ที่มีรูพรุน 5 ไมครอน ด้วยอัตราระหว่าง 1–2 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 1–2 ชั่วโมง ซึ่งอนุภาคฝุ่นละอองทุกขนาด จะติดอยู่บนกระดาษกรองเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 37 มิลลิเมตร ซึ่งผ่านการชั่งน้ำหนักมาแล้ว จากนั้นนำมาหาปริมาณฝุ่นละอองโดยวิธีการหาค่าความแตกต่างของน้ำหนักกระดาษกรองระหว่างก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง แล้วคำนวณหาค่าความเข้มข้นเป็นหน่วยน้ำหนักต่อปริมาตรอากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**2.4 ระบบบำบัดฝุ่น** คือ ระบบที่แยกเอาฝุ่นออกจากอากาศและทำความสะอาดก่อนปล่อยทิ้งสู่ภายนอก โดยมิจำเป็นต้องเป็นอุปกรณ์เดียวหรือหลายอุปกรณ์รวมกันเพื่อบำบัดอากาศก่อนปล่อยทิ้งแต่ให้ยึดหลักในการออกแบบ ดังนี้คือ

1. คุณค่าของฝุ่นเป็นฝุ่นที่มีราคา หรือฝุ่นทิ้ง
2. ลักษณะปนเปื้อนของฝุ่นและคุณสมบัติของฝุ่น เช่น ฝุ่นร้อน ฝุ่นเปียก หรือฝุ่นมีออกไซด์ (Oxide)
3. ปริมาณฝุ่นมากับลม มากหรือน้อย
4. กฎหมายกำหนด
5. ยอดการลงทุน
6. โอกาสเสียหายต่อระบบบำบัด

**กฎกระทรวงว่าด้วยฝุ่นผสมในอากาศปล่อยทิ้ง** และปริมาณฝุ่นฟุ้งกระจายในพื้นที่ทำงานที่จะประกาศใช้ในปี พ.ศ.2006

ฝุ่นธรรมดา อากาศปล่อยทิ้ง 120 $mg/Nm^3$

ฝุ่นมีพิษ อากาศปล่อยทิ้ง 10–30 $mg/Nm^3$

ฝุ่นธรรมดา พื้นที่ทำงาน 30 $mg/Nm^3$

ฝุ่นมีพิษ พื้นที่ทำงาน 1 $mg/Nm^3$

**2.4.1 ระบบกรองฝุ่น (Dust Collector)** โดย ดร.นที ภูโพสกุล

**ระบบกรองฝุ่นหรือกำจัดฝุ่น** จะเป็นฝุ่นที่แห้งหรือฝุ่นที่มีความร้อน ฝุ่นที่แห้ง เช่น มีโรงเลื่อยจักรเลื่อยไม้ โรงงานเฟอร์นิเจอร์ โรงงานขัดผิวโลหะต่าง ๆ ฝุ่นที่มีความร้อน เช่น ฝุ่นที่เกิดจากเตาหลอมโลหะ บอยเลอร์ (Boiler) และ อื่น ๆ

ระบบกรองฝุ่นแยกเป็นแบบแห้งและเปียก ดังนี้

**1. แบบแห้ง** อาจใช้เป็นถุงผ้ากรองฝุ่น (Bag Filter) แบบ Cartridge และอื่น ๆ ฝุ่นที่เกิดจากไม้โรงเลื่อย โรงงานเฟอร์นิเจอร์ โรงงานขัดผิวโลหะต่าง ๆ ฝุ่นละอองที่เกิดจากงานพลาสติก งานเหล่านี้จะใช้ถุงกรองฝุ่นเป็นตัวกรองฝุ่น ตัวเคาะฝุ่นที่ถุงให้ร่วงลงด้านล่าง มี 3 แบบ คือ Jet Pulse Vibrator และ Manual

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Jet Pulse คือ ระบบการกรองฝุ่นด้วยถุงกรองที่ได้พัฒนาล่าสุดที่มีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดถุงกรองดีที่สุด ในปัจจุบัน Jet Pulse ถือว่าเป็นเครื่องกรองฝุ่นที่ได้รับการปรับปรุงจนสมบูรณ์แบบที่สุด สามารถจับฝุ่นที่มีขนาดเล็กสุดได้ถึง 1 ไมครอน สามารถรับกับฝุ่นที่มีความชื้นสูงถึง 20 % และฝุ่นที่มีความร้อนสูงถึง 250 องศาเซลเซียส ระบบการทำงานของเครื่องกรองฝุ่นที่มีระบบทำความสะอาดถุงด้วยการใช้ลมอัดเป่าย้อนถุงจากผิวใน

รูป 2.2 เครื่องกำจัดฝุ่น Jet Pulse {8}

รูป 2.3 ถุงกรองฝุ่น {8}

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**2. แบบเปียก** ส่วนใหญ่จะใช้แบบสเปรย์น้ำเป็นตัวจับเขม่า ซึ่งอาจใส่ตัวกลาง (Media) เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการจับฝุ่น แบบชนิดเปียกที่มีตัวกลางที่เรียกว่า Wet Scrubber เป็นตัวจับฝุ่น เช่น เตาหลอมโลหะ Boiler ห้องพ่นสี ฝุ่นละอองที่เกิดจากการพ่นสี ก็ใช้ละอองน้ำเป็นตัวจับละอองสีเช่นกัน หรือจะใช้ฟิลเตอร์ (Filter) แบบใยสังเคราะห์ก็จับฝุ่นสีได้ แต่เป็นการสิ้นเปลืองสูง

**2.5 เครื่องดูดฝุ่นแบบดูดฝุ่นแห้ง**

เครื่องดูดฝุ่นแบบแห้ง ที่นิยมใช้ทำความสะอาด ในชีวิตประจำวัน เพื่อเพิ่มความสะดวกและประหยัดเวลาในการทำความสะอาดที่อยู่อาศัย ปัจจุบันต้องคำนึงถึงอุปกรณ์ที่นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ จะต้องปลอดภัยต่อสุขภาพมากที่สุด การเก็บฝุ่นในตัวเครื่อง อุปกรณ์หรือวัสดุที่นำมาใช้ส่วนใหญ่มีหลายแบบ มีความแตกต่างกันไป มีประสิทธิภาพที่ไม่เท่ากันความสามารถในการกรองฝุ่นระหว่างชนิดถุงกรองฝุ่นชนิดต่าง ๆ เช่น ถุงกรองแบบกระดาษ ถุงกรองแบบใยสังเคราะห์ และถุงกรองแบบผ้า รวมถึงขั้นตอนในการกรองฝุ่น คือ การกรองฝุ่นที่เล็ดลอดออกมาจากถุงกรองฝุ่น ในขณะทำงาน คือ แผ่น PRE FILTER ป้องกันฝุ่นที่จะเข้าไปที่มอเตอร์ และกรองฝุ่นที่จะออกจากมอเตอร์อีกหนึ่งขั้นตอน ลักษณะของ FILTER เป็นแบบ กระดาษกรองฝุ่นเรียกว่า HEPA แผ่นกรอง HEPA เป็นแผ่นกรองอากาศที่ให้ประสิทธิภาพสูง สามารถกรองอนุภาคฝุ่นขนาด 0.15 ไมครอน ได้ถึง 99.97 % หรือกรองอนุภาคฝุ่นขนาด 0.06 ไมครอนได้

รูปแบบของการทำงานอีกประเภทของการดูดฝุ่น และการเก็บฝุ่น เป็นระบบใหม่ในการใช้งานของเครื่องดูดฝุ่น การใช้กำลังดูดระบบไซโคลน (Cyclone Technology) การออกแบบการเก็บหรือบรรจุฝุ่นโดยเก็บฝุ่นด้วยถังที่สามารถถอดทำความสะอาดง่ายและไม่ต้องใช้ถุงเก็บให้สิ้นเปลือง หลักการทำงาน โดยทั่วไปใช้ลมที่เกิดจากการดูดอากาศพร้อมฝุ่นเข้าไปภายในตัวเครื่อง ถังเก็บถูกออกแบบให้เกิดลมหมุนภายในถังฝุ่นที่ปะปนในอากาศมีน้ำหนักจะถูกเหวี่ยงอยู่บริเวณรอบ ๆ ถังเก็บเรียกว่า การดูดแบบหนีจุดศูนย์กลาง และการออกแบบการกรองฝุ่นละเอียดที่อยู่บริเวณ กึ่งกลางถังเก็บใช้แบบ HEPA FILTER ในการกรองฝุ่นที่จะออกมาภายนอก คุณสมบัติการกรองด้วย HEPA ช่วยป้องกันโรคภูมิแพ้ต่าง ๆ ที่เกิดจากฝุ่น หรือโรคระบบทางเดินหายใจ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.1 อุปกรณ์มาตรฐานของเครื่องดูดฝุ่นแบบดูดฝุ่นแห้ง

1. ท่อต่อดูดแบบสไลด์ หรือแบบท่อต่อ 2 ท่อน
2. หัวดูดพื้น – พรม
3. หัวดูดซอกมุม
4. หัวแปรง
5. สายดูดแบบสายอ่อน

อุปกรณ์ที่เป็นมาตรฐานส่วนใหญ่ จะต้องมีสำหรับเครื่องดูดฝุ่นทั่วไป และการเก็บสายไฟในตัวเครื่อง ความยาวสายไฟที่ใช้ขนาด 5 เมตรทั้งหมดเป็นคุณสมบัติเฉพาะเครื่องดูดฝุ่นประเภทดูดฝุ่นแห้งทั้งสิ้น

2.5.2 การดูแลรักษา

วิธีดูแลรักษาเครื่องดูดฝุ่น เพื่ออายุการใช้งานที่ยาวนาน มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น การทำความสะอาดถุงกรอง หรือถุงเก็บฝุ่น ที่สามารซักล้างได้ เพื่อป้องกันการอุดตัน ยืดอายุการทำงานมอเตอร์ ไม่เกิดความร้อนจากการทำงาน และฟิวส์เตอร์ภายในอีก 2 ชั้น อีกวิธีของการดูแลรักษาเครื่องดูดฝุ่น คือการใช้งานแต่ละรูปแบบของการใช้ เช่น การปรับกำลังดูดให้เหมาะสมกับงานประเภทนั้น ๆ ดูแลรักษาอุปกรณ์การใช้งาน ประเภทสายดูดและท่อให้อยู่ในสภาพปกติ คือไม่ลีบแบน ทำให้การดูดฝุ่นไม่สะดวก

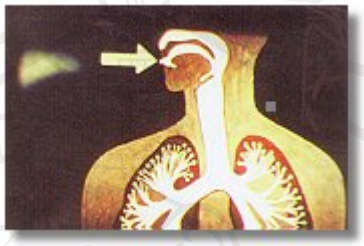
พิจารณาการทำงานของมอเตอร์ มอเตอร์ของเครื่องดูดฝุ่นที่ดี จะช่วยให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศได้เป็นอย่างดี โดยอากาศที่ไหลผ่านเข้าไปในตัวเครื่องจะผ่านระบบการกรองฝุ่น ขณะเดียวกันอากาศที่ยังไม่ได้รับการกรองฝุ่น จะต้องไม่สามารถหลุดลอดออกมาภายนอกตัวเครื่องได้ เครื่องดูดฝุ่นที่ดีบางรุ่น จะใช้แผ่นกรองมอเตอร์ที่มีสารเคลือบป้องกันแบคทีเรีย ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นถึง 2 เท่า นอกจากนี้ถ้าตำแหน่งของมอเตอร์ถูกออกแบบให้วางอยู่บนแท่นยางและบรรจุโฟมซับเสียงไว้ภายใน จะช่วยลดเสียงขณะใช้งานได้อย่างดีอีกด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**2.6 อันตรายจากฝุ่น** ฝ่ายอาชีวอนามัย กองอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักอนามัย กรุงเทพมหานคร ฝออ.กอว. 1/2538 สรุปได้ดังนี้

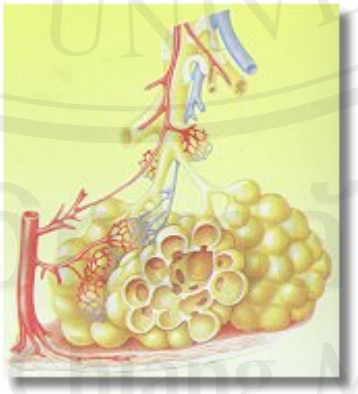
2.6.1 อันตรายจากฝุ่นส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ โดยละอองฝุ่นจะ

1. เริ่มจากโพรงจมูก คอ ท่อลม หลอดลมใหญ่ขวาและซ้าย หลอดลมแขนงย่อยต่าง ๆ จนถึงหลอดลมส่วนปลาย ซึ่งมีถุงลมเชื่อมต่ออยู่



2. เนื้อปอด ซึ่งประกอบด้วยถุงลมเล็ก ๆ จำนวนมากและมีเส้นเลือดเชื่อมประสานผ่าน

3. ปอดมีหน้าที่รับก๊าซออกซิเจน ($O_2$) จากการหายใจเข้าและขับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ($CO_2$) โดยการหายใจออก มีถุงลมปอดเป็นจุดแลกเปลี่ยนอากาศผ่านทางเส้นเลือด ความจุอากาศของปอดโดยทั่วไปประมาณ 3 ลิตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ เพศ อายุ และขนาดของร่างกาย เช่น ผู้ชาย 2.5–4.5 ลิตร ผู้หญิง 2–4 ลิตร เป็นต้น



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.2 สารอันตรายที่ฟุ้งกระจายในอากาศ ได้แก่ ควันดำ ฝุ่น เขม่า ก๊าซจากท่อไอเสียรถ ปล่องควันจากโรงงาน

1. ฝุ่น จากการบด ขัด โม่ ผสม เช่น ฝุ่นทราย ฝุ่นหิน ฝุ่นโลหะ ฝุ่นไม้ ฝุ่นไยหิน แอสเบสตอส ฝุ่นเมล็ดข้าว หรือเมล็ดพืช และฝุ่นผ้า ฝ้าย ปอ ป่าน เป็นต้น
2. ละอองของเหลวจากการฉีด การพ่นให้แตกกระจาย
3. ฟูมโลหะ จากการที่โลหะได้รับความร้อนสูง ๆ จนกลายเป็นไอแล้วเกิดการควบแน่นขึ้นในอากาศ เช่น ฟูมของตะกั่ว โลหะ ปรอท แคดเมี่ยม ในงานเชื่อมโลหะ หลอมโลหะ เป็นต้น
4. ก๊าซและไอระเหยของสารเคมี เช่น ทินเนอร์ ไซลีน สไตรีน โทลูอีน เบนซีน โครเมี่ยม ไอกรดต่าง ๆ เป็นต้น

สารอันตรายต่าง ๆ สามารถตกค้าง สะสม ทำความระคายเคืองและเกิดแผล ทำอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ สมรรถภาพปอดเสื่อมลงและเกิดโรคปอดต่าง ๆ

โรคปอดจากการทำงาน เกิดขึ้นโดยการหายใจนำสิ่งอันตรายต่าง ๆ เข้าไปเป็นประจำ และมักใช้เวลานานเป็นปี หรือสิบปีจึงจะเกิดอาการให้เห็นหรือรู้สึกเมื่อมีอาการเพิ่มมากขึ้น ก็ยากต่อการรักษาให้หายเป็นปกติอาการทั่ว ๆ ไปของโรคปอดที่มักพบ เช่น ไอเรื้อรัง มีเสมหะ อ่อนเพลีย เจ็บแน่นหน้าอก หอบ เหนื่อยง่าย จะตรวจพบมีการอุดกั้นของทางเดินหายใจ หรือปอดขยายตัวไม่ดี ระยะรุนแรงที่ทุกข์ทรมานจะหอบมากจนหน้าเขียวและอาจเสียชีวิตได้จาก การหายใจล้มเหลว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.3 การปฏิบัติตนเพื่อรักษาสุขภาพปอดได้ดังนี้

1. รักษาร่างกายให้แข็งแรงอยู่เสมอ โดยรับประทานอาหารที่มีประโยชน์ ออกกำลังกาย บริหารปอด พักผ่อนให้เพียงพอ ลด–เลิกสูบบุหรี่

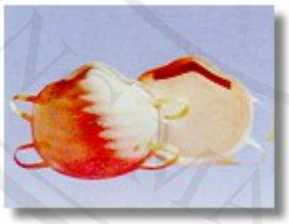
2. เมื่อมีอาการหวัดไอเรื้อรังมีเสมหะมากหอบเหนื่อย ภูมิแพ้ รีบตรวจรักษา หรือปรึกษาแพทย์แต่เนิ่น ๆ

3. หลีกเลี่ยงการอยู่ในที่แออัด มีฝุ่น ละออง ไอ ควัน ของมลพิษ หรือสารเคมี และการระบายอากาศไม่ดี

4. ผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับฝุ่น สารเคมี หรือสารอันตรายควรตรวจสุขภาพเอกซเรย์ปอด ทดสอบสมรรถภาพปอดประจำปี เมื่อพบความผิดปกติต้องรีบรักษาและป้องกัน ต้องใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากฝุ่น หรือสารเคมีที่เหมาะสมถูกต้องอย่างสม่ำเสมอ ขณะทำงานควรมีความรู้ถึงอันตราย และวิธีการป้องกันสารอันตรายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

5. มีการดำเนินงานเพื่อควบคุม ปิดกั้น หรือลดปริมาณฝุ่นและสารอันตรายทั้งที่แหล่งกำเนิด และที่กระจายในอากาศด้วยกรองอากาศป้องกันก่อนหายใจเข้า

ผู้ทำงานสัมผัสกับ ฝุ่น ละออง ก๊าซ ไอ สารอันตรายต่าง ๆ มีโอกาสเกิดอันตรายต่อร่างกายได้ ควรต้อง ใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายระบบทางเดินหายใจ ซึ่งมีหลายชนิด เช่น ป้องกันฝุ่น ฝุ่นพิษ ผงเคมี ละออง ไอโลหะ ไอสารเคมี ควันจากการเชื่อม



ผู้ใช้ควรเลือกชนิด ให้มีประสิทธิภาพเหมาะสม กับสารพิษที่สัมผัส สวมใส่ถูกวิธี ทำความสะอาด เก็บรักษาถูกต้อง ซ่อมแซม หรือเปลี่ยนใหม่ทันทีที่ชำรุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

# บทที่ 3
# การทดลอง

## 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก รุ่น ELT2001 ของบริษัท Sartorius
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก รุ่น Adventurer ของบริษัท OHAUS
3. เครื่องตีเยื่อสา ที่ใช้ในอุตสาหกรรม มีความจุ 10 –25 กิโลกรัม
4. เครื่องวิเคราะห์หาขนาดอนุภาค (Particle size analyzer, Driffraction) รุ่น Mastersizer S ของบริษัท Malvern
5. เครื่องศึกษาพื้นที่ผิวรูพรุน รุ่น Autosorp–1MP ของบริษัท Quanta chrome
6. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM) รุ่น JSM–5910 ของบริษัท JEOL ศูนย์บริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
7. ตู้อบไฟฟ้าห้องปฏิบัติการ ( Economy Laboratory Oven) ของบริษัท Binder
8. เครื่องดูดฝุ่นเล็ก (Mini Vacuum), 230 V–(DC 3.6V)

## 3.2 วัตถุดิบและสารเคมี

1. เยื่อสาฟอก (เยื่อสาใหม่) จากฟาร์มกระดาษสา ต.ต้นเปา อ.สันกำแพง จ.เชียงใหม่
2. เศษกระดาษสา จากฟาร์มกระดาษสา ต.ต้นเปา อ.สันกำแพง จ.เชียงใหม่
3. ฝุ่นดินขาว (ดินไชน่าเคลย์) จ.ลำปาง
4. น้ำปราศจากอิออนหรือน้ำดิอิออนไนซ์ (Deionized – water)
5. ลิควิดไนโตรเจน เกรดการค้า
6. ก๊าซฮีเลียม
7. ก๊าซไนโตรเจน

## 3.3 วิธีการทดลอง

ในการศึกษาวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้เยื่อสาและเศษกระดาษสา มาจากโรงงานผู้ผลิตในท้องถิ่น บ้านต้นเปา อ.สันกำแพง จ.เชียงใหม่

### 3.3.1 การเตรียมเยื่อสา

การหาภาวะการตีเยื่อสาหรือบดเยื่อสา ให้เหมาะสมสำหรับการทำแผ่นกระดาษสาสำหรับการกรอง วิธีการตีเยื่อสาโดยตีเยื่อสา 1 ชั่วโมง เก็บเยื่อสาทุก 10 นาที (10, 20, 30, 40, 50 และ 60) แสดงดังภาพข้างล่างนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**การตีเยื่อสาฟอก**

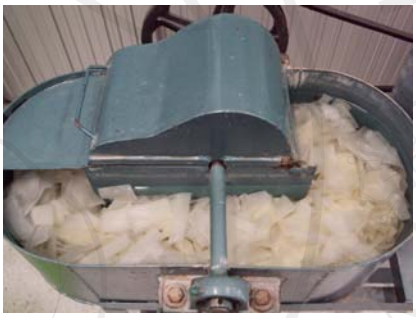
1. ฉีกเยื่อสาฟอกให้เป็นฝอย

2. ใส่เยื่อสาฟอกฝอยลงเครื่องตีเยื่อ

3. ตีเยื่อสา 1 ชั่วโมง เก็บเยื่อทุก 10 นาที

**การตีเยื่อสาจากเศษกระดาษสา**

1. ตัดเศษกระดาษสาเป็นชิ้นเล็ก ขนาด 1x3 นิ้ว



2. ใส่เศษกระดาษสาเป็นชิ้นเล็ก ลงเครื่องตีเยื่อ

3. ตีเศษกระดาษสา 1 ชั่วโมง เก็บเยื่อทุก 10 นาที

4. เยื่อสาที่ตีครบ 1 ชั่วโมง เยื่อสาจะพองฟู

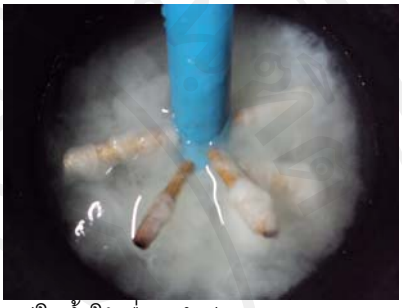
รูป 3.1 การตีเยื่อสาการตีเยื่อสาฟอกเปรียบเทียบกับการตีเยื่อสาจากเศษกระดาษสา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

### 3.3.2 วิธีการแตะเยื่อสา

นำเยื่อสาจากการตีเยื่อข้อ 3.3.1 ที่เก็บออกทุก ๆ 10 นาที ทั้งเยื่อสาฟอกและเยื่อสาจากเศษกระดาษสา บีบน้ำออก นำไปชั่งน้ำหนักที่ 15 กรัม และ 20 กรัม จากนั้นแตะเยื่อสาให้เป็นแผ่น จนครบทุกเวลา (10, 20, 30, 40, 50 และ 60) แสดงดังภาพข้างล่างนี้

1. นำเยื่อสาที่ชั่งน้ำหนัก ใส่ในถัง ผสมน้ำ



2. ตีในน้ำให้เยื่อฟูทำทีละแผ่น

3. เทลงเฟรมสำหรับแตะกระดาษสา

4. แตะเยื่อให้เต็มเฟรมอย่างสม่ำเสมอ

5. ยกเฟรมกระดาษสาขึ้นสะเด็ดน้ำ

6. นำไปผึ่งลมหรือตากแดดให้แห้ง

7. แกะกระดาษสาที่แห้งออกจากเฟรม

8. นำไปวัดความหนาต่อไป

รูป 3.2 การแตะเยื่อสาใช้วิธีเดียวกัน ทั้งเยื่อสาฟอกและเยื่อสาจากเศษกระดาษสา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**3.3.3 การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของกระดาษสา ด้วยเครื่องศึกษาพื้นที่ผิวและรูพรุน**

การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวและรูพรุนของกระดาษสาแต่ละเงื่อนไข ด้วยเครื่องศึกษาพื้นที่ผิวและรูพรุนโดยใช้วิธีการดูดซับแก๊สไนโตรเจน และการหาพื้นที่ผิวหาได้จากทฤษฎีของ BET ( Brunauer, S., Emmett, P.H., and Teller, E.)

วิธีการทดลองวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว

1. นำตัวอย่างกระดาษสาใส่ตู้อบ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นออก เมื่อครบตามเวลานำเก็บไว้ในดิสซิเคเตอร์ เพื่อป้องกันความชื้นกลับเข้าสู่ตัวอย่าง

2. ตัดตัวอย่างกระดาษสา ทั้งจากเยื่อสาฟอกและเยื่อสาจากเศษกระดาษสา จำนวน 12 ตัวอย่าง ที่ 15 กรัม และ 20 กรัม ของ เวลา 20, 30 และ 40 นาทีตามลำดับ ขนาด 0.5 x 0.5 เซ็นติเมตร ชั่งตัวอย่างประมาณ 0.1000– 0.2500 กรัม ใส่ใน หลอดตัวอย่าง

3. นำหลอดตัวอย่างเข้าเครื่องศึกษาพื้นที่ผิวรูพรุน และ เพื่อไล่แก๊ส (Outgas) ที่เป็นสารระเหยออกหรือความชื้น ประมาณ 2–4 ชั่วโมง (ขึ้นกับประมาณสารระเหยหรือความชื้นใน ตัวอย่าง)

4. หลังจากนั้น นำตัวอย่างเข้าตัวตรวจวัด ซึ่งจะทำการตรวจวัดทั้งหมด 99 จุด

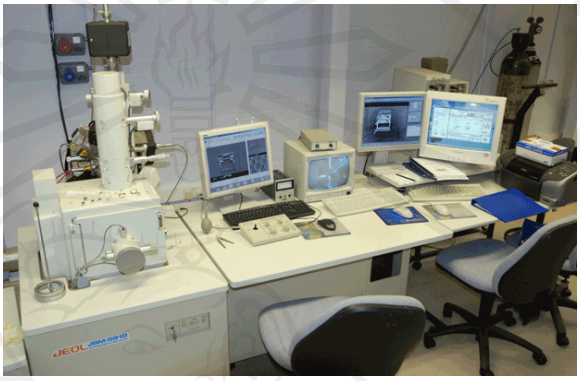
รูป 3.3 เครื่องศึกษาพื้นที่ผิวและรูพรุน รุ่น Autosorp–1MP

**3.3.4 ศึกษาสัณฐานวิทยาของกระดาษสา ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง กราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)**

การศึกษาสัณฐานวิทยาของกระดาษสา จำนวน 12 ตัวอย่าง ที่เลือกวิธีที่เหมาะสมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งการศึกษาสัณฐานวิทยาจะกระทำที่ความต่างศักย์ 15 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (keV) ที่กำลังขยาย x50 และ x200 โดยวิธีการทดลองสามารถทำได้ดังนี้คือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. นำตัวอย่างที่แห้งสนิทที่มีลักษณะเป็นแผ่น (Sheet) ประมาณ 0.5 x 0.5 เซ็นติเมตร ติดบน Stub
2. นำไปโค้ดด้วยทอง ด้วยเครื่องโค้ดทอง
3. หลังจากนั้นนำไปศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



รูป 3.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

### 3.3.5 การวัดขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของอนุภาค ฝุ่น ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยการเลี้ยวเบนเลเซอร์

นำฝุ่นดินที่มีขนาดอนุภาค 1-30 ไมครอน มาวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคด้วยเครื่องวิเคราะห์หาขนาดอนุภาค ซึ่งอาศัยหลักการการเลี้ยวเบนเลเซอร์โดยมีแหล่งกำเนิดเลเซอร์ คือ ฮีเลียม – นีออน (He-Ne laser source) เมื่อเลเซอร์ลำแสงเดียวที่ความยาวคลื่น ($\lambda$) 633 นาโนเมตร ชนอนุภาคจะเกิดการเลี้ยวเบนของเลเซอร์แสงที่ตกกระทบบนอนุภาค จะถูกตรวจวัดด้วยหัวตรวจวัดของเครื่องวิเคราะห์หาขนาดอนุภาค ซึ่งการวัดขนาดอนุภาคจะใช้น้ำปราศจากอิออน เป็นสารตัวกลางในการกระจายตัวของวัตถุดิบ โดยใช้ค่าดัชนีหักเหของฝุ่นดิน เท่ากับ 1.533 และค่าดัชนีหักเหน้ำปราศจากอิออน เท่ากับ 1.330

รูปที่ 3.5 เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยการเลี้ยวเบนเลเซอร์รุ่น Mastersizer S

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3.6 ทดสอบประสิทธิภาพการกรองฝุ่นด้วยกระดาษสา

1. ตัดกระดาษสา ทั้งจากเยื่อสาฟอกและเยื่อสาจากเศษกระดาษสาจำนวน 12 ตัวอย่าง ที่ 15 กรัม และ 20 กรัม ของ เวลา 20, 30 และ 40 นาที ตามลำดับ ทำเป็นถุงกรองฝุ่น สำหรับเครื่องดูดฝุ่นเล็ก ขนาด 7 x 7 x 4 เซ็นติเมตร

2. นำถุงกรองกระดาษสาไปทดลอง ใส่ในเครื่องดูดฝุ่นเล็ก (Mini Vacuum), 230 V–(DC 3.6V) โดยเปลี่ยนถุงกรองทีละเงื่อนไขตามลำดับ และดูดตัวอย่างฝุ่นดินขาว (ดินไชน่าเคลย์) จ.ลำปาง

3. นำฝุ่นดินขาว ในถุงกรองกระดาษสาที่ดูดเก็บไว้ ไปวัดขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของอนุภาคฝุ่น ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยการเลี้ยวเบนเลเซอร์

รูปที่ 3.6 เครื่องดูดฝุ่นเล็ก (Mini Vacuum), 230 V–(DC 3.6V )และถุงกรองฝุ่นกระดาษสา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

# บทที่ 4

# ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

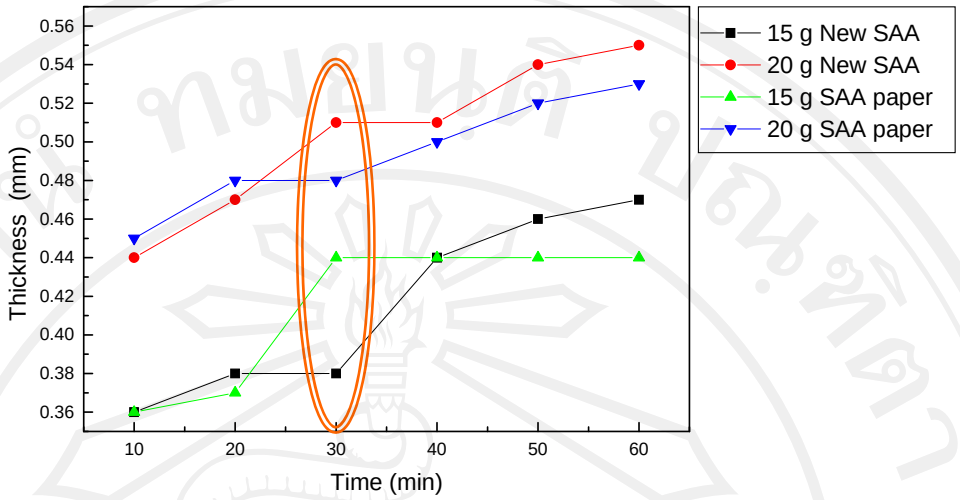
## 4.1 ผลการศึกษาภาวะการตีเยื่อสาด้วยเครื่องตีเยื่อ ที่เหมาะสมสำหรับการทำแผ่นกระดาษสาสำหรับการกรอง

จากการศึกษาภาวะการตีเยื่อสาด้วยเครื่องตีเยื่อ พบว่าผลของเวลาที่เหมาะสมในการปั่นเยื่อสาจากเยื่อสาฟอกและเศษกระดาษสา คือ ที่เวลา 30 นาที เนื่องจากความหนาของกระดาษสา เริ่มหนาคงที่ ที่ 0.38 –0.51 มิลลิเมตร ดังแสดงตาราง 4.1 และรูป 4.1 โดยขั้นแรกผู้วิจัยได้เลือกตัวอย่างกระดาษสา ทั้งกระดาษสาจากเยื่อสาใหม่ และจากเศษกระดาษสา ซึ่งสอดคล้องกับวิธีของชาวบ้านที่เป็นวิธีดั้งเดิมของชุมชน ที่ได้ทำกันมาส่วนใหญ่จะตีเยื่อที่ 30 นาที เช่นกัน

ตาราง 4.1 แสดงความหนาของกระดาษสาที่แตะเยื่อในสภาวะต่าง ๆ

| ***เวลา*** **(นาที)** | **ความหนาของกระดาษสา, มิลลิเมตร** (mm) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **เยื่อสาใหม่** | | **เยื่อจากเศษกระดาษสา** | |
| | 15 กรัม | 20 กรัม | 15 กรัม | 20 กรัม |
| 10 | 0.36 | 0.44 | 0.36 | 0.45 |
| 20 | 0.38 | 0.47 | 0.37 | 0.48 |
| **30** | **0.38** | **0.51** | **0.44** | **0.48** |
| 40 | 0.44 | 0.51 | 0.44 | 0.50 |
| 50 | 0.46 | 0.54 | 0.44 | 0.52 |
| 60 | 0.47 | 0.55 | 0.44 | 0.53 |

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved




รูป 4.1 กราฟความหนาของกระดาษสาที่แตะเยื่อในสภาวะต่าง ๆ

จากรูป 4.1 กราฟความหนาของกระดาษสาเมื่อเทียบกับเวลา เวลาที่เหมาะสมในการปั่นเยื่อสา คือ 30 นาที เป็นเวลาที่ความหนาคงที่ และเลือกเวลาที่ 20 และ 40 นาที ทั้ง 15 กรัมและ 20 กรัม รวมเป็น 12 ตัวอย่าง เพื่อไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของกระดาษสา เปรียบเทียบผลด้านอื่น ๆ ต่อไป

## 4.2 การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของกระดาษสา ด้วยเครื่องศึกษาพื้นที่ผิวและรูพรุน

การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวและรูพรุนของกระดาษสาแต่ละเงื่อนไข ด้วยเครื่องศึกษาพื้นที่ผิวและรูพรุนรุ่น Autosorb 1 MP, Quantachrome โดยใช้วิธีการดูดซับแก๊สไนโตรเจน และการหาพื้นที่ผิวหาได้จากทฤษฎีของ BET และรูพรุนด้วยทฤษฎีของ BJH Theory ได้ผลดังแสดงตาราง 4.2 ผลการวิเคราะห์พื้นที่และรูพรุนของกระดาษสาเยื่อสา พบว่า ที่ใช้เยื่อสาน้ำหนัก 20 กรัม 30 นาทีได้พื้นที่ผิวมากที่สุด เท่ากับ 235.80 $m^2/g$ รองลงมาเยื่อสาน้ำหนัก 15 กรัม 30 นาที มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 234.20 $m^2/g$ น้ำหนัก 20 กรัม 20 นาที มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 137.80 $m^2/g$ น้ำหนัก 15 กรัม 20 นาที เท่ากับ 107.40 $m^2/g$ น้ำหนัก 15 กรัม 40 นาที เท่ากับ 93.69 $m^2/g$ และน้อยที่สุด 20 กรัม 40 นาที พื้นที่ผิวเท่ากับ 76.16 $m^2/g$

การศึกษารัศมีรูพรุน พบว่า กระดาษสาที่ใช้เยื่อสาน้ำหนัก 20 กรัม 40 นาที มีขนาดรัศมีรูพรุนสูงสุดที่ 31.85 ขนาดรูพรุนใหญ่ที่สุด รองลงมาน้ำหนัก 20 กรัม 30 นาที มีขนาดรูพรุนที่มีขนาดรัศมีเล็กกว่า 28.11 ไมครอน รองลงมาเยื่อสาน้ำหนัก 20 กรัม 20 นาที 15 กรัม 30 นาที และ 15 กรัม 40 นาที มีขนาดรัศมีรูพรุนสูงสุดที่ 15.92 ไมครอนเท่ากัน และที่น้ำหนัก 15 กรัม 20 นาที มีขนาดรัศมีรูพรุนสูงสุดที่ 6.71 ไมครอน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.2 ผลการวิเคราะห์พื้นที่และรูพรุนของกระดาษสาเยื่อสา

| **ตัวอย่าง** Sample ID | **พื้นที่ผิวจำเพาะ**, S ($m^2$/g), BET Theory | **ปริมาตรรูพรุน**, $V_p$, (cc/g) | **รัศมีเฉลี่ยของรูพรุน** (Å) | **รูพรุนขนาดรัศมีสูงสุดที่,ไมครอน (**μm) |
|---|---|---|---|---|
| 1. 15 กรัม 20 นาที | 107.40 | 0.133 | 49.36 | 6.71 |
| 2. 20 กรัม 20 นาที | 137.80 | 0.119 | 34.68 | 15.92 |
| 3. 15 กรัม 30 นาที | 234.20 | 0.450 | 38.49 | 15.92 |
| 4. 20 กรัม 30 นาที | 235.80 | 0.164 | 27.88 | 28.11 |
| 5. 15 กรัม 40 นาที | 93.69 | 0.180 | 38.49 | 15.92 |
| 6. 20 กรัม 40 นาที | 76.16 | 0.154 | 42.77 | 31.85 |

และผลการวิเคราะห์พื้นที่และรูพรุนของกระดาษสาจากเศษกระดาษสาแสดงดัง ตาราง 4.3 พบว่าที่ใช้เยื่อสาน้ำหนัก 20 กรัม 30 นาทีได้พื้นที่ผิวมากที่สุด เท่ากับ 240.30 $m^2$/g รองลงมาเยื่อสาน้ำหนัก 15 กรัม 30 นาที มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 238.98 $m^2$/g น้ำหนัก 20 กรัม 20 นาที มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 183.35 $m^2$/g น้ำหนัก 15 กรัม 20 นาที เท่ากับ 144.10 $m^2$/g น้ำหนัก 15 กรัม 40 นาที เท่ากับ 54.19 $m^2$/g และ น้อยที่สุดที่น้ำหนัก 20 กรัม 40 นาที พื้นที่ผิวเท่ากับ 32.50 $m^2$/g

การศึกษารัศมีรูพรุน พบว่า กระดาษสาจากเศษกระดาษสาที่ใช้เยื่อสาน้ำหนัก 20 กรัม 40 นาที มีขนาดรัศมีรูพรุนสูงสุดที่ 42.41 ไมครอน ขนาดรูพรุนใหญ่ที่สุด รองลงมาเยื่อสาน้ำหนัก 15 กรัม 20 นาที มีขนาดรัศมีรูพรุนสูงสุดที่ 19.69 ไมครอน ที่น้ำหนัก 20 กรัม 20 นาที, 15 กรัม 30 นาที, 20 กรัม 30 นาที และ 20 กรัม 40 นาที มีขนาดรัศมีรูพรุนสูงสุดที่ 15.92 ไมครอนเท่ากัน

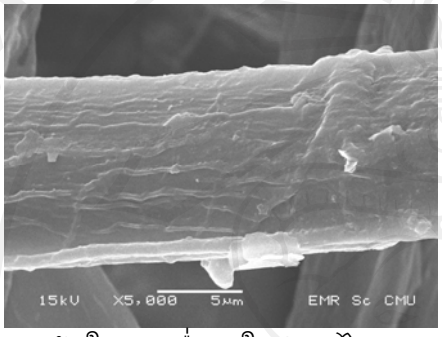
ตาราง 4.3 ผลการวิเคราะห์พื้นที่และรูพรุนของกระดาษสาจากเศษกระดาษสา

| **ตัวอย่าง** Sample ID | **พื้นที่ผิวจำเพาะ**, S ($m^2$/g), BET Theory | **ปริมาตรรูพรุน**, $V_p$, (cc/g) | **รัศมีเฉลี่ยของรูพรุน** (Å) | **รูพรุนขนาดรัศมีสูงสุดที่,ไมครอน (**μm) |
|---|---|---|---|---|
| 1. 15 กรัม 20 นาที | 144.10 | 0.212 | 58.90 | 19.69 |
| 2. 20 กรัม 20 นาที | 183.35 | 0.382 | 41.68 | 15.95 |
| 3. 15 กรัม 30 นาที | 238.98 | 0.394 | 23.22 | 15.92 |
| 4. 20 กรัม 30 นาที | 240.30 | 0.357 | 29.75 | 15.92 |
| 5. 15 กรัม 40 นาที | 54.19 | 0.151 | 16.25 | 15.92 |
| 6. 20 กรัม 40 นาที | 32.50 | 0.083 | 50.89 | 42.41 |

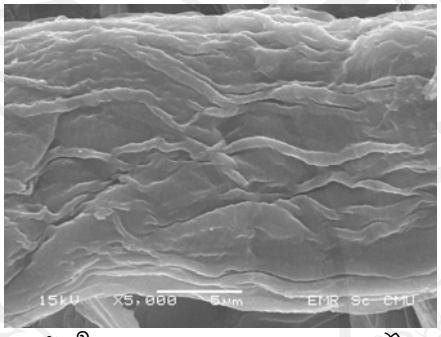
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

### 4.3 ศึกษาสัณฐานวิทยาของกระดาษสา ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM)

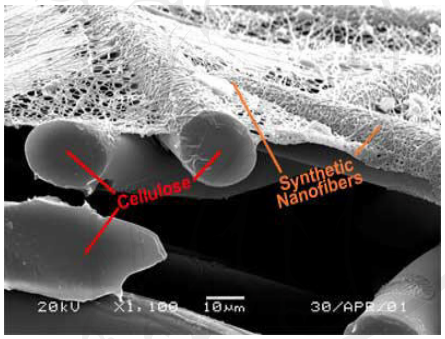
การศึกษาสัณฐานวิทยาของกระดาษสากรองจาก เส้นใยจากเยื่อสาใหม่ และเส้นใยจากเศษกระดาษสา ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งจะกระทำที่ความต่างศักย์ 15 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (keV) ที่กำลังขยาย x5,000




ก. เส้นใยจากเยื่อสาใหม่ 15 ไมครอน

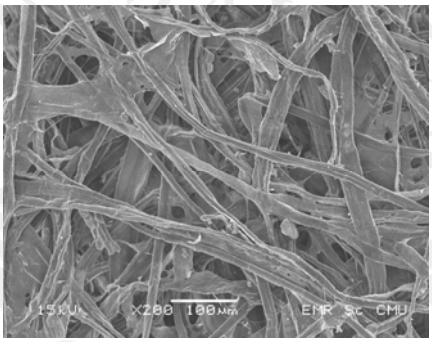



ข. เส้นใยจากเศษกระดาษสา 20 ไมครอน

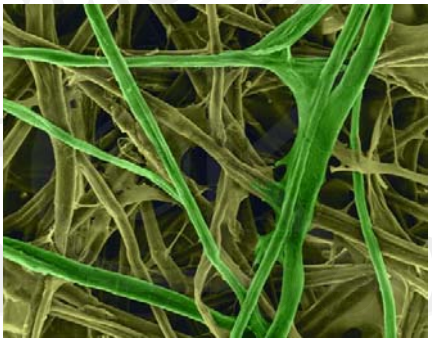



ค. เส้นใยเซลลูโลส 20 ไมครอน [12]

รูป 4.2 แสดงขนาดของเส้นใยสาจากเยื่อสาใหม่และจากเศษกระดาษสา




ง.



จ.

รูป 4.3 เปรียบเทียบ ง.เส้นใยสาจากกระดาษสาและ จ.เส้นใยเซลลูโลส [9]

จากรูป 4.2 และ 4.3 การศึกษาสัณฐานวิทยาของกระดาษสา ด้วยภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า เยื่อของสาเป็นเยื่อชนิดเซลลูโลส ขนาด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 – 20 ไมครอน เมื่อเทียบกับภาพอ้างอิง ค. เส้นใยเซลลูโลส 20 ไมครอน และเส้นใยสานกันเป็นแบบร่างแห มีรูพรุนระหว่างเส้นใย

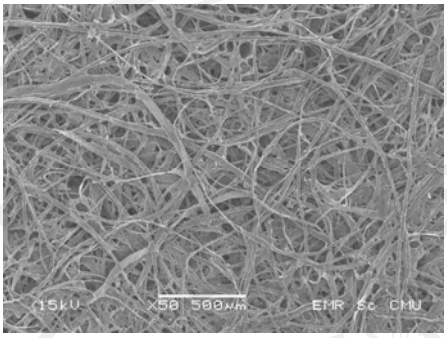
การศึกษาสัณฐานวิทยาของกระดาษสากรอง เลือกเวลาการตีเยื่อสาที่เหมาะสม ที่ เวลา 20, 30 และ 40 นาที เก็บเยื่อมาแตะเป็นแผ่นกระดาษสาที่ 15 กรัมและ 20 กรัม จำนวน 12 ตัวอย่าง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งการศึกษาสัณฐานวิทยาจะกระทำที่ความต่างศักย์ 15 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (keV) ที่กำลังขยาย x50 และ x200 สามารถสรุป ขนาดรูพรุนกระดาษสาจากเยื่อสาและขนาดรูพรุนกระดาษสาจากเศษกระดาษสา (ไมครอน) ดังแสดงตาราง 4.4 และรูป 4.4–4.9

ตาราง 4.4 ผลรูพรุนจากภาพถ่าย SEM ของกระดาษสาจากเยื่อสาและเศษกระดาษสา

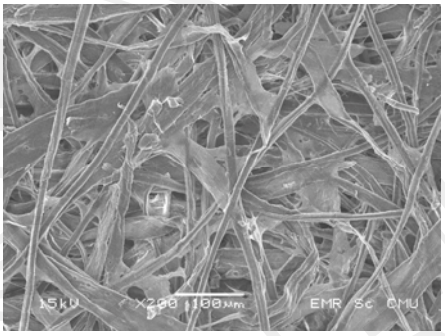
| ตัวอย่าง Sample ID | ขนาดรูพรุนกระดาษสาจากเยื่อสา (ไมครอน) | ขนาดรูพรุนกระดาษสาจากเศษกระดาษสา (ไมครอน) |
|---|---|---|
| 1. 15 กรัม 20 นาที | 20–40 | 20–50 |
| 2. 20 กรัม 20 นาที | 20–50 | 20–50 |
| 3. 15 กรัม 30 นาที | 20–50 | 30–70 |
| 4. 20 กรัม 30 นาที | 10–50 | 20–50 |
| 5. 15 กรัม 40 นาที | 10–50 | 20–70 |
| 6. 20 กรัม 40 นาที | 10–50 | 10–100 |

จากผลขนาดรูพรุนของกระดาษสาจากเยื่อสาใหม่อยู่ในช่วง 10–50 ไมครอนและขนาดรูพรุนของกระดาษสาจากเศษกระดาษสา อยู่ในช่วง 10–100 ไมครอน พบว่าขนาดรูพรุนของกระดาษสาจากเศษกระดาษสามีช่วงใหญ่กว่าและกว้างกว่า เนื่องมาจากกระดาษสากรองที่มาจากเศษกระดาษสา เมื่อนับเวลาการตีเยื่อสาจะมากกว่าเยื่อสาใหม่ถึง 2 เท่า ทำให้เส้นใยถูกตีแตกได้มากกว่าเส้นใยจากเยื่อสาใหม่ และการสานกันระหว่างเส้นใยเป็นร่างแห่และทำให้เกิดรูพรุนมากกว่า โดยสรุป น้ำหนักและเวลาที่เหมาะสม ของเยื่อสาที่นำมาแตะเป็นกระดาษสากรอง คือ น้ำหนักเยื่อสา 15 กรัม เวลาตีเยื่อสา 30 นาที ทั้งกระดาษสาจากเยื่อสาใหม่ขนาดรูพรุนอยู่ในช่วง 20–50 ไมครอน และกระดาษสาจากเศษกระดาษสาขนาด รูพรุนอยู่ในช่วง 30–70 ไมครอน

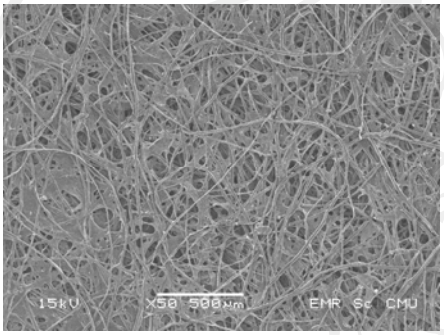
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



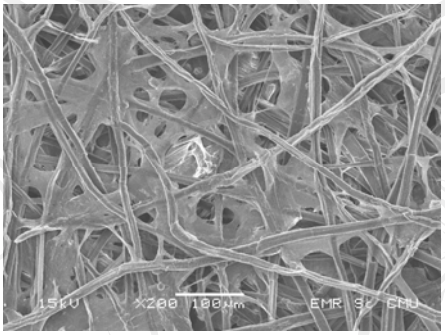

s1520–1




s1520–2

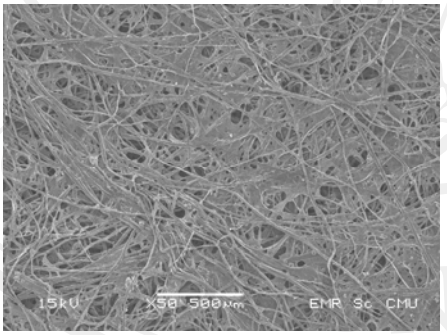



s2020–1

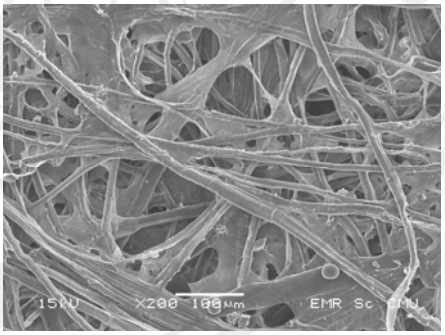



s2020–2

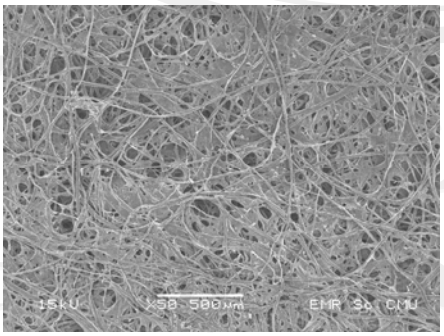
รูป 4.4 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษสาจากเยื่อสาใหม่ ที่น้ำหนักเยื่อสา 15, 20 กรัม เวลาตีเยื่อสา 20 นาที



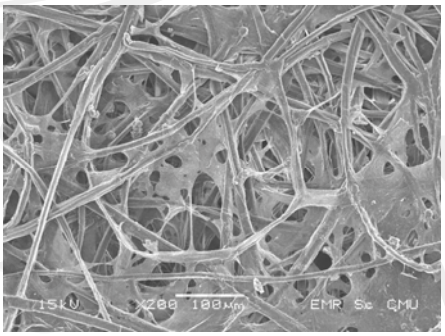

s1530–1




s1530–2



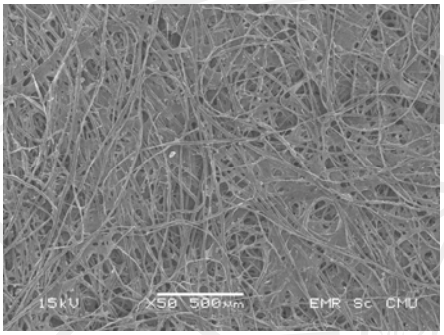

s2030–1



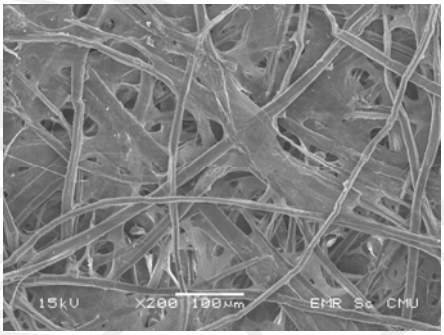

s2030–2

รูป 4.5 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษสาจากเยื่อสาใหม่ ที่น้ำหนักเยื่อสา 15, 20 กรัม เวลาตีเยื่อสา 30 นาที

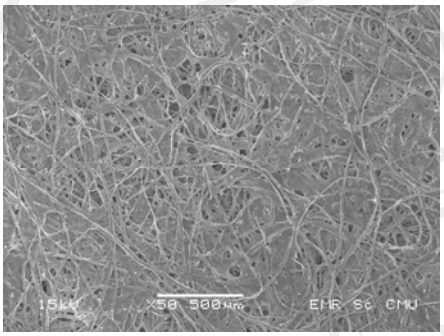
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



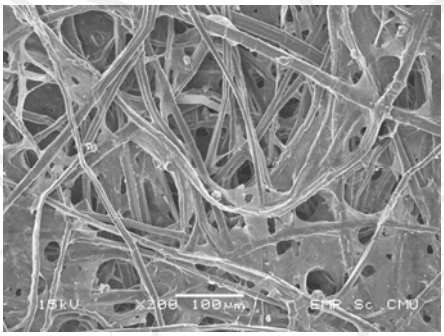

s1540–1




s1540–2

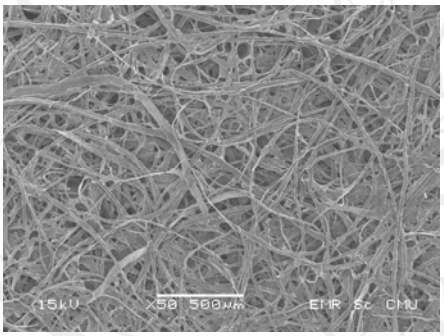



s2040–1

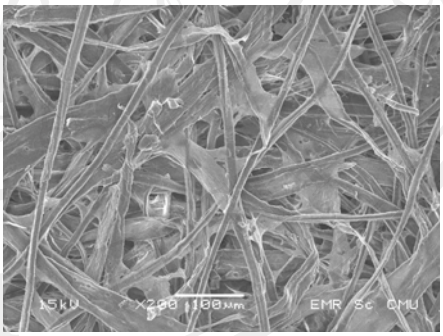



s2040–2

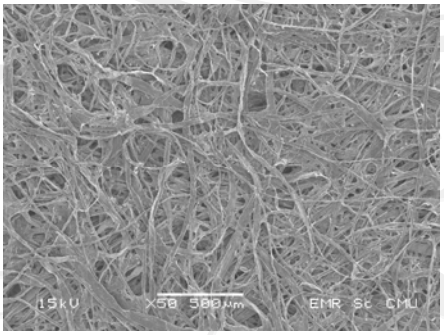
รูป 4.6 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษสาจากเยื่อสาใหม่ ที่น้ำหนักเยื่อสา 15, 20 กรัม เวลาตีเยื่อสา 40 นาที



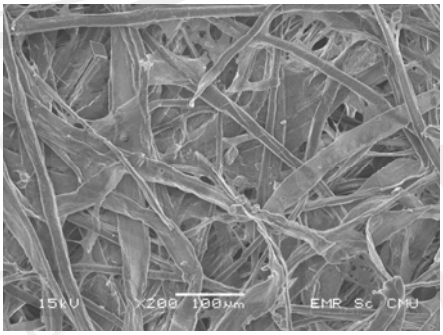

p1520–1




p1520–2



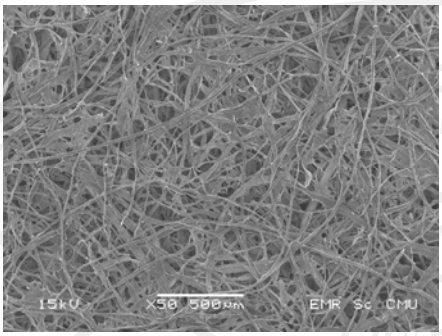

p2020–1



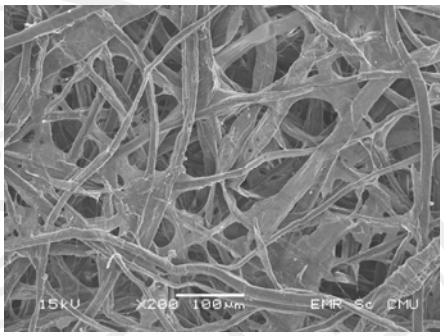

p2020–2

รูป 4.7 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษสาจากเศษกระดาษสาที่น้ำหนักเยื่อสา 15, 20 กรัม เวลาตีเยื่อสา 20 นาที

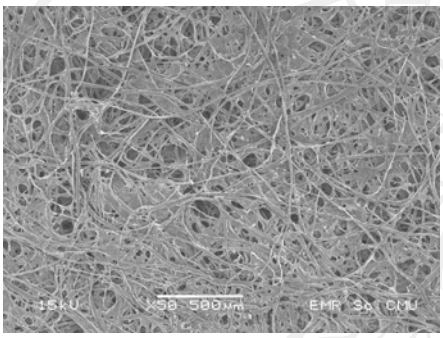
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



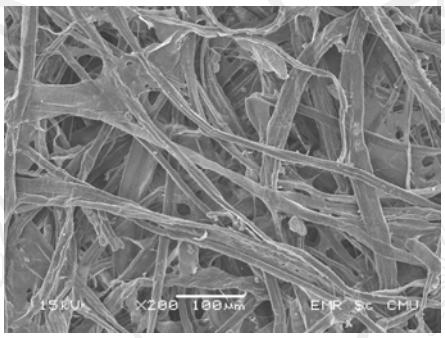

p1530–1




p1530–2

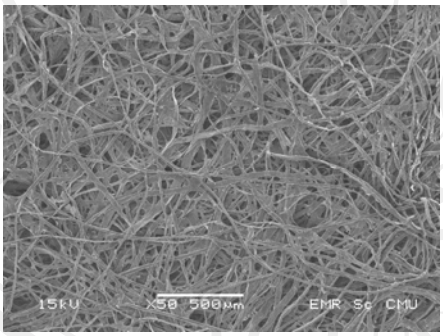



p2030–1

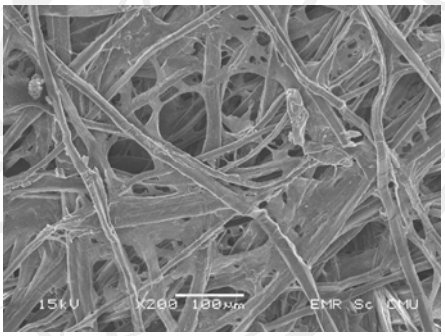



p2030–2

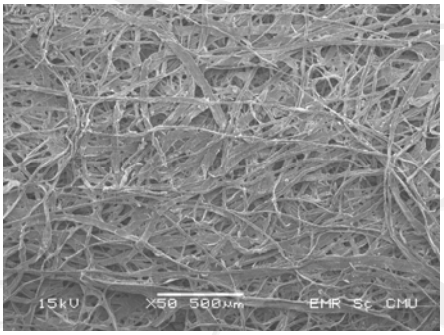
รูป 4.8 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษสาจากเศษกระดาษสาที่น้ำหนักเยื่อสา 15, 20 กรัม เวลาตีเยื่อสา 30 นาที



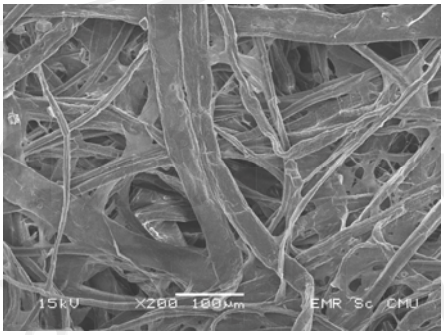

p1540–1




p1540–2




p2040–1




p2040–2

รูป 4.9 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษสาจากเศษกระดาษสาที่น้ำหนักเยื่อสา 15, 20 กรัม เวลาตีเยื่อสา 40 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

## 4.4 ผลการวัดขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของอนุภาคฝุ่น ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยการเลี้ยวเบนเลเซอร์

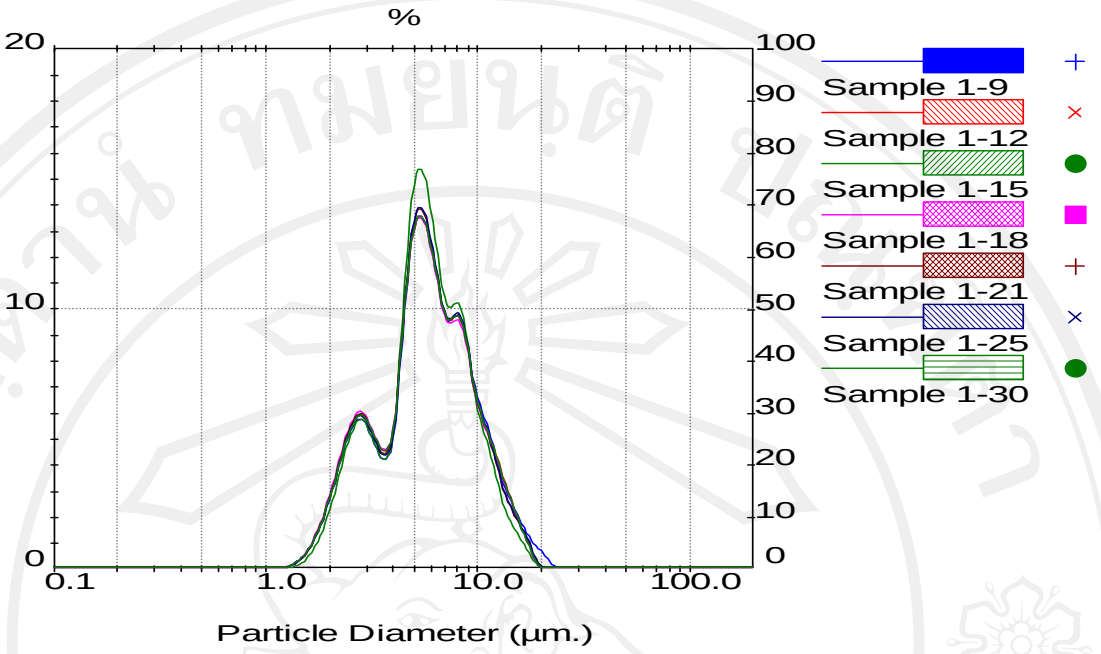
### 4.4.1 ผลขนาดอนุภาคฝุ่นที่ผ่านการกรอง ของกระดาษสาจากเยื่อสาใหม่

การวัดขนาดอนุภาคของฝุ่นดินขาวทั้งก่อนและหลังการกรองฝุ่นด้วยเครื่องดูดฝุ่น และนำฝุ่นที่ติดอยู่บนถุงกระดาษสากรองจากเยื่อสาใหม่ มาวิเคราะห์ขนาดด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยการเลี้ยวเบนเลเซอร์รุ่น Mastersizer S จะใช้น้ำปราศจากอิออนเป็นสารตัวกลางในการกระจายตัวของวัตถุดิบ โดยใช้ค่าดัชนีหักเหของฝุ่นดินเท่ากับ 1.533 และค่าดัชนีหักเหของน้ำปราศจากอิออน เท่ากับ 1.330 จากกราฟ Sample 1–9 คือ การกระจายขนาดอนุภาคฝุ่น ดินขาวก่อนการกรอง อนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 6.50 ไมครอน และการกระจายขนาดอนุภาค ในช่วง 1.14–26.04 ไมครอน และ เมื่อผ่านการกรองแสดงดังกราฟ Sample 1–12, 1–15, 1–18, 1–21, 1–25 และ 1–30 คือ ถุงกรองกระดาษสาจากเยื่อสาใหม่ที่น้ำหนัก 15 และ 20 กรัม เวลาตีเยื่อ 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 และมีอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 6.32, 6.20, 6.27, 6.26, 6.31 และ 6.33 ไมครอน และการกระจายขนาดอนุภาค ในช่วง 1.14–19.42 ไมครอน ตามลำดับ ยกเว้นที่น้ำหนัก 15 กรัม 20 นาที การกระจายขนาดอนุภาค ในช่วง 1.26–19.42 ไมครอน จากข้อมูลข้างต้น ทำให้ทราบว่า ขนาดอนุภาคตั้งแต่ 6.50 ลงมาถึง 6.20 ไมครอน และตั้งแต่ 1.14–1.26 และ 19.42 – 26.04 ไมครอน ถูกกรองไว้ที่บนกระดาษกรองกระดาษสา

ตาราง 4.5 ผลของขนาดอนุภาคฝุ่นที่ผ่านการกรอง ของกระดาษสาจากเยื่อสาใหม่

| ตัวอย่าง (**Sample ID**) | การกระจายขนาดอนุภาคฝุ่นที่ผ่านการกรอง (ไมครอน) | ขนาดอนุภาคฝุ่นเฉลี่ย D 4,3 (ไมครอน) |
|---|---|---|
| 1. Sample 1–9 อนุภาคฝุ่น | 1.14–26.04 | 6.50 |
| 2. Sample 1–12, 15 กรัม 20 นาที | 1.14–19.42 | 6.32 |
| 3. Sample 1–15, 20 กรัม 20 นาที | 1.26–19.42 | 6.20 |
| 4. Sample 1–18, 15 กรัม 30 นาที | 1.14–19.42 | 6.27 |
| 5. Sample 1–21, 20 กรัม 30 นาที | 1.14–19.42 | 6.26 |
| 6. Sample 1–25, 15 กรัม 40 นาที | 1.14–19.42 | 6.31 |
| 7. Sample 1–30, 20 กรัม 40 นาที | 1.14–19.42 | 6.33 |

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved




รูป 4.10 ผลการกระจายตัวของอนุภาคฝุ่นที่กรองด้วยถุงกรองกระดาษสาจากเยื่อสาใหม่

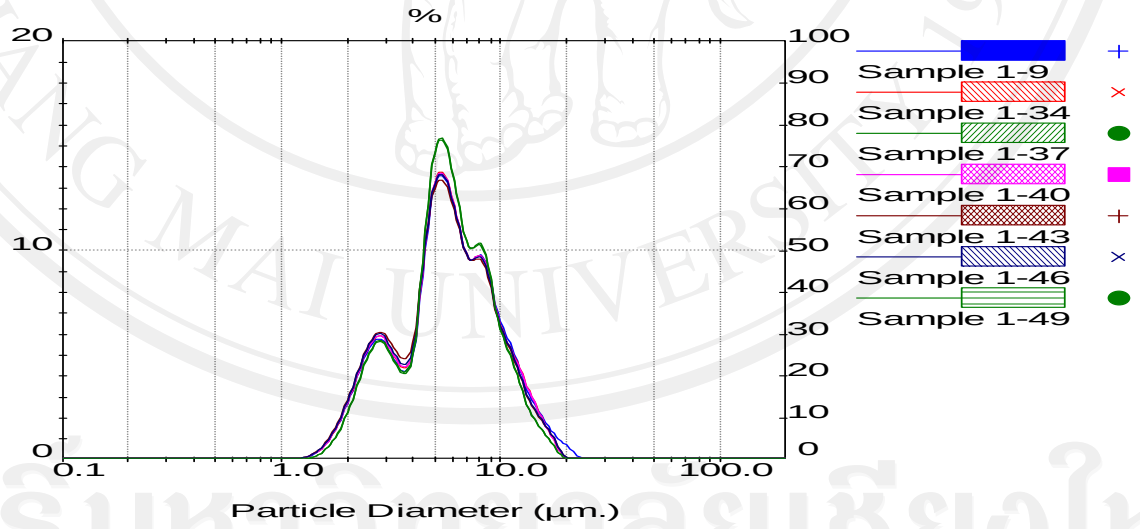
**4.4.2 ผลขนาดอนุภาคฝุ่นที่ผ่านการกรอง ของกระดาษสาจากเศษกระดาษสา**

การวัดขนาดอนุภาคของฝุ่นดินขาวทั้งก่อนและหลังการกรองฝุ่น ด้วยเครื่องดูดฝุ่นและนำฝุ่นที่ติดอยู่บนถุงกระดาษสากรองจากเศษกระดาษสา มาวิเคราะห์ขนาดด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยการเลี้ยวเบนเลเซอร์รุ่น Mastersizer S Sample 1-9 คือ การกระจายขนาดอนุภาคฝุ่น ดินขาวก่อนการกรอง อนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 6.50 ไมครอน และการกระจายขนาดอนุภาค ในช่วง 1.14-26.04 ไมครอน และ เมื่อผ่านการกรองแสดงดังกราฟ Sample 1-34, 1-37, 1-40, 1-43, 1-46 และ 1-49 คือ ถุงกรองกระดาษสาจากเยื่อสาใหม่ที่น้ำหนัก 15 และ 20 กรัม เวลาตีเยื่อ 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 และมีอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 6.25, 6.32, 6.23, 6.23, 6.27 และ 6.23 ไมครอน และการกระจายขนาดอนุภาค ในช่วง 1.14-19.42 ไมครอน ตามลำดับ ยกเว้นที่น้ำหนัก 15 กรัม 20 นาที และ น้ำหนัก 20 กรัม 40 นาที การกระจายขนาดอนุภาค ในช่วง 1.26-19.42 ไมครอน จากข้อมูลข้างต้น ทำให้ทราบว่า ขนาดอนุภาคตั้งแต่ 6.50 ลงมาถึง 6.23 ไมครอน และตั้งแต่ 1.14-1.26 และ 19.42 – 26.04 ไมครอน ถูกกรองไว้ที่บนกระดาษกรองกระดาษสาดังแสดงดัง รูป 4.12 ตัวอย่างภาพถ่าย SEM ตัวอย่างการเกาะของฝุ่นบนเส้นใยกระดาษสากรองฝุ่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

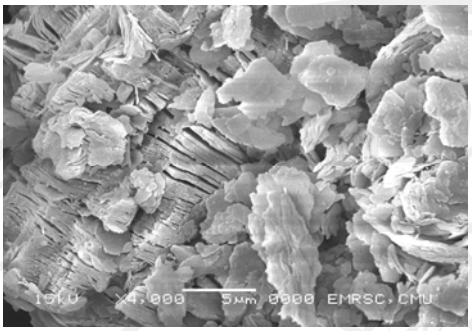
ตาราง 4.6 ผลของขนาดอนุภาคฝุ่นที่ผ่านการกรอง ของกระดาษสาจากเศษกระดาษสา

| ตัวอย่าง (Sample ID) | การกระจายขนาดอนุภาคฝุ่นที่ผ่านการกรอง (ไมครอน) | ขนาดอนุภาคฝุ่นเฉลี่ย D 4,3 (ไมครอน) |
|---|---|---|
| 1. Sample 1-9 อนุภาคฝุ่น | 1.14-26.04 | 6.50 |
| 2. Sample 1-34, 15 กรัม 20 นาที | 1.26-19.42 | 6.25 |
| 3. Sample 1-37, 20 กรัม 20 นาที | 1.14-19.42 | 6.32 |
| 4. Sample 1-40, 15 กรัม 30 นาที | 1.14-19.42 | 6.23 |
| 5. Sample 1-43, 20 กรัม 30 นาที | 1.14-19.42 | 6.23 |
| 6. Sample 1-46, 15 กรัม 40 นาที | 1.14-19.42 | 6.27 |
| 7. Sample 1-49, 20 กรัม 40 นาที | 1.26-19.42 | 6.23 |

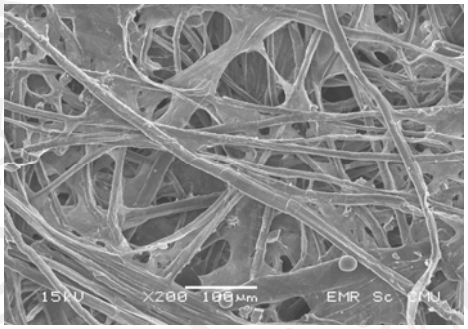



รูป 4.11 ผลการกระจายตัวของอนุภาคฝุ่นที่กรองด้วยถุงกรองจากกระดาษสาจากเศษกระดาษสา

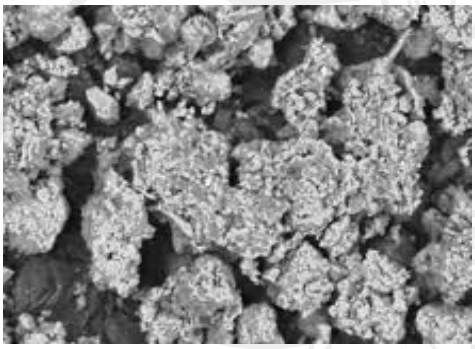
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved




ก.




ข.



ค.

ง.

รูป 4.12 ตัวอย่างภาพถ่าย SEM ก. อนุภาคฝุ่นดินขาว ข.กระดาษกรองสา และ ค. อนุภาคฝุ่น {10} ง. อนุภาคฝุ่นบนกระดาษกรองสา {10}

งานวิจัยครั้งนี้ พบว่า กระดาษสากรองฝุ่น ทั้งจากถุงกรองกระดาษสาเยื่อสาใหม่และจากเศษกระดาษสา สามารถกรองฝุ่นได้ในช่วงขนาดอนุภาค 1.14–26.04 ไมครอน อนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 6.50 ไมครอน ได้ทั้งหมด และช่วงขนาดอนุภาค หลังการกรอง ที่วัดได้โดยเฉลี่ย 1.14 –19.42 ไมครอน อนุภาคเฉลี่ย 6.20 –6.33 ไมครอน คือฝุ่นที่กักเก็บอยู่ในถุงกรองกระดาษสา ช่วงอนุภาค ขนาดใหญ่ที่หายไป ติดอยู่บนถุงกระดาษกรอง แสดงดังรูป 4.12 ง. อนุภาคฝุ่นบนกระดาษกรองสา

และพบว่า ที่น้ำหนัก 15 กรัม หรือ 20 กรัม 30 นาที ประสิทธิภาพการกรองไม่แตกต่างกันมาก สามารถยอมรับได้ ใช้ได้ทั้ง 2 แบบทั้งจากถุงกรองกระดาษสาเยื่อสาใหม่และจากเศษกระดาษสา ซึ่งสอดคล้องกับวิธีของชาวบ้านที่เป็นวิธีดั้งเดิมของชุมชน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

# บทที่ 5
# สรุปผลการทดลอง

## 5.1 สรุปผลการทดลอง

1. ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำกระดาษสาสำหรับการกรอง

1.1 เวลาที่เหมาะสมสำหรับการตีเยื่อสาจากเยื่อสาใหม่และเศษกระดาษสาคือ 30 นาที ได้ความหนาของกระดาษสาคงที่ ที่ 0.38 –0.51 มิลลิเมตร สอดคล้องกับวิธีของชาวบ้านที่เป็นวิธีดั้งเดิมของชุมชน

1.2 น้ำหนักที่เหมาะสมในการทำแผ่นกระดาษสาจากเยื่อสาใหม่และเศษกระดาษสา คือ น้ำหนัก 15 กรัม และ 20 กรัม เวลาตีเยื่อ 30 นาที

1.2.1 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของกระดาษสาจากเยื่อสาใหม่ เยื่อสาน้ำหนัก 20 กรัม 30 นาที พื้นที่ผิวได้มากที่สุด เท่ากับ 235.80 $m^2/g$ รองลงมาเยื่อสาน้ำหนัก 15 กรัม 30 นาที มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 234.20 $m^2/g$ และรัศมีรูพรุนสูงสุด 28.11 และ 15.92 ไมครอนตามลำดับ

1.2.2 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของกระดาษสาจากเศษกระดาษสา เยื่อสาน้ำหนัก 20 กรัม 30 นาทีได้พื้นที่ผิวมากที่สุด เท่ากับ 240.30 $m^2/g$ รองลงมาเยื่อสาน้ำหนัก 15 กรัม 30 นาที มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 238.98 $m^2/g$ และรัศมีรูพรุนสูงสุด 15.92 ไมครอน เท่ากัน

2. กระดาษสาที่ผลิตได้ในการวิจัยนี้ สามารถกรองฝุ่นได้ทั้งจากถุงกรองกระดาษสาเยื่อสาใหม่และจากเศษกระดาษสา สามารถกรองฝุ่นได้

ในช่วงขนาดอนุภาคก่อนกรอง 1.14 – 26.04 ไมครอน อนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 6.50 ไมครอน อนุภาคฝุ่นหลังกรอง 1.14 –19.42 ไมครอน อนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 6.23 ไมครอน ได้ทั้งหมด

3. ประสิทธิภาพการกรองไม่แตกต่างกัน สามารถยอมรับได้ ใช้ได้ทั้ง 2 แบบทั้งจากถุงกรองกระดาษสาเยื่อสาใหม่และจากเศษกระดาษสา

## 5.2 ปัญหาและแนวข้อเสนอแนะ

1. ปัญหาของการทดลอง เครื่องศึกษาพื้นที่ผิวและรูพรุน เกิดการชำรุดระหว่างการทำวิจัย ต้องรอการซ่อมแซม ทำให้เกิดความล่าช้าของผลการวิจัย

2. การใช้เครื่องมือที่ได้รับความนิยมของนักวิจัยสูง เช่น กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ทำให้เกิดปัญหาการจองคิววิเคราะห์นาน ทำให้เกิดความล่าช้าของผลการวิจัย

3. การเผยแพร่สู่ชุมชน ถึงประโยชน์ของกระดาษสาสำหรับการกรองฝุ่น ซึ่งวิธีการทำกระดาษสาจากการวิจัย สามารถประยุกต์ใช้กับวิธีของชาวบ้านที่เป็นวิธีดั้งเดิมของชุมชน สามารถเพิ่มมูลค่าของกระดาษสาต่อไปได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

# เอกสารอ้างอิง


[1] อนันต์เสวก เห่วซึ่งเจริญ และคณะ, “การพัฒนาการย้อมสีธรรมชาติสำหรับเส้นใยพืช” รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2547 หน้า 10-13

[2] ชลธิชา เตียวไพรัช, “การย้อมสีเส้นใยสาด้วยสีย้อมธรรมชาติจากคราม”, วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2550 หน้า 16-18

[3] วิมล นาคสาทา และมาโนช นาคสาทา, “กระดาษสาทนไฟ” ฝีมือนักวิจัย มช. วารสารทองกวาว, ฉบับ มิถุนายน 2008, หน้า 6-7

[4] ยุพา มงคลสุข และคณะ, “การพัฒนาระบบการผลิตเยื่อและกระดาษจากปอสาที ไม่ก่อปัญหาสิ่งแวดล้อมเพื่ออุตสาหกรรมขนาดเล็ก” สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547

[5] วิชัย หฤทัยธนาสันติ์ และคณะ, "การปรับปรุงกระบวนการผลิตเยื่อและ กระดาษจากปอสา” สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2545

[6] นงคราญ ไชยวงค์, “กลไกการจับรวมตัวกันของน้ำดินขาว” รายงานการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2550 หน้า 56

[7] http://www.fireproof-blabkket.info/filter-bag.html

[8] *“Jet Pulse and 100_PTFE_pluse_jet_filter_bag” [Online]. Available http://www.alibaba.com/product-gs/383335377/ZXLMC_Modular_Flat_bag Pluse_Jet.html. (30 September 2011).*

[9] *“Cellulose Fibers from Print Paper (SEM x1,080)” [Online]. Available http://www.denniskunkel.com. (30 September 2011).*

[10] *“Dust and Cellulose Fibers” [Online]. Available www.visualphotos.com (30 September 2011).*

[11] *“Cellulose Structure” [Online]. Available http://www.woodtreatment.co.za/what-is-wood.html. (3 January 2012).*

[12] *“Cellulose” [Online]. Available http://www.amsoil.com/storefront/eaa.aspx (3 January 2012).*

[13] *http://www.emc.maricopa.edu/faculty/farabee/biobk/biobookchem2.html*

[14] *“A Celebration of Cellulose”* [Online]. Available *http://parkslibrarypreservation.wordpress.com/2011/07/ (31 January 2012).*



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

[15] ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ และคณะ “การจัดการของเสียจากการผลิตเยื่อและกระดาษจากปอสา” สำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2545

[16] นที ภู่โพสกุล, เอกสารประกอบการบรรยาย *เรื่อง “การกำจัดฝุ่นในโรงงานอุตสาหกรรม”* ศูนย์บริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2554 หน้า 1-26

[17] ฝ่ายอาชีวอนามัย *“อันตรายจากฝุ่น”* กองอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักอนามัย กรุงเทพมหานคร ฝออ.กอว. 1/2538

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved