ผลิตภัณฑ์ลดความชื้นที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วยการใช้สารสกัดซิลิกาจากใบไผ่

Environmentally Friendly Dehumidifying Product Using Silica Extracted from Bamboo Leaves

ศิริวรรณ พรมเกตุจันทร์

ฐาปกรณ์ วงษ์ประยูร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2561

ผลิตภัณฑ์ลดความชื้นที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วยการใช้สารสกัดซิลิกาจากใบไผ่

Environmentally Friendly Dehumidifying Product Using Silica Extracted from Bamboo Leaves

ศิริวรรณ พรมเกตุจันทร์

ฐาปกรณ์ วงษ์ประยูร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อปริญญานิพนธ์ ผลิตภัณฑ์ลดความชื้นที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วยการใช้สารสกัดซิลิกาจากใบไผ่

ชื่อ นามสกุล ศิริวรรณ พรมเกตุจันทร์
ฐาปกรณ์ วงษ์ประยูร

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ

คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ภัทริกา สูงสมบัติ

คณะกรรมการสอบได้ให้ความเห็นชอบปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว

.....ประธานกรรมการ
(ดร.ดวงฤทัย นิคมรัฐ)

.....กรรมการ
(ผศ.ณัฐชมัย ลักษณ์อำนวยพร)

.....กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.ภัทริกา สูงสมบัติ)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อนุมัติให้นับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ
วันที่..... เดือน..... พ.ศ. .....

ชื่อปริญญานิพนธ์ ผลิตภัณฑ์ลดความชื้นที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วยการใช้สารสกัดซิลิกาจากใบไผ่
ชื่อ นามสกุล ศิริวรรณ พรมเกตุจันทร์
ฐาปกรณ์ วงษ์ประยูร
ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ
คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

ซิลิกามีรูปร่างไม่แน่นอน พื้นผิวมีความพิเศษเฉพาะตัวเนื่องจากมีรูพรุนและช่องว่างในระดับนาโนเมตร สามารถใช้ในการดูดซึมน้ำและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ทางชีวภาพให้แห้ง ปกป้องอุปกรณ์ต่าง ๆ จากความเสียหายเพราะความชื้นได้เป็นอย่างดี การศึกษานี้จึงได้สนใจที่จะทำผลิตภัณฑ์ลดความชื้นที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมด้วยการใช้ซิลิกาที่สกัดจากใบไผ่ โดยนำใบไผ่แห้งต้มกับกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์ แล้วเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นตรวจวัดค่าความบริสุทธ์ของซิลิกาด้วยวิธี X-ray Fluorescence ผลการตรวจวัดพบว่าความบริสุทธิ์ของซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 4 โมลาร์ มีค่าสูงสุดร้อยละ 96 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมคือซิลิกาเจลทางการค้า จากการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดความชื้น ซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 โมลาร์ ให้ประสิทธิภาพในการดูดความชื้นสูงที่สุด และซิลิกามีการยึดเกาะกับผลิตภัณฑ์ได้ดีที่สุด ในขณะที่ประสิทธิภาพในการเก็บกักน้ำ และดูดซับน้ำ ซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 3 โมลาร์ มีประสิทธิภาพสูงสุด ความสามารถในการลดความชื้นของซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดทั้ง 4 ความเข้มข้นนั้นมีความแตกต่างกันไม่มากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับซิลิกาเจลทางการค้า ดังนั้นการใช้ซิลิกาที่สกัดจากใบไผ่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและมีราคาที่ถูกกว่าซิลิกาที่ผ่านการสังเคราะห์ทางเคมี จึงมีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้และพัฒนาในงานด้านเทคโนโลยีการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมต่อไป

คำสำคัญ : ซิลิกา ใบไผ่ ผลิตภัณฑ์ลดความชื้น การดูดซับน้ำ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

Thesis title Environmentally Friendly Dehumidifying Product Using Silica Extracted from Bamboo Leaves
Author Siriwan Phomketjan
Thapakorn Wongprayoon
Degree Bachelor of Science
Major program Environmental Science and Natural Resources
Faculty of Science and Technology
Academic Year 2018

ABSTRACT

Silica is an amorphous and nanometer scale voids and porous form of silicon dioxide. As long known for its high specific surface area, synthetic silica has been used to adsorb water readily and applied for keeping many biological products dry, protecting equipment from moisture damage. In the study, the researchers have interested in making the tentative eco-friendly dehumidifying products based on the silica extract from bamboo leaves. The extraction procedures were performed by boiling dry bamboo leaves with various concentrated hydrochloric acid (HCl) at 1, 2, 3, and 4 M, then burning them at 650°C for 4 hr before analyzing the purity of the biosilica with the X-ray Fluorescence Method. The results showed that the highest purity of the biosilica sample at 96% could be obtained after treated with 4 M HCl, comparing with the control commercial silica. By hygroscopic test, the extracted biosilica with 2 M HCl showed the highest moisture absorption properties close to the commercial silica. While the highest adsorption capacity was found in the biosilica sample treated with 3 M HCl. The dehumidifying efficiencies of all HCl treated biosilica power were not much different, comparing to the commercial silica gel. Instead of using synthetic silica, therefore, this high environmentally friendly and cheaper biosilica from bamboo leaves can preferably be decent and further applied in green industry.

Keywords: Biosilica, Bamboo leaves, Dehumidifying Product, Water adsorption, Eco-friendly

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาของคณาจารย์หลายท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.ภัทริกา สูงสมบัติ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ดร.ดวงฤทัย นิคมรัฐ ประธานสอบปริญญานิพนธ์ และผศ.ณัฐชมัย ลักษณ์อำนวยพร กรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำ ตลอดจนคำปรึกษาและช่วยแก้ไขข้อบกพร่องปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์มาโนช หลักฐานดี หัวหน้าสาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ และคณาจารย์สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องสถานที่ทำวิจัย ตลอดจนให้ความรู้ทางวิชาการและวิชาชีพแก่คณะผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณ ดร.จิระศักดิ์ ธาระจักร์ ที่ให้คำปรึกษาเรื่องการสกัดซิลิกา และขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ ที่ให้ความอนุเคราะห์เรื่องการใช้เครื่องมือในการตรวจวัดค่าความบริสุทธิ์ของซิลิกาแก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณ ทุนงบประมาณจากโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เพื่อสนับสนุนในการวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่อบรมสั่งสอนให้มีความรู้จนถึงปัจจุบันรวมถึงขอขอบคุณเพื่อนๆ สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ ที่ให้ความช่วยเหลือทั้งกำลังกายและกำลังใจในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

ศิริวรรณ พรมเกตุจันทร์

ฐาปกรณ์ วงษ์ประยูร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ	3
1.6 คำสำคัญ	3
1.7 กรอบแนวความคิด	4
1.8 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการและแผนการดำเนินงานตลอดโครงการ	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	6
2.2 วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	8
2.3 ไผ่	10
2.4 ซิลิกา	13
2.5 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบซิลิกา	17
2.6 ความชื้น	21
2.7 สารลดความชื้น	23
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	
3.1 เครื่องมือที่ใช้	30
3.2 วิธีการสกัดซิลิกา	31
3.3 ขั้นตอนการตรวจวัดค่าความบริสุทธิ์ของซิลิกา	33
3.4 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ลดความชื้นจากซิลิกา	33
3.5 การศึกษาคุณภาพของผงซิลิกาที่สกัดจากใบไผ่	35
3.6 การศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดความชื้น	38

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

4.1 ผลการสกัดซิลิกาจากใบไผ่ 41

4.2 ผลการตรวจวัดค่าความบริสุทธิ์ของซิลิกาที่สกัดจากใบไผ่ 44

4.3 ผลการศึกษาคุณภาพของผงซิลิกาที่สกัดจากใบไผ่ 46

4.4 ผลการศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดความชื้น 50

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล 58

5.2 ข้อเสนอแนะ 59

เอกสารอ้างอิง 60

ภาคผนวก 64

ภาคผนวก ตารางแสดงผลการทดลอง 65

ประวัติการศึกษา 68

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 แสดงระยะเวลาดำเนินโครงการและแผนการดำเนินงานตลอดโครงการ	5
4.1 การเปรียบเทียบซิลิกาที่ได้หลังจากนำใบไผ่มาต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์ และเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส	42
4.2 แสดงค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของซิลิกาจากใบไผ่ที่ผ่านการต้มด้วยกรด ความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์	45
4.3 แสดงค่าร้อยละการดูดความชื้นของผงซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรด ความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์	46
4.4 แสดงค่าร้อยละการเก็บกักน้ำของผงซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรด ความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์	48
4.5 แสดงค่าร้อยละการดูดซับน้ำของผงซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรด ความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์	49
4.6 แสดงค่าร้อยละการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการต้มด้วย กรดความเข้มข้น1, 2, 3 และ 4 โมลาร์ ในช่วงระยะเวลาต่างๆ	51
4.7 ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์	53
4.8 ลักษณะการยึดเกาะพื้นผิวของซิลิกาในผลิตภัณฑ์เมื่อศึกษา ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ	55
ภาคผนวก 1 แสดงค่าร้อยละการตรวจวัดหาความบริสุทธิ์ของซิลิกาด้วยเครื่อง XRF	65
ภาคผนวก 2 แสดงค่าน้ำหนักก่อนและหลังการดูดความชื้นของผงซิลิกา และซิลิกาเจลทางการค้าในระยะเวลา 3 ชั่วโมง	65
ภาคผนวก 3 แสดงค่าน้ำหนักการเก็บกักน้ำของผงซิลิกาและซิลิกาเจลทางการค้า	66
ภาคผนวก 4 แสดงค่าน้ำหนักการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์จากสารสกัดซิลิกา จากใบไผ่และซิลิกาเจลทางการค้า	66
ภาคผนวก 5 แสดงน้ำหนักก่อนและหลังการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์จากสารสกัด ซิลิกาจากใบไผ่และซิลิกาเจลทางการค้าครั้งที่ 1 ตามระยะเวลาที่กำหนด	66
ภาคผนวก 6 แสดงน้ำหนักก่อนและหลังการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์จากสารสกัด ซิลิกาจากใบไผ่และซิลิกาเจลทางการค้าครั้งที่ 2 ตามระยะเวลาที่กำหนด	67
ภาคผนวก 7 แสดงน้ำหนักก่อนและหลังการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์จากสารสกัด ซิลิกาจากใบไผ่และซิลิกาเจลทางการค้าครั้งที่ 3 ตามระยะเวลาที่กำหนด	67

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1.1 กระบวนการทำผลิตภัณฑ์ลดความชื้นที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ด้วยการใช้สารสกัดซิลิกาจากใบไผ่	4
2.1 ไผ่ซาง	10
2.2 โครงสร้างของซิลิกา	13
2.3 เครื่อง X-ray Fluorescence (XRF)	17
2.4 กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ	20
3.1 การเตรียมวัตถุดิบจากใบไผ่	31
3.2 การสกัดซิลิกาจากใบไผ่	32
3.3 การตรวจวัดค่าความบริสุทธิ์ของซิลิกา	33
3.4 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ลดความชื้น	34
3.5 การศึกษาการดูดความชื้นของผงซิลิกา	35
3.6 การศึกษาการเก็บกักน้ำของผงซิลิกา	37
3.7 การศึกษาการดูดซับน้ำของผงซิลิกา	38
3.8 การศึกษาการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์	39
3.9 การสังเกตลักษณะการยึดเกาะพื้นผิวของซิลิกาในผลิตภัณฑ์ เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ	40
4.1 ผงซิลิกาบดละเอียดที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์	43
4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของซิลิกา ที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์	45
4.3 กราฟแสดงค่าร้อยละการดูดความชื้นของผงซิลิกา ที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์	47
4.4 กราฟแสดงค่าร้อยละการเก็บกักน้ำของผงซิลิกา ที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์	48
4.5 กราฟแสดงค่าร้อยละการดูดซับน้ำของผงซิลิกา ที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์	50
4.6 กราฟแสดงค่าร้อยละการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ผ่าน การต้มด้วยกรดความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์ ในช่วงระยะเวลาต่างๆ	51

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันปัญหาจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นปัญหาที่สำคัญ โดยเฉพาะในประเทศไทย ซึ่งเป็นประเทศที่มีการประกอบอาชีพทางเกษตรกรรม และมีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นปริมาณมาก การเผาทำลายเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษได้ระบุว่าค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองขนาดเล็ก หรือ PM10 จากการเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมีค่า 7 กิโลกรัมจาก 1,000 กิโลกรัมของเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ถูกเผาไหม้ จึงมีผลกระทบทางด้านสุขภาพจากปัญหาหมอกควันพิษ แม้ว่าเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเหล่านี้จะสามารถนำมาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีมูลค่าได้ แต่ก็เป็นการสิ้นเปลืองแรงงานของเกษตรกรที่ต้องพลิกกลับกองปุ๋ยหมักและยังใช้เวลาในการหมักนาน 3-6 เดือน ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้ก็มีปริมาณน้อย ประมาณครั้งละ 1 ตันเท่านั้น (ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร และคณะ, 2546) ซึ่งไม่คุ้มค่ากับเวลาที่เสียไป

ใบไผ่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชนิดหนึ่งซึ่งยังมีเหลือทิ้งในปริมาณมาก โดยเฉพาะใบไผ่ที่แห้งแล้ว เพราะใบส่วนนี้ถ้าปล่อยให้ย่อยสลายไปตามธรรมชาติมักจะใช้ระยะเวลานาน การนำใบไผ่แห้งไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นนอกจากการหมักทำปุ๋ย หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงแล้วจึงค่อนข้างทำได้ยาก ทำให้ต้องมีการหาวิธีกำจัดหรือนำใบไผ่แห้งเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ให้มากขึ้น และเนื่องจากในใบไผ่มีสารประกอบต่างๆ อยู่ด้วย โดยเฉพาะซิลิกาที่พบถึงร้อยละ 57 (นิยม บุญถนอม, 2533) ซึ่งซิลิกามีคุณสมบัติในการดูดซับความชื้น จึงสามารถนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ลดความความชื้นได้

ซิลิกามีทั้งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ พบได้สองรูปแบบ แบบแรกเป็นรูปผลึกมีขนาดแตกต่างกันไป เช่น ทราย และแบบที่สองคือซิลิกาที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต ซึ่งเป็นซิลิกาอสัณฐาน เช่น ซิลิกาที่มีในสาหร่ายเปลือกแข็ง หรือ ไดอะตอม แม้ว่าซิลิกาแบบผลึกและซิลิกาแบบอสัณฐานจะมีสูตรเคมีเหมือนกัน แต่ก็มีคุณสมบัติบางประการแตกต่างกันไป เช่น ความหนาแน่น ความแข็ง ความพรุน และความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมี ความแตกต่างดังกล่าวมีสาเหตุเนื่องจากซิลิกาทั้งสองรูปแบบมีลักษณะโครงสร้างและพื้นที่ผิวจำเพาะแตกต่างกัน ซิลิกาอสัณฐานที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าซิลิกาในรูปแบบผลึกมาก และมีพื้นที่ผิวจำเพาะจึงถูกใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรง สารเติมแต่ง สารดูดซับ และเป็นสารดูดความชื้น (พัชรินทร์ วรธนกุล, 2553) โดยสารสกัดซิลิกาที่ได้จากใบไผ่ มีคุณสมบัติในการดูดความชื้น จึงนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ลดความชื้นที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ความชื้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการเจริญเติบโตของเชื้อรา ซึ่งเมื่อเชื้อราเหล่านี้มีการเจริญเติบโตมากขึ้นก็อาจทำให้เกิดโรคในมนุษย์หรือทำให้สิ่งของเสียหายได้ ถ้าหากได้รับการสัมผัสกับสปอร์ของเชื้อราที่มีจำนวนมากในระยะเวลานาน (ดารณี จารีมิตร, 2549)

ดังนั้นการสกัดซิลิกาจากใบไผ่ซึ่งเป็นวัสดุทางธรรมชาติ จึงสามารถนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ลดความชื้นที่จะเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มนุษย์ สังคม และไม่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมตามมาในภายหลัง เพราะใบไผ่ที่ใช้ในการวิจัยนั้นหาได้ง่าย สามารถย่อยสลายเองตามธรรมชาติและยังเป็นการลดต้นทุนให้การผลิตหรือหาซื้อวัตถุดิบ เมื่อเทียบกับซิลิกาที่สังเคราะห์ในปัจจุบัน ซิลิกาที่สกัดจากใบไผ่มีราคาถูก ปลอดภัย สารลดความชื้นที่ได้ก็ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการกำจัดกลิ่นเหม็นอับ สามารถรักษาสภาพสินค้าต่างๆ ให้คงสภาพเดิม รวมถึงป้องกันความเสียหายจากปัญหาเรื่องความชื้นได้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาวิธีการที่เหมาะสมของการสกัดซิลิกาจากใบไผ่

1.2.2 ศึกษาคุณสมบัติของซิลิกาที่สกัดจากใบไผ่

1.2.3 ศึกษาประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ลดความชื้นที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วยสารสกัดซิลิกาจากใบไผ่

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 วัสดุในการวิจัย คือ ใบไผ่แบบแห้ง พันธุ์ไผ่ซาง จากตำบลสวนดอกไม้ อำเภอเสาไห้ จังหวัดสระบุรี

1.3.2 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้

1) เตาเผา

2) เครื่อง X-ray Fiourescence Spectroscopy (XRF)

3) กรดไฮโดรคลอริก

4) กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ

1.3.3 สถานที่ทำการวิจัย

1) ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

2) ห้องปฏิบัติการเคมี สาขาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้กระบวนการในการสกัดซิลิกาจากใบไผ่ที่มีความเหมาะสม

1.4.2 ได้ซิลิกาที่มีคุณสมบัติในการทำเป็นผลิตภัณฑ์ลดความชื้น

1.4.3 ได้ผลิตภัณฑ์ลดความชื้นที่มีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วยการใช้สารสกัดซิลิกาจากใบไผ่

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.5.1 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร คือ สิ่งที่เหลือจากการทำการเกษตรและไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ให้เกิดมูลค่าได้ โดยใบไผ่ที่ใช้ในการทำวิจัยเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอย่างหนึ่ง

1.5.2 ผลิตภัณฑ์ลดความชื้น คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดซิลิกาจากใบไผ่แล้วนำไปใช้ลดความชื้น

1.5.3 ซิลิกา คือ สารที่สกัดจากใบไผ่ที่ต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์ จากนั้นผ่านกระบวนการบดเถ้าจนได้ซิลิกา

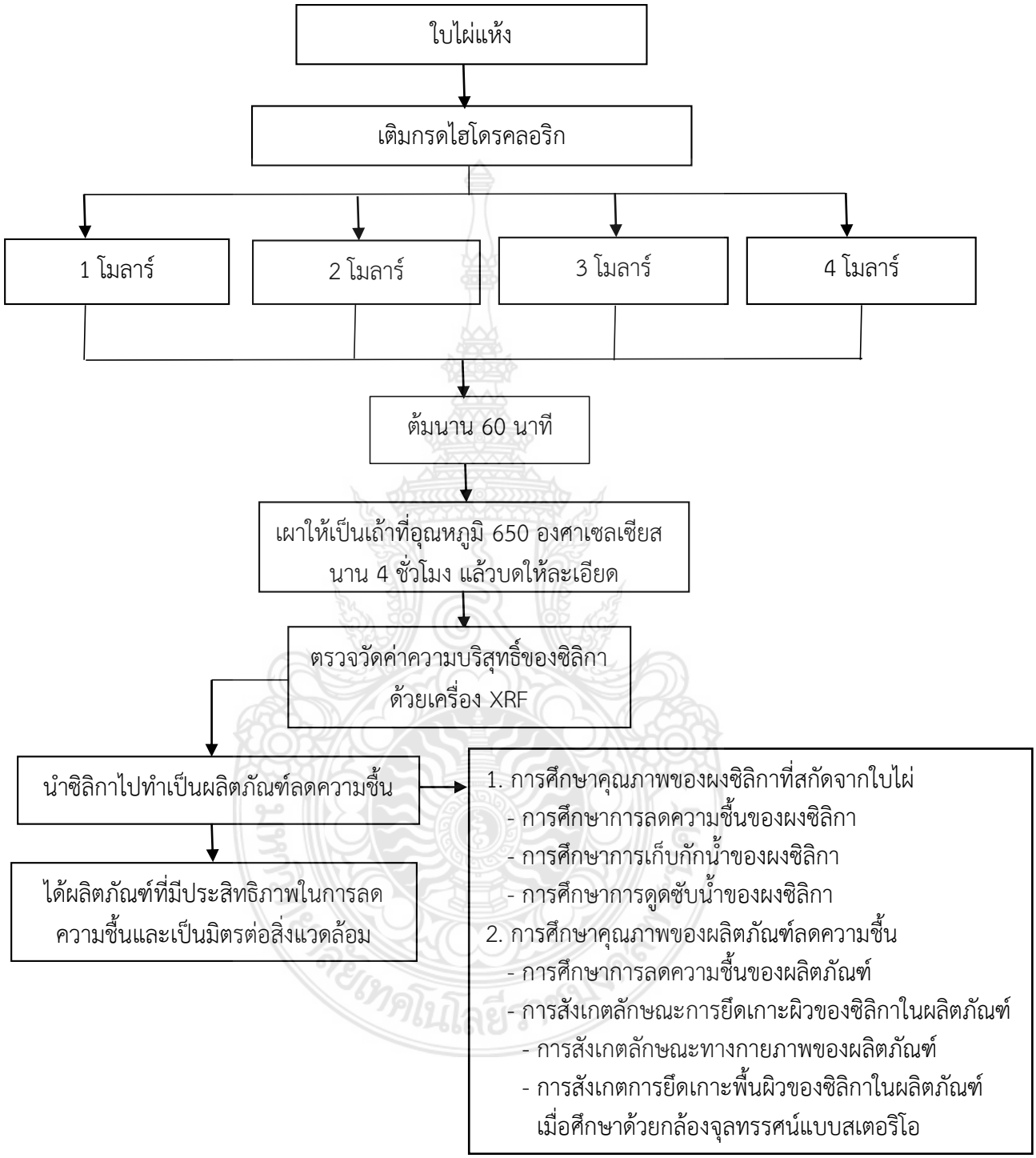
1.5.4 การดูดซับ คือ กระบวนการที่เกี่ยวกับการสะสมตัวของสารในบริเวณพื้นผิว

1.6 คำสำคัญ

ภาษาไทย : ซิลิกา ใบไผ่ ผลิตภัณฑ์ลดความชื้น การดูดซับน้ำ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

English : Biosilica, Bamboo leave, Dehumidifying Product, Water adsorption, Eco-friendly

1.7 กรอบแนวความคิด



ภาพ 1.1 กระบวนการทำผลิตภัณฑ์ลดความชื้นที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
ด้วยการใช้สารสกัดซิลิกาจากใบไผ่

1.8 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการและแผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

ตาราง 1.1 แสดงระยะเวลาดำเนินโครงการและแผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

แผนการดำเนินงาน	2561			2562	
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←	→			
2. ศึกษากระบวนการและวิธีการสกัดซิลิกาจากใบไผ่	←	→			
3. นำความชื้นออกจากใบไผ่ด้วยการนำไปตากแดด		←	→		
4. นำใบไผ่ไปต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้นต่างกัน		←	→		
5. นำใบไผ่ไปเผาให้เป็นเถ้า		←	→		
6. วิเคราะห์สมบัติและองค์ประกอบของซิลิกา			←	→	
7. นำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ลดความชื้น				←	→
8. ทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์				←	→
9. สรุปผลการทดลอง				←	→
10. จัดทำเล่มรายงานฉบับสมบูรณ์				←	→
11. นำเสนอและเผยแพร่ผลงาน					← →

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษางานวิจัยเรื่องผลิตภัณฑ์ลดความชื้นที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยสารสกัดซิลิกาจากใบไผ่ ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการพิจารณาและอ้างอิง ดังนั้นเพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจในด้านต่างๆ ในเนื้อหาของงานวิจัยเล่มนี้จึงได้มีการกำหนดหัวข้อหลักๆ ไว้ดังนี้

2.1 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร
2.2 ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
2.3 ไผ่
2.4 ซิลิกา
2.5 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาซิลิกา
2.6 ความชื้น
2.7 สารลดความชื้น
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในประเทศไทยมีอยู่กระจัดกระจายทั่วประเทศ ปริมาณวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตทางการเกษตร และผลผลิตส่วนหนึ่งถูกส่งออกไปยังต่างประเทศ อย่างไรก็ตามการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเหล่านี้ จะมีวัสดุเหลือทิ้งออกมาจำนวนหนึ่งด้วย กล่าวคือประเทศไทยมีปริมาณวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในภูมิภาคเป็นจำนวนมากแต่มีการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ค่อนข้างต่ำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่เป็นแหล่งผลิตและส่งออกสินค้าทางการเกษตรที่สำคัญแหล่งหนึ่งของโลก โดยกลุ่มธุรกิจด้านเกษตรกรรมจัดอยู่ในกลุ่มวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมที่มีการเจริญเติบโตสูงในระดับประเทศ (SME High Growth Sectors) หากแต่วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรยังไม่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากนัก อีกทั้งยังมีการจัดการด้วยการเผาในที่โล่ง (Open Burning) ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลสารสู่ชั้นบรรยากาศ โดยในปี พ.ศ. 2552 ประเทศไทยมีปริมาณวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมากถึง 5.95 ล้านตัน (กรมพัฒนาพลังงาน

ทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558) ดังนั้น การนำวัสดุเหลือทิ้งมาพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่านับเป็นวิธีการจัดการวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีอยู่อย่างเกิดประโยชน์สูงสุด

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในประเทศไทยมีอยู่กระจัดกระจายทั่วประเทศ ปริมาณวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตทางการเกษตรของประเทศ แต่วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรบางประเภทยังไม่มีการนำไปใช้ เช่น ยอดและใบอ้อย ฟางข้าว เหง้ามันสำปะหลัง ทะลายปาล์มเปล่า ทางใบและก้านปาล์มใบไผ่ เป็นต้น ซึ่งมีศักยภาพมากสามารถนำมาใช้ในการผลิตพลังงานได้เช่นกัน กล่าวคือประเทศมีปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในภูมิภาคเป็นจำนวนมากแต่มีการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ด้านพลังงานค่อนข้างต่ำ แต่สิ่งหนึ่งที่สำคัญคือวัสดุเหล่านี้เป็นแหล่งพลังงานที่ใช้ไม่หมดและเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมน้อย

จากที่ประเทศเราเป็นประเทศเกษตรกรรม เป็นแหล่งกำเนิดผลผลิตเกษตรกรรม ทำให้มีของเสียเหลือใช้จากภาคเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรแปรรูปเป็นจำนวนมากในอดีตวัสดุเหลือใช้ ไม่ว่าจะเป็นตอซังข้าว ใบไผ่ ส่วนใหญ่มักถูกไถกลบบนพื้นที่ที่จะทำการเพาะปลูก ซึ่งถือเป็นการหมุนเวียนเอาของเสียที่เกิดขึ้นนำมาใช้ประโยชน์ แต่ปัจจุบันมีการเร่งผลผลิตให้ได้ปริมาณมากขึ้นให้เพียงพอกับความต้องการของผู้บริโภค จึงมีการนำปุ๋ยเคมีมาใช้แทนการฝังกลบ ทำให้เกิดของเสียจากการเกษตรเพิ่มขึ้น แต่การกำจัดทิ้งยังมีวิธีการที่ผิด คือวิธีการเผา ซึ่งทำให้เกิดควันและฝุ่นละอองเป็นจำนวนมาก ก่อเกิดเป็นมลภาวะทางอากาศ อีกทั้งกากอุตสาหกรรมที่มีการกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบในปีหนึ่งมีปริมาณกว่าล้านตัน แต่ของเสียเหล่านั้นมีศักยภาพสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีก เป็นการสูญเสียทรัพยากรอย่างน่าเสียดาย

วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร คือ สิ่งที่ได้จากสิ่งมีชีวิตที่เหลือใช้ทั้งจากภาคเกษตรกรรม หรือกากที่เหลือจากกระบวนการการผลิตจากอุตสาหกรรมเกษตรแปรรูป โดยสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานได้ เช่น แกลบ ชานอ้อย กาบมะพร้าว ซังข้าวโพด ตอซังข้าว เศษไม้ รวมทั้งเศษขยะจากครัวเรือน ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมทำให้มีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก ซึ่งนิยมกำจัดวัสดุเหล่านี้โดยการเผา หรือการฝัง ซึ่งเป็นการกำจัดที่ไม่ถูกวิธี ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและต่อชุมชนเอง วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรซึ่งมีอยู่ทั่วประเทศนั้นเป็นแหล่งเชื้อเพลิงราคาถูก หากมีการนำมาเป็นเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้า โดยมีกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพจะไม่ก่อให้เกิดมลพิษ เป็นการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้กันอยู่ซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป อีกทั้งส่วนใหญ่นำเข้าจากต่างประเทศ ส่งผลให้มีราคาที่สูงขึ้นตามไปด้วย

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในปริมาณที่สูงเมื่อเทียบกับหลายประเทศ การแปรรูปพืชผลทางการเกษตรส่วนใหญ่จะเน้นการผลิตเพื่อป้อนเข้าสู่โรงงาน เช่น ปาล์มน้ำมัน ข้าวโพด ลำไย ลิ้นจี่ และอ้อย เป็นต้น เมื่อมีการผลิตในปริมาณสูงจึงส่งผลให้ราคาผลผลิตตกต่ำลง ส่งผลให้รายได้ของเกษตรกรไม่เพียงพอต่อการจัดการกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

อย่างถูกวิธีในแปลงของตนเอง การเผาทำลายจึงเป็นวิธีการที่ง่ายที่สุดในการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งของเกษตรกร (ณัฐวุฒิ ดุษฎี และคณะ, 2560)

2.1.1 ผลกระทบของการกำจัดวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรที่ผิดวิธี

1) ทำให้โครงสร้างดินเปลี่ยนแปลงไป เนื้อดินจับตัวกันแน่นและแข็ง ส่งผลทำให้รากพืชแคระแกร็น และความสามารถในการหาอาหารของรากพืชลดลง

2) สูญเสียอินทรียวัตถุ และธาตุอาหารในดิน

3) ทำลายจุลินทรีย์และแมลงที่เป็นประโยชน์ในดิน

4) สูญเสียน้ำในดิน การเผาตอซังพืชทำให้ผิวดินมีอุณหภูมิสูงถึง 90 องศาเซลเซียส น้ำในดินจะระเหยสู่บรรยากาศอย่างรวดเร็ว ทำให้ความชื้นในดินลดลง

5) ทำให้เกิดฝุ่นละออง เถ้า เขม่า และก๊าซหลายชนิดที่ก่อให้เกิดมลพิษ และเป็นอันตรายต่อสุขภาพโดยเฉพาะระบบทางเดินหายใจ และเกิดอุบัติเหตุบนท้องถนน (นิธิ เอียงศรีวงศ์, 2536)

2.2. วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ผลิตภัณฑ์หรือสินค้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม คือ สินค้าที่ผลิตจากกระบวนการและเทคโนโลยีที่ใส่ใจกับผลกระทบที่จะเกิดกับสิ่งแวดล้อม โดยเริ่มต้นตั้งแต่การคัดเลือกวัตถุดิบในการผลิตจนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์เป็นสินค้าหรือผลิตภัณฑ์รอการบรรจุลงในหีบห่อและบรรจุภัณฑ์สำหรับเตรียมการขนส่งและจัดจำหน่ายให้กับผู้บริโภคต่อไป รวมถึงการจัดการซากผลิตภัณฑ์นั้นๆ อย่างถูกวิธี (วิทยา อินทร์สอน และคณะ, 2558)

ผลิตภัณฑ์หรือสิ่งของเครื่องใช้มากมายหลายชนิดทำให้มนุษย์มีชีวิตที่สะดวกสบายมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีก็มีผลกระทบต่อมนุษย์หลายด้าน เช่น ทำให้เกิดมลภาวะ ทำลายสภาพแวดล้อม ปัญหาสังคม ความยากจน อาชญากรรม ปัญหาเศรษฐกิจ ซึ่งปัญหาเหล่านี้จะต้องแก้ไขโดยการมีจิตสำนึกของมนุษย์ทุกคนในการเลือกใช้สิ่งของเครื่องใช้อย่างสร้างสรรค์ เลือกสิ่งของเครื่องใช้ที่เป็นมิตรกับชีวิต สังคม และสิ่งแวดล้อม มนุษย์สามารถจะเปลี่ยนความคิด ลดความเห็นแก่ตัว การใช้สิ่งของที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมทำให้เกิดโทษมากกว่าประโยชน์ ซึ่งการแก้ปัญหานอกจากจะใช้กระบวนการเทคโนโลยีโดยการหาวิธีใหม่ๆ แล้วมนุษย์ทุกคนจะต้องมีจิตสำนึกในการอนุรักษ์พลังงาน รวมถึงมีจิตสาธารณะคำนึงถึงประโยชน์ของส่วนรวมมากกว่าประโยชน์ส่วนตัวใช้สิ่งของเลือกใช้อย่างสร้างสรรค์ รู้คุณค่าและไม่เกิดโทษต่อคนอื่นๆ รวมถึงสังคม และไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ เป็นต้น

2.2.1 การเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

สิ่งของเครื่องใช้ที่เป็นมิตรกับชีวิต สังคม และสิ่งแวดล้อม หมายถึง สิ่งของเครื่องใช้ที่ผลิตจากกระบวนการทางเทคโนโลยีที่ใส่ใจกับผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อม โดยเริ่มตั้งแต่กระบวนการออกแบบจนกระทั่งกระบวนการผลิต ได้แก่

1) วิธีการผลิตโดยการใช้วัสดุที่สิ้นเปลืองให้น้อยที่สุด

2) วิธีการผลิตโดยใช้วัสดุต่างๆ ที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้อื่น เช่น ลดการใช้ถุงพลาสติก โฟม ยาง เป็นต้น หรือหลีกเลี่ยงวัสดุที่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

3) ก่อนการผลิตจะต้องศึกษาว่าผู้ใช้งานหรือผู้บริโภคจะนำไปใช้ในสถานการณ์ใด เพื่อจะนำไปเป็นข้อมูลในการผลิต

4) การออกแบบการผลิตจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัย และคำนึงถึงผลเสียที่จะกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด

ปัจจุบันการเพิ่มขึ้นของประชากร การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ และการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและก่อให้เกิดมลพิษมากมาย เช่น ก่อให้เกิดน้ำเสีย อากาศเป็นพิษ ปัญหาขยะล้นเมือง วิธีหนึ่งที่จะสามารถช่วยแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ก็คือการส่งเสริมให้ผู้ผลิตเปลี่ยนมาผลิตสินค้าและบริการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้กระบวนการทางเทคโนโลยีเป็นเครื่องมือในการจัดการทรัพยากรและกระบวนการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ ลดการปล่อยสารเคมี ประหยัดพลังงาน การเลือกใช้หีบห่อและบรรจุภัณฑ์รวมถึงการให้ความสำคัญในการรับคืนซากของผลิตภัณฑ์หลังใช้เพื่อนำไปกำจัดอย่างถูกวิธี ระบบการออกแบบสินค้า การผลิต การขนถ่าย ในปัจจุบันเน้นการใช้เทคโนโลยีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นผลมาจากที่สภาพแวดล้อมหรือระบบนิเวศถูกทำลายไปอย่างมาก เนื่องจากมนุษย์มีการใช้เทคโนโลยีในกระบวนการผลิตและการขนส่งสินค้านั่นเอง จากปัญหาดังกล่าวทำให้หันมาใส่ใจในสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนในอนาคต (ธนวิทย์ เรืองนาราบ, 2558)

2.3 ไผ่

ไผ่เป็นไม้พุ่มมีหลายชนิดและหลายสกุลอยู่ในวงศ์หญ้า Poaceae และมีวงศ์ย่อย คือ Bambusoideae เป็นไม้ไม่ผลัดใบ ขึ้นเป็นกอ ลำต้นเป็นปล้องๆ มีหลายสายพันธุ์ ไผ่ทั่วโลกมีอยู่ประมาณ 90 สกุล และ 1,000 ชนิด ที่รู้จักกันแพร่หลาย ไผ่เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (Monocotyledon) (Bamboo Phylogeny Group, 2012)

ไผ่มีข้อแตกต่างหลายประการ เช่น การมีระบบเหง้าที่ชัดเจน ใบที่ค่อนข้างกว้างและมีก้านใบเทียม (Pseudopetiole) มีระบบการเจริญเป็นกิ่งที่ซับซ้อนและแข็งแรง ลักษณะช่อดอกและส่วนประกอบต่างๆ ของดอกที่ซับซ้อน รวมทั้งลักษณะที่คล้ายกับการมีเนื้อไม้ (Woody Bamboo) ซึ่งส่งผลให้ไผ่ส่วนมากมีลำต้นสูงใหญ่และมีอายุยืนนานหลายปี (Bamboo phylogeny group, 2012)

2.3.1 ชนิดของไผ่ที่นำมาใช้สกัดซิลิกา

ไผ่ซาง (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Dendrocalamus strictus*) (Limaye, 1952) ชื่อพื้นเมือง ไม้ซาง, ครั่งเปร้า, ลำซาง, เพ้าเบี่ยง ไผ่ซางเป็นไผ่ในเชิงเศรษฐกิจ พบมากในป่าทางภาคเหนือของไทย หน่อรับประทานได้ โดยหน่อใต้ดินจะมีรสหวาน แต่ถ้าถูกอากาศหรือเก็บไว้ข้ามวันจะมีรสขม นิยมนำไปต้มแล้วจิ้มน้ำพริก หรือทำยำหน่อไม้ ส่วนลำใช้เป็นไม้ค้างก่อสร้าง ทำเครื่องเรือน ทำตะเกียบ ไม้เสียบอาหาร ปัจจุบันมีการปลูกเชิงพาณิชย์เพื่อตัดส่งขายต่างประเทศเพื่อใช้ทำบ้านไม้ไผ่ ส่วนเศษซากจากการแปรรูป เช่น ข้อไม้จะนำไปเผาถ่านหรือทำชีวมวลให้โรงไฟฟ้า และทำกระดาษ เป็นต้น (สุทัศน์ เล้าสกุล และ ณัฏฐากร เสมสันทัด, 2545)

ภาพ 2.1 ไผ่ซาง

ที่มา: สุทัศน์ และ ณัฏฐากร (2545)

2.3.2 อนุกรมวิธาน

Kingdom : Plantae

Order : Poales

Family : Poaceae

Genus : *Dendrocalamus*

Species : *D. strictus*

2.3.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

1) ลำต้น

เป็นไม้ผลัดใบ ความสูงตั้งแต่ 6-18 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 3-9 เซนติเมตร ต้นอ่อนลำต้นจะมีสีเขียวนวล ต้นแก่จะมีสีเขียวด้านหรือเขียวอมเหลือง ข้อจะพองเล็กน้อย ปล้องยาวประมาณ 15-50 เซนติเมตร ลำปล้องมีเนื้อหนาหรือแข็ง ลำต้นตรงโคนมักจะมีปล้องหนาเกือบตัน

2) ใบ

ใบรูป Linear หรือ Linear-Lanceolate ปลายใบเรียวแหลม โคนใบเป็นรูปมุมป้านหรือคล้ายๆ กัน ขนาดใบยาว 12-30 เซนติเมตร กว้าง 1.0-2.5 เซนติเมตร ลักษณะใบ ท้องใบมีขนอ่อนแน่น เส้นลายใบ 2-6 เส้น เส้นลายใบย่อย 5-7 เส้น ขอบใบสากคม ก้านใบแบนยาว 0.2-0.5 เซนติเมตร ครีบใบไม่ค่อยเห็น กระจังใบโค้งเข้า ปลายรูปมนหรือกลมมีหยัก กาบใบข้างนอกไม่มีขน

3) ดอก

ช่อดอกยาวประมาณ 1 เซนติเมตร ดอกย่อยสมบูรณ์ 2-3 ดอก เกสรตัวผู้ 6 อัน และตัวเมีย 1 อัน

4) กาบหุ้มลำ

กาบหุ้มลำในปล้องต่ำๆ จะสั้นประมาณ 8-30 เซนติเมตร ข้างนอกกาบจะมีขนแข็งสีน้ำตาล ในพื้นที่ที่แห้งแล้งอาจจะไม่มีขน ขณะที่ต้นยังอ่อนกาบหุ้มลำจะมีสีเขียวอมเหลือง ครีบกาบเล็กหรือไม่มี กระจังกาบแคบหยัก ใบยอดกาบเป็นรูปสามเหลี่ยมแคบ

5) หน่อ

หน่ออ่อน ค่อนข้างยาว แตกหน่อจำนวนมาก เปลือกหุ้มหน่ออ่อนเป็นสีแดงอมม่วง มีขนทั่วมองเห็นชัดเจน เนื้อหน่อรับประทานได้ ขยายพันธุ์ด้วยหน่อ หรือ กระจุกแขนงที่แตกจากลำต้น (สุทัศน์ เล้าสกุล และ ณัฏฐากร เสมสันทัด, 2545)

2.3.4 คุณลักษณะพิเศษของไผ่

1) ไผ่โตเร็วสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ภายในเวลา 1-4 ปี และใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วนตั้งแต่ราก ไผ่เป็นสมุนไพรอย่างหนึ่งที่ใช้เป็นยารักษาโรคได้ หน่อไผ่หรือหน่อไม้ใช้ทำอาหาร กาบหรือใบไผ่ใช้ห่ออาหารหรือหมักปุ๋ย กิ่งและแขนงใช้ทำรั้ว ลำต้นใช้ประโยชน์ได้สารพัดอย่าง ตั้งแต่นำมาใช้ปลูกสร้างที่พักอาศัยและแปรรูปเป็นเครื่องจักสานและเครื่องมือเครื่องใช้นานาชนิดจนถึงนำมาใช้เกี่ยวกับความเชื่อและพิธีกรรมต่างๆ ตั้งแต่เกิดจนตาย ดังนั้นชาวนาจึงมักปลูกไผ่ตามหัวไร่ปลายนาและปลูกไว้รอบๆ บ้าน เพื่อใช้เป็นรั้วบ้านและป้องกันพายุ เพราะไม้ไผ่จะลู่ตามลมไม่หักโค่นเหมือนไม้อื่น หากปลูกไผ่ไว้ตามริมแม่น้ำลำคลอง จะช่วยชะลอความเร็วของกระแสน้ำไม่ให้ดินพังทลายง่าย นอกจากนี้ไผ่ยังใช้เป็นอาหารในครัวเรือนได้ด้วย

2) ไผ่มีลำต้นตรงและกลวงคล้ายหลอดและมีปล้องข้อคั่นเป็นปล้องๆ จึงใช้เป็นภาชนะประเภทกระบอก ถ้วย สำหรับใส่ของเหลว เช่น ใช้เป็นกระบอกน้ำ กระบอกน้ำตาล ซึ่งใช้กันทั่วไปในหลายประเทศ ลักษณะพิเศษของไม้ไผ่นี้สามารถนำมาใช้สร้างอาคารที่พักอาศัยได้ โดยนำมาทำเป็นโครงสร้างของบ้านเรือน ใช้เป็นพื้นเรือน ฝาเรือน ใช้ทำรางน้ำ ท่อน้ำ และทำเครื่องดนตรีประเภทขลุ่ยได้ดีอีกด้วย

3) เนื้อไผ่เป็นเส้นตรงมีความยืดหยุ่นในตัวเองและสามารถคืนตัวสู่สภาพเดิมได้ เมื่อนำไม้ไผ่มาแปรรูปก็จะสามารถใช้ประโยชน์ได้ดี เพราะเนื้อไม้ไผ่เป็นเส้นตรง นำมาจักเป็นปื้นบางๆ หรือเหลาเป็นเส้นได้ดี จึงใช้ทำเครื่องจักสานนานาชนิดได้ ทั้งเครื่องจักสานที่มีขนาดใหญ่ แข็งแรงมั่นคงสำหรับใช้งานหนักจนถึงเครื่องจักสานขนาดเล็กที่มีความประณีตบอบบาง และเพราะคุณสมบัติที่มีความยืดหยุ่น จึงเหมาะที่จะใช้เป็นเครื่องหาบหรือหาม เช่น คาน คันกระสุน คันธนู และเมื่อแปรรูปเป็นตอกก็ยังมีความยืดหยุ่นคืนรูปทรงเดิมได้ง่าย จึงทำให้ภาชนะจักสานที่ทำจากไผ่มีคุณลักษณะพิเศษต่างไปจากภาชนะที่ทำจากวัตถุดิบชนิดอื่น

4) ไม้ไผ่มีความสวยงามในตัวเอง ไม่ว่าจะเป็นผิวที่มีสีต่างๆ กันเมื่อแห้งแล้วมักจะมีสีเหลืองอยู่เช่นนั้นตลอดไป ด้วยคุณสมบัติพิเศษนี้ ชาวเอเชียจึงใช้เหล็กหรือโลหะเผาไฟจนร้อนแล้วเขียนตัวอักษรหรือลวดลายลงบนผิวไม้ไผ่ (Bamboo Pyrographic) เช่น จีนจารึกบทกวีบนผิวไม้ไผ่ ชาวญี่ปุ่นใช้เขียนชื่อเจ้าของบ้านแขวนไว้หน้าบ้านและจารึกบทกวีแขวนไว้สองข้างประตูเรือนน้ำชา (Tea House) ชาวเกาหลีใช้เขียนเป็นลวดลายบนเครื่องใช้ เช่นเดียวกับที่ชาวบาตัก (Batak) ในประเทศอินโดนีเซีย ใช้เหล็กเผาไฟ ขูด ขีด เขียน ลงบนกระบอกไม้ไผ่ สำหรับเก็บยาหรือทำเป็น

ปฏิทิน ในขณะที่ชาวบาหลีใช้จารลงบนผิวไผ่เป็นแผ่นๆ เพื่อใช้เป็นคัมภีร์ในศาสนาตน นอกจากไม้ไผ่จะมีผิวสวยแล้ว เนื้อไผ่ยังมีลักษณะพิเศษต่างจากเนื้อไม้อื่นคือ มีเสี้ยนยาวขนานกันเป็นเส้น (สุทัศน์ เล้าสกุล และ ณัฏฐากร เสมสันทัด, 2545)

2.3.5 ปัญหาของใบไผ่

ปัญหาที่มักพบกับใบไผ่ คือ มักเกิดปัญหาใบร่วง ส่วนมากจะพบตอนหน้าแล้ง สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะการได้รับน้ำน้อยไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้ประโยชน์ของต้นไผ่และทำให้ต้นไผ่ยืนต้นตายในที่สุด (แก้ปัญหาใบไผ่ร่วง, ม.ป.ป.) ใบไผ่มีปริมาณเหลือทิ้งมากทางการเกษตร เพราะส่วนมากเกษตรกรจะนำส่วนอื่นๆ ของไผ่มาใช้ประโยชน์ ยกเว้นใบก็จะปล่อยให้ร่วงไปตามธรรมชาติให้กลายเป็นปุ๋ย แต่ถึงอย่างนั้นก็ยังมีส่วนที่ย่อยสลายไปเองตามธรรมชาติได้ไม่หมดจึงเกิดเป็นขยะอยู่จำนวนมาก

2.4 ซิลิกา

ภาพ 2.2 โครงสร้างของซิลิกา

ที่มา: ซิลิกา (2552)

2.4.1 คุณสมบัติของซิลิกา

ชื่อทั่วไป : Silica (ภาพ 2.2) สูตรโมเลกุล SiO_2 : น้ำหนักโมเลกุล 60.1 สถานะเป็นของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่น ความถ่วงจำเพาะ 2.2-2.6 จุดเดือดมากกว่า 2,200 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 1,713 องศาเซลเซียส การละลายจะไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อย และไม่ละลายในกรดทุกชนิด ยกเว้นกรดไฮโดรฟลูออริก ตัวซิลิกาไม่ลุกติดไฟ

2.4.2 รูปแบบซิลิกา

ซิลิกาโดยทั่วไปมีอยู่ด้วยกัน 2 รูปแบบ คือ

1) ซิลิกาผลึก (Crystalline Silica) เป็นซิลิกาที่พบในรูปแบบสินแร่ มีการจัดเรียงอะตอมของโครงสร้างอย่างมีระเบียบและต่อเนื่อง มีรูปร่างเป็นระบบผลึกที่แน่นอนภายใต้ความดันปกติ มี 3 รูปแบบ

1.1) ควอร์ตซ์ (Quartz) เป็นรูปที่พบมากที่สุด อุณหภูมิเสถียรน้อยกว่า 870 องศาเซลเซียส

1.2) ไทรดิไมท์ (Tridymite) อุณหภูมิเสถียรที่ 870-1,470 องศาเซลเซียส

1.3) คริสโตบาไลท์ (Cristobalite) อุณหภูมิเสถียรที่ 1,470 องศาเซลเซียส และหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 1,713 องศาเซลเซียส

ผลึกทั้งสามรูปนี้ สามารถจะเปลี่ยนไปมาระหว่างกันได้โดยการให้ความร้อนหรือลดอุณหภูมิ ซึ่งการเปลี่ยนแปลง (Inversion) นี้มี 2 รูปแบบ คือ แบบที่หนึ่งจะมีการจัดเรียงอะตอมภายในโครงสร้างใหม่ ส่วนแบบที่สองเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบรวดเร็ว พันธะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่สามารถกลับคืนสภาพเดิมได้เร็ว (ซิลิกา, 2552)

2) ซิลิกาอสัณฐาน (Amorphous Silica) เป็นซิลิกาที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต (Biogenic Silica) และสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ มีลักษณะเป็นของแข็ง มีรูปไม่แน่นอน ไม่เป็นผลึก มีการจัดเรียงอะตอมภายในโครงสร้างไม่เป็นระเบียบ อาจอยู่ในรูปของไฮเดรต (Hydrate) หรือ แอนไฮเดรต (Anhydrate) มีพันธะหลายรูปแบบ

การสังเคราะห์จะสามารถสังเคราะห์ได้จากการให้ความร้อนจนมีสภาวะเป็นไอและการตกตะกอนสารละลาย แบ่งเป็น 3 ประเภท ตามลักษณะผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้ ได้แก่

2.1) วิเทรียสซิลิกา (Vitreous Silica) หรือ ซิลิกาแก้ว (Silica Glass) เป็นของแข็งไม่มีรูพรุน ผลิตได้จากการหลอมเหลวผลึกซิลิกาอสัณฐานแล้วปล่อยให้เย็นตัว

2.2) ซิลิกาเจล (Silica Gel) มีลักษณะแข็ง มีรูพรุนสูง มีโครงสร้างรูพรุนแบบเปิดและมีพื้นที่ผิวสูง

2.3) ซิลิกาผง (Powder Silica) เป็นซิลิกาที่เตรียมได้จากสภาวะกลายเป็นไอและการตกตะกอนของสารละลายที่มีลักษณะการฟุ้งกระจายของอนุภาคสูงเมื่อตกตะกอนจะได้ซิลิกาที่มีขนาดเล็กมาก และมีพื้นที่ผิวสูง (ซิลิกา, 2552)

2.4.3 ประโยชน์ของซิลิกา

ประโยชน์ของซิลิกา มีดังนี้

1) ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับเป็นส่วนผสมในวัสดุก่อสร้าง

2) ใช้เป็นองค์ประกอบตัวเร่งปฏิกิริยา

3) ใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรง และความหนาแน่นในผลิตภัณฑ์ยาง พลาสติก และโพลีเมอร์ เป็นต้น

4) ใช้เป็นสารเพิ่มแรงยึดติดในผลิตภัณฑ์กาว

5) ใช้เป็นสารลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างของแข็งที่แขวนลอยในของเหลว

6) ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืดในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น จารบี หมึกพิมพ์ สี ยา และเครื่องสำอาง เป็นต้น

7) ใช้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ทำให้สารที่ไม่ละลายกันผสมเข้ากันได้ดี เช่น น้ำกับน้ำมัน

8) ใช้เป็นสารป้องกันการเกิดโฟม

9) ใช้เป็นสารปรับสภาพพื้นผิวให้มีคุณสมบัติชอบน้ำ

10) ใช้เป็นสารเพิ่มความเงา

11) ใช้เป็นสารลดความชื้น

12) ใช้เป็นสารเติมแต่ง (ซิลิกา, 2552)

2.4.4 ลักษณะทางเคมีของซิลิกา

ซิลิกามีสมบัติทางเคมีที่ค่อนข้างเสถียรที่อุณหภูมิปกติ และไม่ทำปฏิกิริยาต่อสารเคมีหลายชนิด แต่สามารถเปลี่ยนรูปแบบได้ โดยซิลิกาชนิดอสัณฐานจะไวต่อปฏิกิริยามากกว่าซิลิกาชนิดผลึกเพราะซิลิกาอสัณฐานมีพื้นผิวมากกว่า ส่วนสารละลายกรดจะไม่มีผลต่อซิลิกา ยกเว้นกรดไฮโดรฟลูออริก ทั้งนี้ซิลิกาในรูปแบบที่ต่างกันจะเกิดปฏิกิริยากับกรดไฮโดรฟลูออริกได้ต่างกันขึ้นกับความหนาแน่นเป็นหลัก โดยซิลิกาที่มีความหนาแน่นสูงจะเกิดปฏิกิริยาได้น้อยกว่าซิลิกาที่มีความหนาแน่นต่ำ (ซิลิกา, 2552)

2.4.5 ซิลิกาที่มีอยู่ในพืช

เนื่องด้วยซิลิกา (Sio_2) มีโครงสร้างหลักเป็นซิลิกอน(Si) และออกซิเจน (O) ซิลิกอนพบในพืชมีหลากหลายชนิดซึ่งสามารถจำเพาะออกได้ดังนี้

1) ความสำคัญของธาตุซิลิกอนในพืช

ซิลิกอน (Silicon: Si) เป็นธาตุอาหารที่มีอยู่ในดินตามธรรมชาติมีมากเป็นอันดับสองรองจากออกซิเจน ถึงแม้ว่าซิลิกอนไม่จัดเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช แต่มีผลการศึกษาและวิจัยความสำคัญของซิลิกอนในพืชจำนวนมาก โดยพืชสามารถสะสมซิลิกอนได้มากน้อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของพืช ความสามารถของรากพืชในการดูดซับซิลิกอนจากดิน และปริมาณซิลิกอนในดิน เป็นต้น โดยพบว่าพืชแต่ละชนิดจะสะสมซิลิกอนแตกต่างกันอยู่ในช่วงร้อยละ 0.1-1 ของน้ำหนักแห้ง (Ma et al, 2006) ตัวอย่างพืชที่ต้องการซิลิกอนมีดังนี้

1.1) ข้าว: ซิลิกอนทำให้ต้นข้าวมีระบบรากแข็งแรงสมบูรณ์ มีรากจำนวนมาก ต้นข้าวเจริญเติบโตดี แตกกอมาก ต้นไม่ล้ม ใบข้าวตั้งขึ้น สามารถรับแสงแดดได้อย่างทั่วถึง อากาศถ่ายเทดี ช่วยลดการเกิดโรคและลดการสะสมของแมลง ซิลิกอนช่วยให้ใบข้าวมีความเหนียวและแข็งแรง ต้นข้าวทนต่อการเข้าทำลายของแมลง อาการขาดซิลิกอนในข้าว ทำให้การเจริญเติบโตลดลง ข้าวที่ขาดซิลิกอนต้องการน้ำมากขึ้นความต้านทานต่อโรคราน้ำค้างลดลง

1.2) อ้อย: ผลิตภัณฑ์จากซิลิกอน สามารถปรับสภาพดินในแปลงปลูกอ้อยให้ร่วนซุย แก้ดินกรดและป้องกันการเป็นพิษของเหล็กและแมงกานีส ทำให้อ้อยมีรากยาวขึ้น มีปริมาณรากมาก มีหน่อมาก แตกกอมากขึ้น อ้อยเจริญเติบโตแข็งแรงใบตั้งชัน รับแสงแดดได้มาก จึงไปเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสง ลำเลียงน้ำตาลจากใบไปเก็บสะสมไว้ที่ลำต้นได้มากขึ้นมีความหวานมากขึ้น ผลผลิตเพิ่มอาจถึงร้อยละ 55

ซิลิกอนช่วยกระตุ้นให้ต้นอ้อยเพิ่มความสามารถในการป้องกันตัวต่อสภาพกดดัน หรือสภาพเค้นที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต ป้องกันโรคใบด่าง (Leaf Fleckle) ราสนิม (Sugarcane Rust) และไวรัสจุดวงแหวน (Sugarcane Ringspot) ปุ๋ยซิลิกอน ก่อให้เกิดผลบวกต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของดินได้มากกว่าการเติมวัสดุพวกปูน นอกจากนี้ซิลิกอนยังแก้ปัญหาอ้อยไม่กินปุ๋ย โตช้า ผลผลิตต่ำ ความหวานไม่ดี ให้กลับเป็นอ้อยที่มีคุณภาพสูง

1.3) มันสำปะหลัง ประโยชน์ของผลิตภัณฑ์จากซิลิกอนต่อการปลูกมันสำปะหลังอย่างหนึ่ง คือ ช่วยปรับสภาพดินให้ร่วนซุย โปร่งพรุน มันสำปะหลังจึงลงหัวได้สะดวก เก็บเกี่ยวได้ง่าย ช่วยดูดซับปุ๋ย ลดการถูกชะล้าง ปรับค่าความเป็น กรด-ด่าง ไม่ให้สูงเกินไป เพราะมันสำปะหลังไม่ทนต่อสภาพดินด่างทำให้รากงอกจากท่อนพันธุ์ได้ง่าย มีรากมาก ต้นมีระบบรากลึก แข็งแรงทนต่อความแห้งแล้งได้นานใบสังเคราะห์แสงได้ดี สร้างอาหารได้มาก ช่วยลำเลียงอาหารจากใบไปสะสมที่ราก

ได้มากขึ้น หัวมันมีขนาดใหญ่ขึ้น น้ำหนักเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์แป้งเพิ่มขึ้นซิลิกอนที่สะสมอยู่ในชั้นเซลล์ผิว ทำให้มีความแข็งแกร่งสามารถต้านทานต่อการเข้าทำลายของแมลง ไร และโรคได้ดีขึ้น

2) ปริมาณของซิลิกาที่สกัดได้จากพืช

ซิลิกาเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในพืชหลายชนิด เช่น ต้นอ่อนของทานตะวัน ข้าวชนิดต่างๆ และแกลบ เป็นต้น (ศรีเพ็ญศรีเพ็ญ ท้าวตา และคณะ, 2531) ชนิดพืชที่ให้ปริมาณซิลิกาสูงสุด คือ ข้าว หรือแกลบข้าวจะมีซิลิกาประมาณร้อยละ 93 โดยน้ำหนัก และพืชที่ให้ซิลิการองลงมา คือ ข้าวสาลี มีซิลิกาประมาณร้อยละ 91 โดยน้ำหนัก ไผ่ มีซิลิการ้อยละ 57 โดยน้ำหนัก และทานตะวันมีซิลิกาต่ำสุด ประมาณร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก (นิยม บุญถนอม และคณะ, 2533) ถึงแม้ว่าไผ่จะมีซิลิกาไม่มากเท่ากับแกลบ แต่ไผ่สามารถหาได้ง่าย การนำมาใช้สกัดซิลิกาทำให้ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อวัตถุดิบนั่นเอง

2.4.6 กรดที่ใช้การสกัดซิลิกาจากไผ่

กรดไฮโดรคลอริก หรือ กรดเกลือ (Hydrochloric Acid) ซึ่งเป็นสารประกอบเคมีประเภทกรดละลายในน้ำเป็นสารละลายของไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl) เป็นกรดแก่ เป็นส่วนประกอบหลักของกรดกระเพาะ (Gastric Acid) และใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมเป็นของเหลวที่มีพลังการกัดกร่อนสูง (Lewis, 1993)

กรดไฮโดรคลอริกมาใช้ในกระบวนการสกัดซิลิกา เนื่องจากกรดไฮโดรคลอริกได้นำไปย่อยสารประกอบอื่นๆ ในพืชได้ถูกนำออกไปได้ดีทำให้คงเหลือแต่ซิลิกาที่เป็นของแข็งที่ไม่สามารถละลายในกรดไฮโดรคลอริกได้

2.5 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาซิลิกา

2.5.1 เครื่อง X-ray Fluorescence (XRF)

ภาพ 2.3 เครื่อง X-ray Fluorescence (XRF)

ที่มา: เครื่อง X-ray Fluorescence (XRF) (2547)

X-ray Fluorescence (XRF) Spectroscopy เป็นเทคนิคที่นิยมใช้แพร่หลายในการวิเคราะห์ธาตุทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ ไม่ว่าจะเป็นงานด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การวิเคราะห์ธาตุที่มีความเป็นพิษที่อยู่ในอากาศ ด้านธรณีวิทยา เช่น การวิเคราะห์แร่ ดิน หิน โดยไม่ทำลายตัวอย่าง มีการเตรียมตัวอย่างเพียงเล็กน้อย และให้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็ว ด้านชีววิทยา ด้านการแพทย์ เช่น การวิเคราะห์สารที่อยู่ในเส้นผมและเล็บ ด้านอุตสาหกรรม เช่น ใช้ในการควบคุมกระบวนการและควบคุมคุณภาพ การตรวจวัดตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นพิษในน้ำมันดิบ และอื่นๆ อีกมากมาย โดยทั่วไปแล้วเครื่อง X-ray Spectrometer จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดรังสี (X-ray Tube) และเครื่องตรวจวัดรังสีเอ็กซ์จะเกิดขึ้นเมื่อ X-ray Tube เร่งอิเล็กตรอนให้มีศักย์สูงพุ่งเข้าชนกับเป้าโลหะแล้วให้รังสีเอ็กซ์ที่มีความเข้มสูงออกมา ทั้งนี้การเลือกชนิดของเป้าขึ้นกับตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ซึ่งโดยทั่วไปจะ ใช้ทังสเตน โรเดียม โมลิบดินัม หรือโครม ส่วนไอโซโทปกัมมันตรังสีที่นิยมใช้เป็นแหล่งกำเนิดรังสี ได้แก่ Fe-55, Co-57, Cd-109 และ Am-241 เครื่องตรวจวัดแบบสถานะของแข็ง (Solid-State) เหมาะสำหรับการตรวจวัดรังสีเอ็กซ์ที่ปลดปล่อยออกมาจากอะตอมของตัวอย่าง ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเป็น Si(Li) และ HPGe ซึ่งทำงานที่อุณหภูมิไนโตรเจนเหลว

1) คุณสมบัติทั่วไปของเครื่อง X-ray Fluorescence

เป็นเครื่องมือสำหรับใช้วิเคราะห์หาชนิดและปริมาณธาตุต่างๆ ในตัวอย่าง โดยสามารถหาชนิดและปริมาณธาตุได้ตั้งแต่ Sodium (Na) ไปจนถึง Uranium (U) ขึ้นอยู่กับชนิดของ Analyzer Crystal โดยใช้หลักการของ X-ray Fluorescence Spectroscopy ที่มีลักษณะการทำงานเป็นแบบ Wavelength Dispersive โดยมี Analyzer Crystal ทำหน้าที่กระจายหรือแยกรังสีเอ็กซ์เรย์ออกไปให้มีความยาวคลื่นต่างๆกัน ซึ่งจะถูกวัดความเข้มกำลังด้วยการสแกนของดีเทคเตอร์ (Detector) สัญญาณที่วัดได้จะถูกถ่ายทอดออกมาเป็นสเปกตรัมแล้วถูกประมวลผลออกมาทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ทั้งยังสามารถวัดตัวอย่างในรูปของแข็ง ของเหลว และตัวอย่างผง สามารถวัดตัวอย่างได้ต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 75 ตัวอย่าง โดยมีคอมพิวเตอร์เป็นหน่วยประมวลผลและควบคุมการทำงานของเครื่องเอ็กซ์เรย์

2) คุณลักษณะเฉพาะของเครื่อง X-ray Fluorescence

2.1) แหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงสูง (X-ray Generator)

ใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 1 กิโลวัตต์ (kW) สามารถปรับค่าความต่างศักย์ได้ตั้งแต่ 20-50 กิโลโวลต์ (kV) และปรับกระแสไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 10-50 มิลลิแอมแปร์ (mA) หรือมากกว่า

2.2) หลอดรังสีเอ็กซ์ (X-ray Tube)

เป็นหลอดรังสีเอ็กซ์แบบ End Window ขั้วหลอดอาโนด (Anode) ทำด้วยโลหะโรเดียม (Rhodium) ซึ่งมี Window ชนิดเบริลเลียม (Ultra thin Beryllium) มีความหนาไม่เกิน 75 ไมโครเมตร ทำให้เกิด High Transmittion ของรังสีเอ็กซ์ ทำให้วัดค่าต่างๆ ได้ดี มีอัตราการจ่ายไฟฟ้าสูงสุดได้ 1 กิโลวัตต์ (kW) หลอดรังสีเอ็กซ์ สามารถตั้งโปรแกรมการทำงานได้ตั้งแต่ 20-50 กิโลโวลต์ (kV), 10-50 มิลลิแอมแปร์ (mA), 1 กิโลวัตต์ (kW) หรือมากกว่า (ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ม.ป.ป.)

3) ระบบภายในของเครื่อง X-ray Fluorescence

3.1) มีระบบบรรยากาศในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ใช้ได้ทั้งระบบสุญญากาศ (Vacuum System) โดยจะมีปั๊มสุญญากาศ สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างของแข็ง และระบบแก๊สฮีเลียม (He Mode) สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างของเหลว

3.2) มีระบบ Vacuum Seal สำหรับแยกส่วนของการวิเคราะห์ตัวอย่าง (Sample Chamber) และส่วนของระบบ Optics (Spectrometer Chamber) เพื่อการวิเคราะห์ที่ปลอดภัย (Safe operation) และทำให้ระบบสุญญากาศในเครื่องเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว (Very Fast Sample Evacuation)

3.3) มีตัวกรองและกำจัดแสงที่ไม่ต้องการ (Primary Beam Filter) จำนวนอย่างน้อย 10 ชุด

3.4) สามารถใส่ Collimators ได้อย่างน้อย 4 Collimators และมี Collimators จำนวนอย่างน้อย 2 อัน เป็นชนิดละเอียดและหยาบ

3.5) มี Collimator Mask อย่างน้อยขนาด 8 และ 34 มิลลิเมตร

3.6) มีช่องใส่ผลึกวิเคราะห์ (Analyzer Crystal) ได้อย่างน้อย 8 อัน และมีผลึกวิเคราะห์ (Analyzer Crystal) จำนวนอย่างน้อย 3 อัน ประกอบด้วย

ผลึกสำหรับวิเคราะห์ธาตุออกซิเจน-แมกนีเซียม

ผลึกสำหรับวิเคราะห์ธาตุโปตัสเซียม-ยูเรเนียม

ผลึกสำหรับวิเคราะห์ธาตุอลูมิเนียม-คลอรีน

3.7) ตัวตรวจวัด (Detector) ประกอบไปด้วย Scintillation Counter Detector สำหรับวัดกลุ่มธาตุหนัก (Heavy Element) และ Flow Proportional Counter Detector สำหรับวัดกลุ่มธาตุเบา (Light Element) มากกว่า (ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ม.ป.ป.)

4) ระบบตรวจวัดตัวอย่างของเครื่อง X-ray Fluorescence

4.1) สามารถวิเคราะห์หาปริมาณธาตุต่างๆ ได้ในตัวอย่างที่เป็นของแข็ง ตัวอย่างผง และของเหลวโดยสามารถวัดความเข้มข้น (Concentration Range) ได้ตั้งแต่ Sub ppm

4.2) สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ทั้งทางเชิงคุณภาพ (Qualitative Analysis) และทางเชิงปริมาณ (Quantitative Analysis) และแบบไม่ต้องใช้สารมาตรฐาน (Standardless Multi-Element Analysis)

4.3) สามารถวิเคราะห์ธาตุได้ครั้งละหลายธาตุพร้อมกัน

4.4) สามารถที่จะควบคุมเครื่องเอ็กซ์เรย์จากเครื่องคอมพิวเตอร์ได้

4.5) สามารถตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างสามารถทำได้ต่อเนื่อง ไม่น้อยกว่า 75 ตัวอย่าง และมีถ้วยใส่ตัวอย่างขนาด 34 มิลลิเมตร และขนาด 8 มิลลิเมตร

4.6) มีชุดอุปกรณ์สำหรับหมุนตัวอย่างขณะทำการวิเคราะห์ด้วยความเร็ว 30 รอบต่อนาที (rpm) เพื่อช่วยแก้ปัญหาตัวอย่างที่ไม่ Homogeneous (Inhomogeneity Effects)

4.7) ไม่ใช้ระบบปั๊มลมแบบอัดอากาศ และมี Reference Samples สำหรับการทำ Recalibration (ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ม.ป.ป.)

5) โปรแกรมควบคุมการทำงาน

Software ทำงานภายใต้โปรแกรม Windows-base ที่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ทั้งในระบบ Quantitative และ Standardless Multi-Element Analysis (ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ม.ป.ป.)

2.5.2 กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ (Stereo Microscope)

ภาพ 2.4 กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ

ที่มา: กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ (2557)

กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ หรือสเตอริโอไมโครสโคป (Stereo Microscope) เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่สามารถใช้งานได้หลากหลาย และมีข้อดีกว่ากล้องจุลทรรศน์ทั่วไป โดยเวลามองผ่านเลนส์ตา (Eyepieces) ทั้งสองตา จะทำให้เห็นภาพเสมือนหัวตั้ง หรือ ภาพ 3 มิติไม่กลับซ้าย-ขวา แสงส่องกระทบวัตถุและสะท้อนผ่านเข้าตา ทำให้มองไม่เห็นรายละเอียดภายในเซลล์ ส่วนใหญ่ดูลักษณะภายนอก ทึบแสง

คุณสมบัติของกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอชนิด 3 ตา ใช้ในงานทั่วๆ ไป สามารถดูวัตถุทึบแสง ศึกษาวิเคราะห์พื้นผิว ดูโครงสร้างและคุณสมบัติทางกายภาพ ทำการปรับกำลังขยายได้ 7 ถึง 115 เท่า ที่เลนส์ใกล้ตากำลังขยาย 10x สามารถวัดขนาดชิ้นงานและบันทึกภาพด้วยชุดถ่ายภาพระบบดิจิตอล (Microscopes 101 – General Knowledge, 2018)

2.6 ความชื้น

แหล่งที่มาของความชื้นที่เกิดกับผลิตภัณฑ์มีแหล่งที่มา 3 ประเภท คือ ตัวผลิตภัณฑ์ อากาศภายในบรรจุภัณฑ์ และอากาศแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์ (ที่ซึมผ่านบรรจุภัณฑ์) โดยตัวผลิตภัณฑ์จะมีความชื้นภายใน ซึ่งจะมากหรือน้อยย่อมขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์เป็นสำคัญผลิตภัณฑ์จำพวกอาหาร จะมีระดับความชื้นที่สูงกว่าผลิตภัณฑ์ทั่วๆ ไป หากระดับความชื้นเกินกว่าสมดุลที่ผลิตภัณฑ์จะเก็บไว้ภายในก็จะปล่อยออกสู่อากาศ

อากาศภายในบรรจุภัณฑ์ คือ อากาศที่เข้าสู่บรรจุภัณฑ์ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ถูกบรรจุ ปริมาณของอากาศและความชื้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการบรรจุว่า อากาศภายนอกสามารถเข้าไปในบรรจุภัณฑ์ในระหว่างการบรรจุ

2.6.1 สภาพแวดล้อมของการขนส่งผลิตภัณฑ์

การขนส่งผลิตภัณฑ์จากสถานที่จัดเก็บผลิตภัณฑ์ไปจุดหมายปลายทางย่อมได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมในระหว่างการขนส่งไม่มากก็น้อย ในการขนส่งผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะการขนส่งระหว่างประเทศนั้นผลิตภัณฑ์ถูกเคลื่อนย้ายผ่านบริเวณที่มีสภาพอากาศแตกต่างกัน และอาจใช้ระยะเวลาในการขนส่ง (Lead Time) ค่อนข้างมาก การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมของผลิตภัณฑ์จะมีความรุนแรงมากกว่า อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่แตกต่างกันนั้นโอกาสที่ผลิตภัณฑ์จะได้รับความเสียหายจากความชื้นจะมีมาก หากไม่ได้รับการป้องกันที่ถูกต้องและเหมาะสมการขนส่งผลิตภัณฑ์ (การเลือกใช้สารดูดความชื้น, ม.ป.ป.)

2.6.2 นิยามของความชื้น

โดยทั่วไปแล้ว ความชื้นในอากาศ ที่เรียกกันสั้นๆ ว่า ความชื้น ซึ่งมาจากคำเต็มๆ ว่า ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity หรือ RH) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้น

(ไอน้ำ) ที่มีอยู่จริงในอากาศ กับปริมาณความชื้น (ไอน้ำ) ที่อากาศขณะนั้นจะรองรับได้เต็มที่ ณ อุณหภูมิเดียวกัน (Matthes and Rushing, 1972) หากปริมาณความชื้นมีมากกว่าก็จะกลั่นตัว เป็นหยดน้ำ หน่วยของความชื้นสัมพัทธ์ จึงออกมาเป็นร้อยละ (สำนักชลประทานที่ 14, ม.ป.ป.)

2.6.3 การหาปริมาณความชื้น

การหาปริมาณความชื้น (Measurement of Moisture Content) การหาปริมาณความชื้น โดยหลักการแล้วสามารถทำโดยนำวัตถุดิบที่ต้องการหาความชื้น มาชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกค่าไว้เป็นมวลวัตถุเริ่มต้น จากนั้นจึงนำมาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง จากนั้นบันทึกค่าไว้เป็นมวลวัตถุที่แห้ง แล้วนำมาคำนวณตามสูตรดังนี้ (การหาปริมาณความชื้น, 2555)

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \left(\frac{\text{น้ำหนักหลังดูดความชื้น} - \text{น้ำหนักก่อนดูดความชื้น}}{\text{น้ำหนักก่อนดูดความชื้น}}\right) \times 100$$

การหาปริมาณความชื้นสามารถแบ่งออกเป็นสองวิธีหลัก คือ วิธีโดยตรง (Direct Method) และวิธีโดยอ้อม (Indirect Method) วิธีโดยตรงจะเป็นการนำความชื้นออกจากวัสดุและทำการวัดปริมาณความชื้นนั้นวิธีที่เป็นพื้นฐานในการหาค่าความชื้นคือ 1) Oven Method 2) Infra-red Lamp Method 3) Brown Duvel Method ส่วนวิธีโดยอ้อมนั้นจะเป็นการใช้คุณสมบัติอื่นของวัสดุมาที่มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้น เช่น ความต้านทานไฟฟ้าหรือคุณสมบัติทางไดอิเลคตริก (Dielectric) วิธีการนี้เป็นวิธีที่รวดเร็วแต่ค่าที่ได้มีความถูกต้องต่อเนื่องจากคุณสมบัติเหล่านี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ดังนั้นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความชื้นจะต้องมีการตรวจสอบกับค่าวิธีพื้นฐาน (การหาปริมาณความชื้น, 2555)

2.6.4 ปัญหาของความชื้น

ความชื้น (Moisture) ความชื้นทำให้วัสดุส่วนต่างๆของอาคารชำรุดและเสียหาย เพราะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิในเนื้อวัสดุ ซึ่งมีสารที่เป็นกรด เกลือ หรือด่างเจือปน จึงทำให้เกิดการสึกกร่อนของวัสดุ สาเหตุของความชื้น(Cowan and Perter, 1988) คือ

1) เกิดจากน้ำในระหว่างการก่อสร้างอาคาร

2) เกิดจากการดูดซึมน้ำในดิน โดยวัสดุที่แห้งหรือมีรูพรุนผ่านกำแพง หรือ พื้นในส่วนใต้ดิน จากปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Capillary Action

3) เกิดจากความชื้นในอากาศ เป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Condensation คือ ความชื้นที่เกิดขึ้น ในสภาวะที่อุณหภูมิภายนอกและภายในอาคารต่างกัน ทำให้ เกิดการกลั่นตัวของอากาศเป็นละอองน้ำหรือหยดน้ำ แล้วโดนดูดซึมโดย วัสดุพรุน (Porous or Hydroscopic Materials) ของอาคาร

4) เกิดจาก ฝน ไหล รั่ว ซึม

5) เกิดจากน้ำที่รั่วซึมไหลออกมาจากท่อประปา หรือ ท่อระบายน้ำต่างๆ ที่บกพร่องเสียหาย

6) เกิดจากน้ำท่วมขังโดยภัยธรรมชาติ หรือจากการทำความสะอาดอาคาร (Cowan and Perter, 1988)

2.7 สารลดความชื้น

สารลดความชื้น หรือสารดูดความชื้น (Desiccant) คือ สารที่มีคุณสมบัติในการลดความชื้น (Moisture) ซึ่งมีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน เช่น การถนอมอาหาร, การขนส่งสินค้า, ใช้ในห้องทดลอง, ใช้ในกระบวนการผลิต ฯลฯ จากประโยชน์ต่างๆ เหล่านี้ การเลือกใช้สารลดความชื้น ให้ถูกกับการใช้งานจึงเป็นเรื่องจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้ได้รับประโยชน์สูงสุดจากการใช้ สารลดความชื้นและประหยัดค่าใช้จ่ายที่สุด ประเภทของสารลดความชื้น แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ จากธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ สารลดความชื้นเป็นผลิตภัณฑ์หรือวัสดุที่สามารถดูดซับความชื้นจากอากาศ ดังนั้นจึงสามารถช่วยลดและควบคุมความชื้นจากสภาพแวดล้อมต่างๆ และปกป้องไม่ให้ถูกทำลายจากความชื้นได้ สารลดความชื้นนับว่าเป็นสิ่งจำเป็นในการป้องกันสินค้าจากความชื้น ที่มาจากแหล่งความชื้นทั้ง 3 ลักษณะ (ตัวสินค้า อากาศภายในบรรจุภัณฑ์ และอากาศแวดล้อม) การใช้วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ดีจะช่วยลดหรือขจัดแหล่งความชื้นจากอากาศแวดล้อมได้ซึ่งสามารถยกตัวอย่างได้ดังนี้

2.7.1 ชนิดของสารลดความชื้น

สารลดความชื้นมีหลายชนิด โดยแต่ละชนิดจะมีคุณลักษณะ และความเหมาะสมในการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป (ธนาชัย จงสุวรรณไพศาล, 2549)

1) ซิลิกาเจล (Silica Gel)

ซิลิกาเจลเป็นสารสังเคราะห์ในรูปของซิลิกอนไดออกไซด์ ที่มีพื้นที่ผิวมากประมาณ 800 ตารางเมตร ต่อ 1 กรัม การดูดความชื้นของซิลิกาเจลเป็นลักษณะทางกายภาพ (Physical Adsorption) โดยกักเก็บความชื้นไว้ที่โพรงโครงสร้างด้านใน ซิลิกาเจลได้ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในบรรจุภัณฑ์ ยาและอาหาร ปกติซิลิกาเจลสามารถดูดความชื้นได้ระหว่างร้อยละ 24-40 ของน้ำหนักตัวเอง และมีประสิทธิภาพสูงสุดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิสูงกว่านี้ ประสิทธิภาพในการดูดความชื้นของซิลิกาเจลจะลดลงไปเรื่อยๆ และมีโอกาสที่จะคายความชื้น (Desorption) ออกจากตัวเองเช่นกัน การใช้ซิลิกาเจลกับประเทศร้อนชื้นดังเช่นประเทศไทย ดังนั้นจึงต้องระมัดระวังเป็นอย่างยิ่งต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิรอบข้างของบรรจุภัณฑ์สินค้า นอกจากนี้

การใช้ซิลิกาเจลในระหว่างการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศที่มีความผันผวน หรือความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของประเทศไทย และประเทศปลายทางย่อมมีโอกาสเสี่ยงต่อการดูดและคายความชื้นของซิลิกาเจลเป็นอย่างยิ่ง

1) ประเภทของซิลิกาเจล

ซิลิกาเจล เป็นสารลดความชื้นที่ถูกนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันนี้ โดยซิลิกาเจล มีด้วยกัน 4 ชนิดคือ

1.1) ซิลิกาเจล ชนิดเม็ดสีขาว (White Silica Gel)

มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นประมาณร้อยละ 35-40 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแต่ละเม็ดประมาณ 2-5 มิลลิเมตร

1.2) ซิลิกาเจล ชนิดเม็ดสีน้ำเงิน (Blue Silica Gel)

มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นเหมือนกับเม็ดใสทุกประการ เพียงแต่มีการเพิ่มสาร พิเศษเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจวัดปริมาณความชื้นที่กักเก็บไว้ ทำให้ผู้ใช้รู้ว่ามีการเก็บความชื้นไว้ในปริมาณเท่าไร โดยจะแสดงเป็นสีน้ำเงินและสีชมพู หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า เม็ดเป็นสีน้ำเงิน หมายความว่าสารกันชื้นนั้นยังไม่ได้ใช้งานหรือไม่ทำงานนั่นเอง ส่วนเม็ดสารกันชื้นที่เปลี่ยนเป็นสีชมพูหรือสีม่วงอ่อน แสดงว่าหมดอายุในการใช้งาน ควรเปลี่ยนสารกันความชื้นใหม่

1.3) ซิลิกาเจล ชนิดเม็ดสีส้ม (Orange Silica Gel)

มีคุณสมบัติเหมือนกับชนิดสีน้ำเงินทุกประการ การทำงานจะเปลี่ยนจากสีส้มเป็นสีเขียวอ่อน ซิลิกาเจลชนิดนี้ยังไม่ได้รับความนิยมในเมืองไทย เนื่องจากมีราคาค่อนข้างสูง

1.4) ซิลิกาเจล ชนิดเม็ดทราย (Silica Sand)

มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นเหมือนกับเม็ดใสทุกประการ แตกต่างกันที่ขนาดของเม็ดของสารกันความชื้น ซึ่งสารกันความชื้นชนิดเม็ดทราย จะมีขนาดประมาณ 1 มิลลิเมตร (Scheidegger, Borkovec, and Sticher, 1993)

2) ไดอะตอมมาเชียส เอิร์ธ (Diatomaceous Earth) หรือ ดินไดอะตอม

เป็นดินที่เกิดจากซากพืชเซลล์เดียวที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก เมื่อได้รับการเผาที่อุณหภูมิสูงและเติมสารเร่งปฏิกิริยาบางชนิด เช่น แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium Chloride) จะมีคุณสมบัติในการดูดความชื้นได้ดีมากถึงร้อยละ 70-80 ของน้ำหนักตัวเอง เมื่อเทียบกับซิลิกาเจลแล้ว อัตราเร็วในการดูดความชื้นของไดอะตอมมาเชียสเอิร์ธจะต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 75 ซิลิกาเจลจะดูดความชื้นจนอิ่มตัวภายในเวลาไม่กี่ชั่วโมง ในขณะเดียวกันต้องใช้เวลาหลายๆ วันหรือเป็นเดือนสำหรับไดอะตอมมาเชียสเอิร์ธ ที่จะดูด

ความชื้นจนอิ่มตัว อย่างไรก็ตามการดูดความชื้นของไดอะตอมมาเชียสเอิร์ธนี้มีแรงดึงดูดของโมเลกุลค่อนข้างมาก การคายความชื้นเมื่ออุณหภูมิรอบข้างสูงขึ้นจึงมีน้อยมากหรือไม่เกิดขึ้นเลย ความสามารถในการดูดความชื้นที่มาก อัตราเร็วของการทำงานที่ไม่เร็วจนเกินไป และโอกาสในการคายความชื้นที่ต่ำมาก เป็นเหตุให้ ไดอะตอมมาเชียสเอิร์ธ เป็นทางเลือกที่ดีของสารดูดความชื้น

3) มอนต์โมริลโลไนต์เคลย์ (Montmorillonite Clay)

เป็นดินธรรมชาติที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนจำนวนมาก ดินประเภทนี้เมื่อได้รับการเผาที่อุณหภูมิสูง (Calcination) จะทำให้ความสามารถในการดูดความชื้นและการคงสภาพหลังการใช้ดีขึ้น โดยปรกติมอนต์โมริลโลไนต์เคลย์มีความสามารถในการดูดความชื้น ประมาณร้อยละ 25 ของน้ำหนักตัวเอง ประสิทธิภาพดังกล่าวจะลดลงค่อนข้างมากเมื่ออุณหภูมิรอบข้างสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยเหตุนี้การใช้มอนต์โมริลโลไนต์เคลย์สำหรับบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่งจะต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดข้อนี้เช่นเดียวกับการใช้ซิลิกาเจล

4) โมเลกุลลาร์ซีฟ (Molecular Sieve)

โมเลกุลลาร์ซีฟ (Molecular Sieve) หรือที่เรียกว่า Synthetic Zeolite เป็นสารสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นที่ดีมาก ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์รอบข้างในระดับต่ำ (ร้อยละ 10-30) โดยมีประสิทธิภาพในการดูดความชื้นประมาณร้อยละ 22 ของน้ำหนักตัวเอง โครงสร้างพิเศษทำให้โมเลกุลลาร์ซีฟมีพื้นผิวสัมผัสประมาณ 700-800 ตารางเมตร ต่อ 1 กรัม และมีแรงดึงดูดความชื้นที่สูงมาก ข้อดีดังกล่าวทำให้ปัญหาการคายความชื้นน้อยกว่าซิลิกาเจลและมอนต์โมริลโลไนต์เคลย์เมื่ออุณหภูมิรอบข้างสูงขึ้น อย่างไรก็ตามโมเลกุลลาร์ซีฟยังไม่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานของรัฐในการใช้งานกับอาหารและยา จึงทำให้สารชนิดนี้ยังไม่แพร่หลายมากนัก

5) แคลเซียมออกไซด์ (Calcium Oxide, CaO)

แคลเซียมออกไซด์ หรือที่เรียกว่า Caustic Lime / Quick Lime เป็นสารที่มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นได้มากกว่าร้อยละ 28.5 ของน้ำหนักตัวเอง สารชนิดนี้มีคุณสมบัติเด่นในการดูดความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำและมีอัตราการคายความชื้นที่ต่ำเช่นเดียวกับโมเลกุลลาร์ซีฟ อย่างไรก็ตามความเร็วในการดูดความชื้นค่อนข้างช้า เมื่อเทียบกับสารชนิดอื่นๆ และจะกลายเป็นสารกึ่งเหลว (Swell) เมื่อดูดความชื้นจนกระทั่งอิ่มตัว สารดูดความชื้นประเภทนี้มีคุณสมบัติในการกัดกร่อนสูง (Corrosive) ดังนั้นบรรจุภัณฑ์ของสารดูดความชื้นประเภทนี้ต้องป้องกันไม่ให้สารดูดความชื้นหลุดรอดออกมาได้โดยเด็ดขาด

6) แคลเซียมซัลเฟต

แคลเซียมซัลเฟต เป็นสารที่ได้จากแร่ยิปซั่ม โดยมีคุณสมบัติในการดูดความชื้นค่อนข้างต่ำประมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักตัวเอง เป็นสารที่คงสถานะได้ดี ไม่เป็นพิษ และไม่กัดกร่อน (ธนาชัย จงสุวรรณไพศาล, 2549)

2.7.2 ข้อดีของสารลดความชื้นจากธรรมชาติ

ข้อดีของสารลดความชื้นจากธรรมชาติ คือ ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสภาพแวดล้อมแล้วยังใช้ความเป็นธรรมชาติในตัวสร้างประสิทธิภาพในการดูดและเก็บกักความชื้นได้มากกว่าสารลดความชื้นที่สังเคราะห์จากสารเคมี สารลดความชื้นที่ผลิตจากธรรมชาติได้รับความสนใจและใช้กันมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมอาหาร ผู้ใช้สารดูดความชื้นจากธรรมชาติหลายรายพบว่าการใส่สารดูดความชื้นที่ผลิตจากธรรมชาติ นอกจากจะให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่า ปลอดภัยกว่าแล้วยังสร้างภาพลักษณ์ที่ดีให้กับสินค้าอีกด้วย (ธนาชัย จงสุวรรณไพศาล, 2549) สาเหตุที่ควรใช้สารลดความชื้นจากธรรมชาติแทนการใช้สารลดความชื้นที่ผลิตจากสารเคมี ก็คือ

1) ไม่เป็นอันตราย หากมีการพลั้งเผลอบริโภคเข้าไป

2) ให้ความปลอดภัยเมื่อซองบรรจุวัตถุดูดความชื้นต้องสัมผัสโดยตรงกับ อาหาร ยา อาหารเสริม หรือ ขนม

3) สามารถทิ้งวัตถุดูดความชื้นไปในธรรมชาติได้ โดยไม่ต้องกังวลเรื่องมลพิษ (ความรู้เกี่ยวกับวัตถุดูดความชื้น, 2557)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 การสกัดซิลิกา

สิริลักษณ์ เจียรากร (2546) ได้ศึกษาซิลิกาจากแกลบข้าวสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งซิลิกาสำหรับการสังเคราะห์เอ็มซีเอ็ม 41การสกัดซิลิกาทำได้โดยนำแกลบมาต้มกับกรดไฮโดรคลอริกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชม. แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชม. ผลิตภัณฑ์ที่สกัดได้มีส่วนประกอบของซิลิกามากกว่า ร้อยละ 99 เอ็มซีเอ็ม 41 จากแกลบสังเคราะห์ได้จากสารละลายโซเดียมซิลิเกตที่ได้จากซิลิกาแกลบกับเฮกซะเดคซิลไตรเมธิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (ซีทีเอบี) ด้วยอัตราส่วนโดยโมลเป็น 1.0 ซิลิกา ต่อ 1.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อ 0.13 ซีทีเอบี ต่อ 0.12 น้ำ ผลการทดสอบพบว่าเอ็มซีเอ็ม 41 จากแกลบมีประสิทธิภาพดีเยี่ยมในการเกิดผลิตภัณฑ์สูงร้อยละ 80-90 ที่อุณหภูมิ 150-200 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับซิลิกาและซิลิกาอลูมินา

เลอพงศ์ จารุพันธ์ (2561) ได้ศึกษากระบวนการสกัด ซิลิกาความบริสุทธิ์สูงจากแกลบข้าว เริ่มการทดลองด้วยการแยกสิ่งปนเปื้อนโดยการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 1, 2 และ 3 โมลาร์เป็นระยะเวลา 60 และ 120 นาที จากนั้นนำไปเผาภายใต้การควบคุมอากาศระหว่างเผาที่ 650 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 240 นาที พบว่าความเข้มข้นของกรดและระยะเวลาในการต้มมีผลต่อสีของเถ้าแกลบและเมื่อเผาที่ 650 องศาเซลเซียส ความขาวของเถ้าแกลบจะเพิ่มขึ้น แต่จนถึงจุดหนึ่งความขาวก็จะไม่เพิ่มขึ้น จากนั้นนำซิลิกาบริสุทธิ์ไปลดขนาดเป็นอนุภาคนาโนด้วยการสังเคราะห์เป็นวัสดุ MCM-41 โดยใช้สารเฮกซะเดซิลไตรเมททิลแอมโมเนียมโบร์ไมด์ (CTAB) เป็นตัวช่วยจัดเรียงโครงสร้างได้นาโนซิลิกาจากแกลบข้าวที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนเพิ่มสูงขึ้นได้ถึง 200 ตารางเมตรต่อกรัม มากกว่าซิลิกาทั่วไปที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 60 ตารางเมตรต่อกรัม และพบว่าขนาดของรูพรุนมีขนาดเล็กลง รวมทั้งมีการขึ้นรูปใหม่โดยมีลักษณะโครงสร้างเหมือนรังผึ้งตามสารกำหนดโครงสร้าง CTAB

ยุรนันท์ โสมณวัตร และนิพนธ์ ตันไพบูลย์กุล (2556) ได้ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของตะกอนประปาและเถ้าชานอ้อยก่อนนำมาประยุกต์ใช้ในงานคอนกรีตตะกอนและเถ้าชานอ้อยที่ได้จากโรงผลิตน้ำประปาและอุตสาหกรรมน้ำตาล เผาที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง 700 และ 600 องศาเซลเซียสตามลำดับ พบว่าตะกอนประปาที่เผามีซิลิกา (SiO_2) ร้อยละ 67และเถ้าชานอ้อยที่เผามีซิลิกา ร้อยละ 91.5 นอกจากนี้ ความสามารถในการละลายของซิลิกาในสารละลายด่างที่ได้จากตะกอนประปาที่เผาและเถ้าชานอ้อยที่เผาเท่ากับ 348.4 และ 396.6 มก. / กรัม (น้ำหนักแห้ง) ปริมาณซิลิกาละลายและปริมาณซิลิกาที่ได้จากตะกอนประปาที่เผา มีคาเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเผาเพิ่มขึ้นจาก 500 ถึง 800 องศาเซลเซียส ในขณะที่ปริมาณซิลิกาที่ละลายได้และปริมาณซิลิกาที่ได้จากเถ้าชานอ้อยเผาเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเผาเพิ่มขึ้นจาก 600 ถึง 800 องศาเซลเซียส

นิทัศน์ ทิพยโสตนัยนา (2557) ได้ศึกษาซิลิกานาโนจากแกลบข้าวที่สังเคราะห์จากการเผาแกลบเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟีบนกระดาษคราฟต์ เป็นซิลิกาที่ได้จากการต้มแกลบข้าวด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 โมลาร์ ระยะเวลา 2 ชั่วโมง และเผาภายใต้การควบคุมอากาศที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 4 ชั่วโมง แล้วทำการลดขนาดเป็นอนุภาคนาโนด้วยการสังเคราะห์เป็นวัสดุ MCM-41 ด้วยสารละลายเฮกซะเดซิล ไดรเมททิลแอมโมเนียมโบร์ไมด์ (CTAB) ผสมซิลิกานาโนจากแกลบข้าวในสารเคลือบลาเท็กซ์สไตรีนเรซิน ด้วยอัตราส่วนที่ต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 ของน้ำหนักเรซิน เคลือบกระดาษคราฟต์ขาว 170 แกรม ด้วยลูกกลิ้งระบบกราเวียร์ให้ความหนา 3-4 ไมครอน ทดสอบคุณภาพการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟีที่มีรายละเอียดภาพพิมพ์ 31.5 เส้นต่อเซนติเมตร พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ฐานน้ำสีไซแอนมาเจนตาเหลือง และดำ พบว่าปริมาณอัตราส่วนซิลิกานาโนจากแกลบข้าวที่ผสมในสารเคลือบทำให้สมบัติของสารเคลือบและคุณภาพทางการพิมพ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p น้อยกว่า 0.0001)

จิตรลดา ชูมี (2554) ได้ศึกษาการสังเคราะห์ซิลิกาที่มีความบริสุทธิ์สูงจากแกลบข้าว โดยการสกัดด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 3.0 โมลาร์ และเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส แล้วนำซิลิกามาใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมโซเดียมซิลิเกตเพื่อใช้ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิดเอ็กซ์ (LSX) โดยใช้อัตราส่วนในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ 5.5 Na_2O : 1.65 K_2O : Al_2O_3 : 2.2 SiO_2 : 122 H_2O ซึ่งทำการตกผลึกที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ด้วยภาชนะแตกต่างกัน คือแบบที่ 1 ใส่ในขวดโพลิโพรพิลีน (PP) และแบบที่ 2 ใส่ในท่อเทปลอนที่บรรจุในกระบอกควบคุมความดัน (Teflon-lined Autoclave) จากนั้นนำซีโอไลต์มาวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) การวัดปริมาณรังสีเอ็กซ์ฟูออเรสเซนต์ (XRF) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) บีอีที (BET) และอินฟราเรดสเปคโทสโคปี (FT-IR) ซีโอไลต์ LSX ที่สังเคราะห์ได้จากการตกผลึกใน Teflon-lined autoclave จะให้ขนาดผลึกและพื้นที่ผิวสูงกว่าการตกผลึกในขวด PP ซึ่งมีขนาดผลึก 102.88 นาโนเมตร มีรูปร่างแบบผลึกหลายหน้าสเฟียรูไรท์ (Multi-Faceted Spherulite) และมีพื้นที่ผิว 286 ตารางเมตรต่อกรัม

รินนภา เส็งสาย และอรพรรณ ไวแพน (2541) ได้ศึกษาเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดซิลิกาจากขี้เถ้าชานอ้อย โดยนำชานอ้อยมาเผาที่อุณหภูมิ 400, 500, 600 และ 700 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการเผา 2, 3 และ 4 ชั่วโมง ขี้เถ้าชานอ้อยที่ได้นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF ศึกษาผลของการล้างขี้เถ้าชานอ้อยด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3.0 โมลาร์ ระยะเวลา 15, 30, 60 และ 120 นาที แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF จากการวิจัยพบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการเผาชานอ้อยคือ 400 องศาเซลเซียส เวลาในการเผา 3 ชั่วโมง ซึ่งได้ขี้เถ้าชานอ้อยสีเทาอ่อน มีน้ำหนักคงที่ และมีปริมาณซิลิกาที่มากสุด ระยะเวลาที่เหมาะสมในการล้างขี้เถ้าชานอ้อยด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3.0 โมลาร์คือ 30 นาที ซึ่งจะได้ขี้เถ้าชานอ้อยมีปริมาณซิลิกาสูงที่สุดถึงร้อยละ 96.72 เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการล้างมากขึ้นปริมาณซิลิกาจะลดลง

สรินทร ลิ่มปนาท และคณะ (2543) ได้ศึกษากระบวนการเตรียมแผ่นกรองซิลิกาจากขี้เถ้าแกลบครั้งนี้เริ่มจากวัตถุดิบที่ได้จากการสกัดขี้เถ้าแกลบด้วยวิธีการทางเคมี และทำเป็นผงด้วยเทคนิค Spray Dry ซึ่งมีค่าความหนาแน่นจำเพาะ 2.098 g/cm^3 มีความบริสุทธิ์สูงร้อยละ 99.8 ในการศึกษาการขึ้นรูปโดยวิธี Gelcasting อาศัยปฏิกิริยา Acrylamide Polymerization ที่สัดส่วนของตัวเริ่มต้น (Initiator) ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) และปริมาณซิลิกาแตกต่างกัน พบว่าปริมาณที่ดีที่สุดคือร้อยละ 1 initiator, 3.8 mL/L Catalyst และร้อยละ 50 Vol ซิลิกาซึ่งในอัตราส่วนดังกล่าวจะใช้เวลาในการเกิดเจล 30 นาที เมื่อนำชิ้นงานที่มีส่วนผสมดังกล่าวไปเผาที่อุณหภูมิและเวลาในการซินเทอร์แตกต่างกัน จะได้อุณหภูมิในการเผาที่ 1,300 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการซินเทอร์นาน 60 นาที ชิ้นงานจะไม่แตกร้าว

2.8.2 ซิลิกาจากพืช

นิธินาถ ศุภกาญจน์ (2559) ได้ศึกษาสมบัติต่างๆ ของขี้เถ้าแกลบและข้าว สามารถสรุปได้ว่าซิลิกาที่เตรียมได้จากขี้เถ้าแกลบและข้าว เป็นซิลิกาอสัณฐานที่มีความบริสุทธิ์ประมาณร้อยละ 97 โดยน้ำหนักซึ่งสำหรับการศึกษาครั้งนี้ เรียกว่า ซิลิกาจากแกลบข้าว (RHS) พบว่าการเติม U-RHS และ MPS-RHS ใน PBAT เมทริกซ์หลังจากฝังดินแต่อย่างไรก็ตามการย่อยสลายของวัสดุ MPS-RHS/PBAT คอมโพสิตเกิดช้าลงเมื่อเทียบกับ U-RHS/PBAT คอมโพสิต

อภิญญา นิลยอง (2553) ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์เถ้าลอยชานอ้อยซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากโรงไฟฟ้าชีวมวล สำหรับดูดซับสารประกอบโพลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ปนเปื้อนในน้ำ สำหรับเถ้าลอยชานอ้อยที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นวัสดุเหลือใช้ที่ได้จากการผลิตไฟฟ้าในอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลแห่งหนึ่งในประเทศไทย จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยชานอ้อยด้วยเทคนิคเครื่อง XRF พบว่ามีซิลิกา เป็นองค์ประกอบหลัก จึงใช้เถ้าลอยชานอ้อยมาเป็นสารดูดซับหรือวัตถุดิบสำหรับการสกัดซิลิกาจากการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับแนฟทาลีน (Naphthalene) ซึ่งใช้เป็นตัวแทนสารโพลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนด้วยเถ้าลอยชานอ้อยและซิลิกาที่สกัดจากเถ้าลอยชานอ้อยทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยเซทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ พบว่าสารดูดซับแต่ละชนิดให้ประสิทธิภาพการดูดซับแนฟทาลีนใกล้เคียงกัน

ศิริชัย ก้านกิ่ง และคณะ (2544) ได้ศึกษาซิลิกาจากผงเถ้าชานอ้อยที่ได้จากโรงไฟฟ้าชีวมวล จังหวัดนครสวรรค์ จังหวัดลพบุรี และจังหวัดสุพรรณบุรีในประเทศไทย โดยทำการศึกษาอนุภาคและปริมาณของซิลิกาจากผงเถ้าชานอ้อยทั้งสามแหล่งและเติมปริมาณซิลิกาจากผงเถ้าชานอ้อยในวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติ ผลการวิจัยพบว่าผงเถ้าชานอ้อยจากโรงไฟฟ้าทั้งสามแหล่งมีอนุภาคส่วนใหญ่น้อยกว่า 150 ไมโครเมตร โดยมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัก สามารถเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือใช้ให้เป็นประโยชน์กับภาคอุตสาหกรรมของประเทศได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

รูปแบบการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบทดลอง โดยการสกัดสารซิลิกาจากใบไผ่เพื่อใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์ลดความชื้นที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

3.1 เครื่องมือที่ใช้

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้

1) เครื่องวิเคราะห์ X – ray fluorescence (XRF)
2) เตาเผา
3) เครื่องชั่ง
4) บีกเกอร์ ขนาด 5000 mL
5) เตาไฟฟ้า (Hot Plate)
6) กระบอกตวง ขนาด 100 mL
7) ตู้ดูดควัน (Hood)
8) ตู้อบลมร้อน (Oven)
9) กระดาษลิตมัส
10) กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ
11) เครื่อง Shaking Incubator

3.1.2 วัสดุที่นำมาสกัดซิลิกา

ใบไผ่แห้ง พันธุ์ไผ่ซาง

3.1.3 สารเคมีที่ใช้

กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์

3.2 วิธีการสกัดซิลิกา

3.2.1 วิธีเตรียมวัตถุดิบจากใบไผ่

1) นำใบไผ่ไปตากแดดเพื่อลดความชื้น

2) ตัดใบไผ่ที่แห้งให้เป็นชิ้นเล็กๆ ดังภาพ 3.1 ก)

3) ปั่นใบไผ่ให้ละเอียด ดังภาพ 3.1 ข)

ก) ตัดใบไผ่ให้เป็นชิ้นเล็กๆ

ข) ปั่นใบไผ่ให้ละเอียด

ภาพ 3.1 การเตรียมวัตถุดิบจากใบไผ่

3.2.2 ขั้นตอนการสกัดซิลิกาจากใบไผ่

1) ต้มใบไผ่ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์ ในตู้ดูดควัน เป็นเวลา 60 นาที ดังภาพ 3.2 ก)

2) ล้างใบไผ่ที่ผ่านการต้มด้วยน้ำสะอาดหลายครั้ง แล้ววัดด้วยกระดาษลิตมัสจน pH เป็นกลาง และล้างน้ำสุดท้ายด้วยน้ำกลั่น ดังภาพ 3.2 ข)

3) นำใบไผ่ที่ต้มแล้วไปอบให้แห้งในตู้อบลมร้อน ดังภาพ 3.2 ค) และ 3.2 ง)

4) นำใบไผ่ที่ต้มด้วยกรดและอบจนแห้งมาเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ดังภาพ 3.2 จ)

ก) ต้มใบไผ่ด้วยกรดไฮโดรคลอริก

ข) ล้างใบไผ่ด้วยน้ำสะอาด

ค) ใบไผ่ที่ผ่านการล้างทำความสะอาด

ง) นำเข้าตู้อบลมร้อนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

จ) นำใบไผ่ไปเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

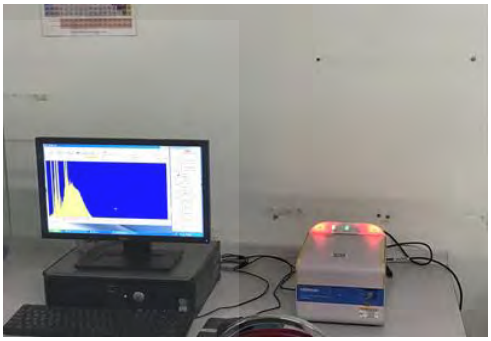
ภาพ 3.2 การสกัดซิลิกาจากใบไผ่

3.3 ขั้นตอนการตรวจวัดค่าความบริสุทธิ์ของซิลิกา

3.3.1 นำตัวอย่างซิลิกาใส่ในหลอดทดลอง ดังภาพ 3.3 ก)

3.3.2 ตรวจวัดค่าความบริสุทธิ์ของซิลิกาด้วยเครื่อง XRF ดังภาพ 3.3 ข)

ก) ใส่ซิลิกาในหลอดทดลอง



ข) ตรวจวัดค่าความบริสุทธิ์ของซิลิกาด้วยเครื่อง XRF

ภาพ 3.3 การตรวจวัดค่าความบริสุทธิ์ของซิลิกา

3.4 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ลดความชื้นจากซิลิกา

3.4.1 นำกระดาษเหลือใช้มาแช่น้ำให้เปื่อยเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังภาพ 3.4 ก)

3.4.2 ปั่นกระดาษให้เป็นเยื่อดังภาพ 3.4 ข)

3.4.3 เทกระดาษที่ปั่นเป็นเยื่อใส่ในตะแกรงขนาด 8 x 8 เซนติเมตร เพื่อใช้ช้อนเยื่อกระดาษขึ้นมา ดังภาพ 3.4 ค)

3.4.4 โรยผงซิลิกาลงไปในเนื้อกระดาษ 2 กรัม แล้วผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ดังภาพ 3.4 ง)

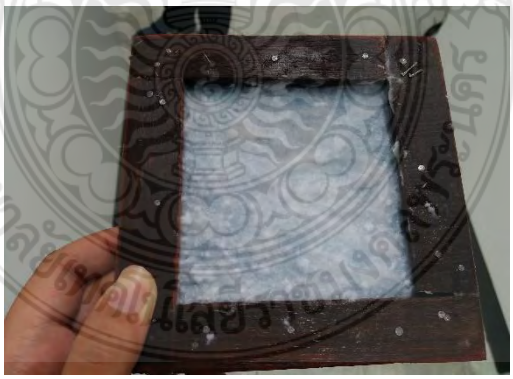
3.4.5 นำผลิตภัณฑ์ไปตากแดดจนแห้ง ดังภาพ 3.4 จ)

ก) นำกระดาษเหลือใช้มาแช่น้ำนาน 24 ชั่วโมง

ข) ปั่นกระดาษให้เป็นเยื่อ

ค) นำกระดาษที่ปั่นเป็นเยื่อเทใส่ในตะแกรงขนาด 8 x 8 เซนติเมตร

ง) โรยผงซิลิกาลงไปในเนื้อกระดาษ



จ) นำผลิตภัณฑ์ไปตากแดดจนแห้ง

ภาพ 3.4 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ลดความชื้น

3.5 การศึกษาคุณภาพของผงซิลิกาที่สกัดจากใบไผ่

3.5.1 การศึกษาการดูดความชื้นของผงซิลิกา

1) นำตัวอย่างของซิลิกาเจลทางการค้าและผงซิลิกาที่สกัดจากใบไผ่ไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท

2) นำผงซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกทั้ง 4 ความเข้มข้น และซิลิกาเจลที่บดเป็นผง ตัวอย่างละ 2 กรัม ดังภาพ 3.5 ก)

3) ใส่ผงซิลิกาไว้ในถ้วยแล้วจึงนำไปวางไว้ในภาชนะที่ใส่น้ำที่ต้มจนเดือด ดังภาพ 3.5 ข) และ ค)

4) ใส่ไว้เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง รอให้ผงซิลิกาดูดความชื้นเข้าไป

5) เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนด นำผงซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกทั้ง 4 ความเข้มข้น และผงซิลิกาเจลมาชั่งน้ำหนักหลังการดูดความชื้น ดังภาพ 3.5 ง)

6) ชั่งน้ำหนักหลังการดูดความชื้น แล้วคำนวณการดูดความชื้น จากสูตร

ค่าร้อยละการดูดความชื้นของผงซิลิกา

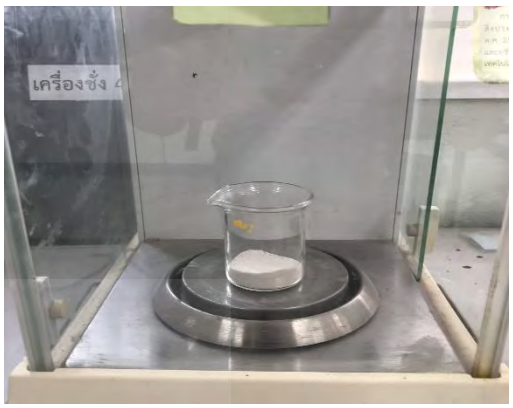
$$= \frac{(\text{น้ำหนักของผงซิลิกาหลังทดลองดูดน้ำ} - \text{น้ำหนักของผงซิลิกาแห้งก่อนการทดลอง})}{\text{น้ำหนักของผงซิลิกาแห้งก่อนการทดลอง}} \times 100$$

ก) ชั่งน้ำหนักผงซิลิกาตัวอย่างละ 2 กรัม

ข) เตรียมน้ำใส่ในภาชนะแล้วต้มให้เดือด

ภาพ 3.5 การศึกษาการดูดความชื้นของผงซิลิกา

ค) ใส่ผงซิลิกาไว้ในถ้วยแล้วจึงนำไปวางไว้ในภาชนะที่ใส่น้ำที่ต้มจนเดือด



ง) ชั่งน้ำหนักหลังการดูดความชื้น

ภาพ 3.5 การศึกษาการดูดความชื้นของผงซิลิกา (ต่อ)

3.5.2 การศึกษาการเก็บกักน้ำของผงซิลิกา

1) นำตัวอย่างของซิลิกาเจลทางการค้าและผงซิลิกาที่สกัดจากใบไผ่ไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท

2) เตรียมน้ำใส่กระบอกตวงปริมาตร 10 mL ดังภาพ 3.6 ก)

3) พับกระดาษกรองแล้ววางบนกรวยกรองที่อยู่บนขวดรูปชมพู่ ดังภาพ 3.6 ข)

4) ใส่ผงซิลิกาที่อบแห้งลงไปในกระดาษกรอง ดังภาพ 3.6 ค)

5) ใช้หลอดหยดสารดูดน้ำจากกระบองตวงแล้วค่อยๆ หยดน้ำลงไปบนซิลิกาทีละหยด จนเห็นน้ำหยดแรกหยดลงมาจากปลายกรวยกรอง ให้หยุดหยดทันที ดังภาพ 3.6 ง)

6) เทน้ำที่เหลือในหลอดหยดคืนลงไปในกระบอกตวง แล้วจึงบันทึกผลปริมาตรน้ำทั้งหมดที่เหลือในกระบอกตวง

7) คำนวณหาปริมาตรน้ำที่ซิลิกาเก็บกักไว้ได้ จากสูตร

$$\text{ร้อยละการเก็บกักน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักหลังเก็บกักน้ำ} - \text{น้ำหนักก่อนเก็บกักน้ำ})}{\text{น้ำหนักก่อนเก็บกักน้ำ}} \times 100$$

ก) เตรียมน้ำใส่กระบอกตวงปริมาตร 10 mL

ข) ใส่กระดาษกรองในกรวยกรองที่อยู่บนขวดรูปชมพู่

ค) ใส่ผงซิลิกาที่อบแห้งลงไปในกระดาษกรอง

ง) ใช้หลอดหยดสารหยดน้ำลงไปบนซิลิกาทีละหยด จนเห็นน้ำหยดแรกหยดลงมาจากกรวยกรอง บันทึกปริมาตรของน้ำที่ซิลิกาเก็บกักไว้ได้

ภาพ 3.6 การศึกษาการเก็บกักน้ำของผงซิลิกา

3.5.3 การศึกษาการดูดซับน้ำของผงซิลิกา

1) นำตัวอย่างของซิลิกาเจลทางการค้าและผงซิลิกาที่สกัดจากใบไผ่ไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท

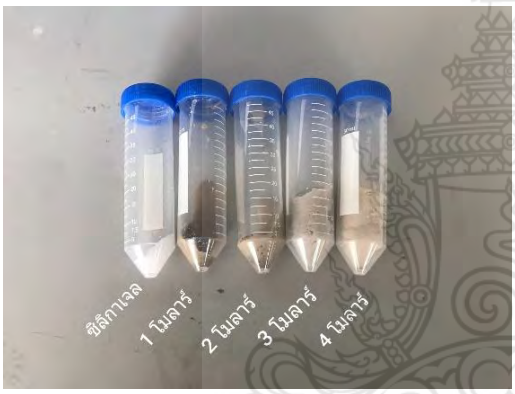
2) ใส่ตัวอย่างที่อบแล้วลงในหลอดทดลอง หลอดละ 2 กรัม แล้วชั่งน้ำหนัก ดังภาพ 3.7 ก)

3) เติมน้ำใส่ในหลอดทดลองที่ใส่ผงซิลิกา 10 mL ดังภาพ 3.7 ข)

4) ตั้งทิ้งไว้ 2 นาที แล้วจึงนำน้ำที่เหลือออกจากหลอดทดลอง

5) ชั่งน้ำหนักของผงซิลิกาที่ดูดซับน้ำเข้าไป แล้วบันทึกผล คำนวณได้จากสูตร

$$\text{ค่าร้อยละการดูดซับน้ำ} = \left(\frac{\text{น้ำหนักหลังการดูดซับน้ำ} - \text{น้ำหนักก่อนการดูดซับน้ำ}}{\text{น้ำหนักก่อนการดูดซับน้ำ}}\right) \times 100$$



ก) ใส่ผงซิลิกา 2 กรัม ลงในหลอดทดลอง

ข) เติมน้ำใส่ลงไป 10 mL ตั้งทิ้งไว้ 2 นาที และชั่งน้ำหนักน้ำที่เหลือออกจากหลอดทดลอง

ภาพ 3.7 การศึกษาการดูดซับน้ำของซิลิกา

3.6 การศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดความชื้น

3.6.1 การศึกษาการดูความชื้นของผลิตภัณฑ์

1) นำผลิตภัณฑ์ที่ใส่ผงซิลิกาปริมาณ 2 กรัม จากการขึ้นรูปตามข้อ 3.4 ที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริก 4 ความเข้มข้น ไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนัก ดังภาพ 3.8 ก)

2) เตรียมน้ำใส่ในภาชนะ วางไว้ในเครื่อง Shaking Incubator แล้วตั้งอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส ให้ในเครื่องอิ่มตัวด้วยไอน้ำ ดังภาพ 3.8 ข)

3) วางผลิตภัณฑ์ด้านที่โรยผงซิลิกาใส่ไว้ภายในเครื่อง ดังภาพ 3.8 ค)

4) รอให้ผลิตภัณฑ์ดูดความชื้นภายในเครื่องเข้าไปตามระยะเวลาที่กำหนด คือ 0.25, 0.5, 1, 2 และ 3 ชั่วโมง

5) เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนด นำผลิตภัณฑ์ออกมาชั่งน้ำหนักหลังการดูดความชื้น ดังภาพ 3.8 ง)

6) บันทึกน้ำหนักหลังผลิตภัณฑ์ดูดความชื้นเข้าไป คำนวณได้จากสูตร

ร้อยละการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์

$$= \frac{(\text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์หลังการดูดความชื้น} - \text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์ก่อนการดูดความชื้น}) \times 100}{\text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์ก่อนการดูดความชื้น}}$$

ก) นำผลิตภัณฑ์ไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ข) เตรียมน้ำใส่ในภาชนะ วางไว้ใน เครื่อง Shaking Incubator

ค) วางผลิตภัณฑ์ด้านที่โรยผงซิลิกาใส่ไว้ ภายในเครื่อง Shaking Incubator

ง) นำผลิตภัณฑ์ออกมาชั่งน้ำหนักหลัง การดูดความชื้น แล้วคำนวณหาค่า ร้อยละการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์

ภาพ 3.8 การศึกษาการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์

3.6.2 การสังเกตลักษณะการยึดเกาะพื้นผิวของซิลิกาในผลิตภัณฑ์ เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ

1) วางผลิตภัณฑ์จากซิลิกาลงบนกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ จากนั้นปรับกำลังขยายและปรับระยะโฟกัสตามที่ต้องการ ดังภาพ 3.9 ก)

2) สังเกตลักษณะการยึดเกาะของผงซิลิกากับผลิตภัณฑ์ ดังภาพ 3.9 ข)

ก) วางผลิตภัณฑ์จากซิลิกาลงบนกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ

ข) สังเกตลักษณะการยึดเกาะของผงซิลิกากับผลิตภัณฑ์

ภาพ 3.9 การสังเกตลักษณะการยึดเกาะพื้นผิวของซิลิกาในผลิตภัณฑ์เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ

บทที่ 4

การวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

การศึกษาวิธีการสกัดซิลิกาจากใบไผ่ เพื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์ลดความชื้นที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของผงซิลิกาในด้าน การดูดความชื้น การเก็บกักน้ำ และการดูดซับน้ำ การดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดความชื้น และลักษณะการยึดเกาะพื้นผิวของซิลิกาในผลิตภัณฑ์ ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 ผลการสกัดซิลิกาจากใบไผ่

4.1.1 ลักษณะของใบไผ่หลังจากการเผา

ผลของการนำใบไผ่ที่ต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริก 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์ มาสกัดเป็นซิลิกา และขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ลดความชื้น พบว่าใบไผ่ก่อนต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริก มีลักษณะค่อนข้างแข็ง พื้นผิวหยาบ หลังจากผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริก ใบไผ่ มีความแข็งลดลง พื้นผิวหยาบน้อยลง เนื่องจากกรดจะเข้าไปย่อยสลายสารประกอบที่อยู่ภายใน หลังจากนั้นนำใบไผ่ที่ต้มแล้วไปเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส สารประกอบคาร์บอนต่างๆ สลายไปเหลือเพียงซิลิกาจากการทดลอง พบว่าได้ซิลิกาที่มีสีต่างกันเล็กน้อย โดยซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 1 โมลาร์ มี สีขาว อมน้ำตาลอ่อน ซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 2 โมลาร์ มีสีขาวอมน้ำตาล ซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 3 โมลาร์ มีสีขาวอมเหลือง และซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 4 โมลาร์ มีสีขาว ดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 การเปรียบเทียบซิลิกาที่ได้หลังจากนำใบไผ่มาต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์ และเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก	ใบไผ่ที่ผ่านการเผาอุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส	ลักษณะของซิลิกาที่ได้หลังการเผา
1 โมลาร์		มีสีขาวอมน้ำตาลอ่อน
2 โมลาร์		มีสีขาวอมน้ำตาล
3 โมลาร์		มีสีขาวอมเหลือง
4 โมลาร์		มีสีขาว

4.1.2 ลักษณะของซิลิกาที่สกัดจากใบไผ่

หลังจากนำใบไผ่มาต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกและเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส สารประกอบอื่นๆ ในใบไผ่จะสลายไปกับความร้อน เหลือซิลิกาที่เป็นของแข็ง ซึ่งได้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ สิริลักษณ์ เจียรากร (2546) ได้นำแกลบข้าวต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกแล้วเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส สามารถสกัดซิลิกาได้ร้อยละ 99

เมื่อนำซิลิกาที่ได้จากการเผามาบดให้ละเอียด มีผงคล้ายแป้งและสีที่ได้หลังจากการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกจะได้สีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 1 โมลาร์ มีสีขาวอมน้ำตาลอ่อน ซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 2 โมลาร์ มีสีขาวอมน้ำตาล ซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 3 โมลาร์ มีสีขาวอมเหลือง และซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 4 โมลาร์ มีสีขาว ดังภาพ 4.1

ก) ผงซิลิกาบดละเอียดที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 1 โมลาร์

ข) ผงซิลิกาบดละเอียดที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 2 โมลาร์

ภาพ 4.1 ผงซิลิกาบดละเอียดที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์

ค) ผงซิลิกาบดละเอียดที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 3 โมลาร์

ง) ผงซิลิกาบดละเอียดที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 4 โมลาร์

ภาพ 4.1 ผงซิลิกาบดละเอียดที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์ (ต่อ)

4.2 ผลการตรวจวัดค่าความบริสุทธิ์ของซิลิกาที่สกัดจากใบไผ่

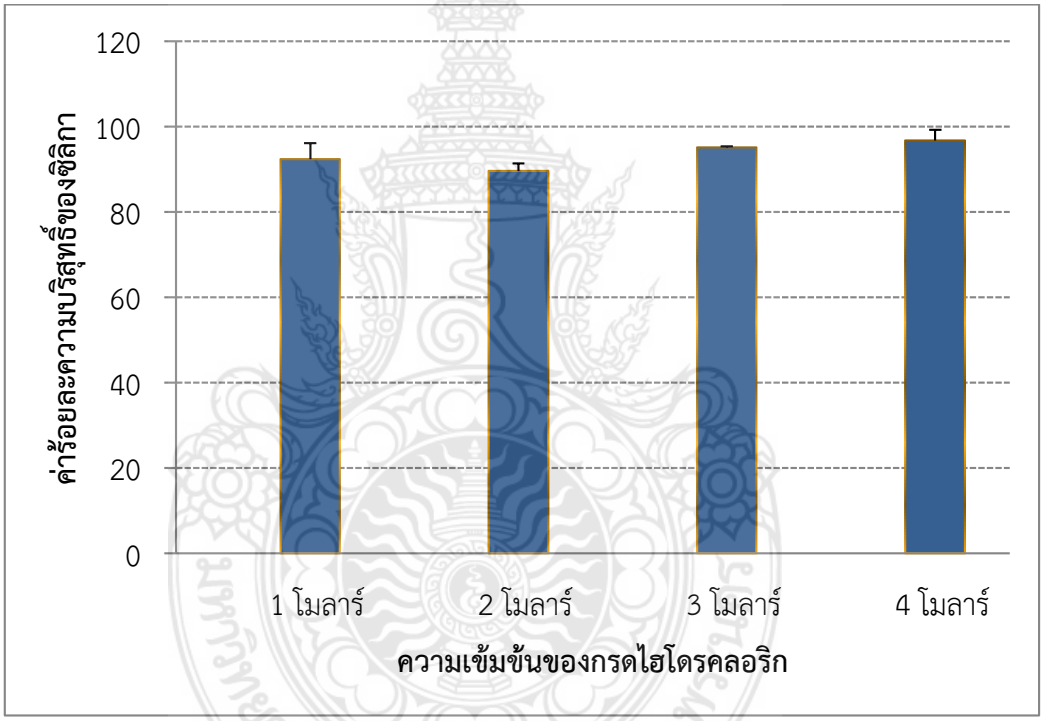
เตรียมซิลิกาที่ผ่านการต้มใบไผ่ด้วยกรดความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์ แล้วเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส ไปตรวจวัดค่าความบริสุทธิ์โดยใช้เครื่อง XRF ได้ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของซิลิกาที่ผ่านการต้มกรดทั้ง 4 ความเข้มข้นเป็น 92.5±3.7, 89.7±1.7, 95.1±0.3 และ 96.8±2.4 ตามลำดับ ดังตาราง 4.2

พบว่า ค่าความบริสุทธิ์ของซิลิกาที่ผ่านการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์ มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก โดยค่าความบริสุทธิ์อยู่ในช่วงร้อยละ 90-96 สอดคล้องกับงานวิจัยของ รินนภา เส็งสาย และคณะ (2541) ซึ่งได้กล่าวไว้ว่าเมื่อใช้กรดความเข้มข้นสูงมาใช้สกัดกับชานอ้อย และนำซิลิกาไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF จะพบว่า ซิลิกามีความบริสุทธิ์ที่ร้อยละ 96.72

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของกรดที่ใช้ในการสกัดซิลิกา พบว่า ซิลิกาที่สกัดโดยใช้กรดความเข้มข้นสูง ความบริสุทธิ์ของซิลิกายิ่งสูงขึ้น ซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 4 โมลาร์ ให้ค่าความบริสุทธิ์ของซิลิกาสูงมากที่สุด แต่ซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 2 โมลาร์ มีความบริสุทธิ์ต่ำที่สุด (ภาพ 4.2) ซึ่งอาจเป็นเพราะกรดที่ความเข้มข้น 2 โมลาร์ ทำให้โครงสร้างของซิลิกาเปลี่ยนแปลงไปแตกต่างจากความเข้มข้นอื่น ซึ่งควรมีการทดลองอื่นๆ เพิ่มเติมเพื่อสนับสนุนแนวความคิดนี้ต่อไป รวมถึงการศึกษาโครงสร้างของซิลิกาผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอด้วย

ตาราง 4.2 แสดงค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของซิลิกาจากใบไผ่ที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์

ซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้นต่างๆ	ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของซิลิกา
1 โมลาร์	92.5±3.7
2 โมลาร์	89.7±1.7
3 โมลาร์	95.1±0.3
4 โมลาร์	96.8±2.4



ภาพ 4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์

4.3 ผลการศึกษาคุณภาพของผงซิลิกาที่สกัดจากใบไผ่

4.3.1 ผลการดูดความชื้นของผงซิลิกา

ศึกษาการดูดความชื้นของผงซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์ โดยนำผงซิลิกามาทดสอบการดูดความชื้นด้วยการวางผงซิลิกาไว้ในเครื่อง Shaking Incubator ที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง แล้วคำนวณหาค่าร้อยละการดูดความชื้นของผงซิลิกาจากสูตร

ค่าร้อยละการดูดความชื้นของผงซิลิกา

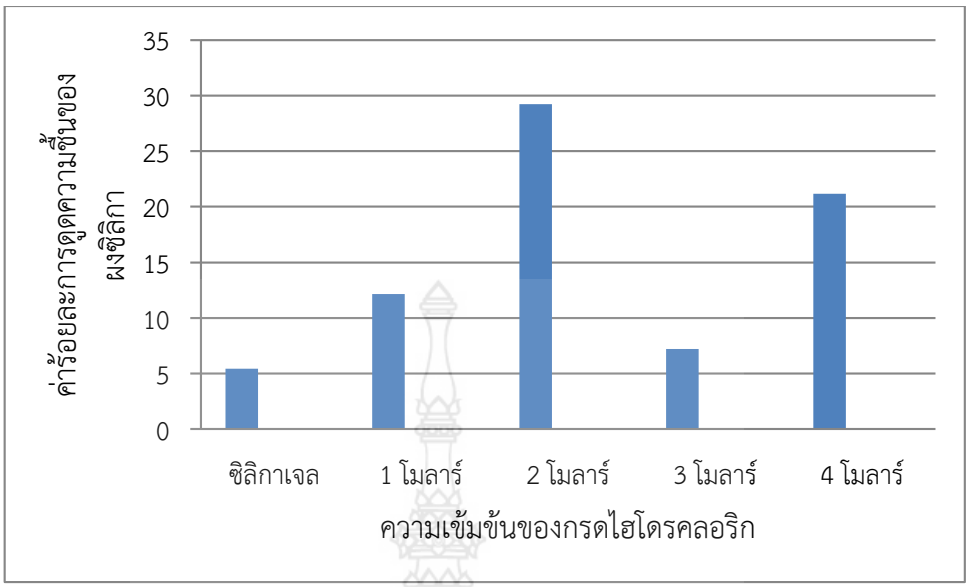
$$= \frac{(\text{น้ำหนักของผงซิลิกาหลังการดูดความชื้น} - \text{น้ำหนักของผงซิลิกาก่อนการดูดความชื้น}) \times 100}{\text{น้ำหนักของผงซิลิกาก่อนการดูดความชื้น}}$$

พบว่าค่าร้อยละการดูดความชื้นมีค่าเป็น 5.45, 12.14, 29.21, 7.21 และ 21.18 ตามลำดับ ดังตาราง 4.3

ผงซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 2 โมลาร์ มีค่าร้อยละการดูดความชื้นมากที่สุดถึงร้อยละ 29.21 แม้ว่าค่าความบริสุทธิ์ของซิลิกาที่ได้จากเครื่อง XRF จะมีค่าต่ำที่สุด (การทดลอง 4.2) คาดว่าเป็นเพราะซิลิกามีรูปร่างไม่แน่นอน กรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้นนี้อาจทำให้โครงสร้างของซิลิกาเอื้อต่อการจับกับความชื้นในอากาศได้มากกว่าซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นอื่น (ภาพ 4.3)

ตาราง 4.3 แสดงค่าร้อยละการดูดความชื้นของผงซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์

ซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้นต่างๆ	ค่าร้อยละการดูดความชื้นของผงซิลิกา
ซิลิกาเจลบดเป็นผง (ตัวควบคุม)	5.45
1 โมลาร์	12.14
2 โมลาร์	29.21
3 โมลาร์	7.21
4 โมลาร์	21.18



ภาพ 4.3 กราฟแสดงค่าร้อยละการดูดความชื้นของผงซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์

4.3.2 ผลการศึกษาการเก็บกักน้ำของผงซิลิกา

ศึกษาการเก็บกักน้ำของผงซิลิกาที่ความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์ โดยการนำผงซิลิกามาใส่กระดาษกรองแล้วเติมน้ำทีละหยดจนผงซิลิกาอิ่มตัว พบว่า มีค่าร้อยละการเก็บกักน้ำของผงซิลิกา คือ 2.0±0.15, 7.1±0.06, 8.6±0.00, 10.9±0.00 และ 10.9±0.00 ตามลำดับ ดังตาราง 4.4

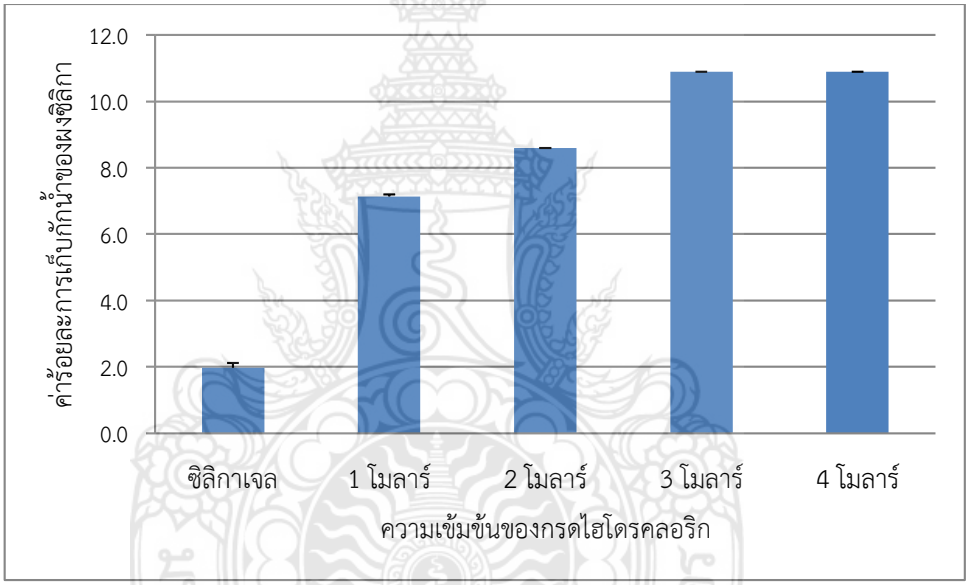
คำนวณหาค่าร้อยละการเก็บกักน้ำได้จาก

$$\text{ร้อยละการเก็บกักน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักหลังเก็บกักน้ำ} - \text{น้ำหนักก่อนเก็บกักน้ำ})}{\text{น้ำหนักก่อนเก็บกักน้ำ}} \times 100$$

จากการศึกษาพบว่าผงซิลิกาที่ต้มด้วยกรดความเข้มข้น 3 และ 4 โมลาร์ มีค่าร้อยละการเก็บกักน้ำมากที่สุดเท่ากัน คือร้อยละ 10.9 ดังภาพ 4.4 เนื่องจากมีค่าความบริสุทธิ์ที่สูงและใกล้เคียงกัน (จากการทดลอง 4.2) จึงทำให้ประสิทธิภาพในการเก็บกักน้ำสูงไปด้วย นอกจากนี้โครงสร้างที่เกิดจากการต้มของกรดในความเข้มข้นทั้งสองค่านี้ คาดว่าเป็นโครงสร้างที่มีรูพรุนสูง จึงสามารถเก็บกักน้ำได้มาก

ตาราง 4.4 แสดงค่าร้อยละการเก็บกักน้ำของผงซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์

ซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้นต่างๆ	ค่าร้อยละการเก็บกักน้ำของผงซิลิกา
ซิลิกาเจลบดเป็นผง (ตัวควบคุม)	2.0±0.15
1 โมลาร์	7.1±0.06
2 โมลาร์	8.6±0.00
3 โมลาร์	10.9±0.00
4 โมลาร์	10.9±0.00



ภาพ 4.4 กราฟแสดงค่าร้อยละการเก็บกักน้ำของผงซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์

4.3.3 ผลการดูดซับน้ำของผงซิลิกา

ศึกษาการดูดซับน้ำโดยการนำผงซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์ และนำซิลิกามาอบให้แห้งสนิท ชั่งน้ำหนักใส่ลงในหลอดทดลอง แล้วเติมน้ำใส่หลอดปริมาตร 10 mL ตั้งไว้นาน 2 นาที จากนั้นดูดน้ำส่วนเกินที่เหลือออกแล้วชั่งน้ำหนัก คำนวณจากสูตร

$$\text{ร้อยละการดูดซับน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักหลังการดูดซับน้ำ} - \text{น้ำหนักก่อนการดูดซับน้ำ}) \times 100}{\text{น้ำหนักก่อนการดูดซับน้ำ}}$$

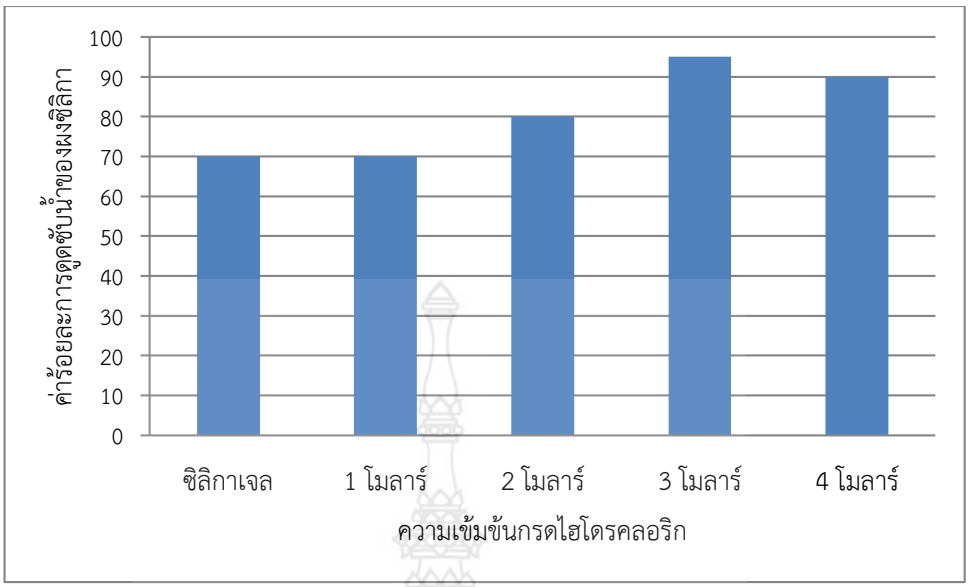
(มาตรฐาน ASTM 109/C 109M, ม.ป.ป.)

พบว่าซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์ มีค่าการดูดซับน้ำร้อยละ 70, 70, 80, 95 และ 90 ตามลำดับ ดังตาราง 4.5

ร้อยละของการดูดซับน้ำของซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 3 และ 4 โมลาร์ มีค่ามากที่สุด (ภาพ 4.5) เนื่องจากซิลิกาทั้ง 2 ความเข้มข้นกรด มีค่าความบริสุทธิ์ที่ใกล้เคียงกันทำให้สามารถดูดซับน้ำได้ดี อาจเป็นเพราะโครงสร้างของซิลิกามีลักษณะเป็นรูพรุนจึงทำให้ดูดซับน้ำได้มาก ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลอง 4.3.2 ด้วย

ตาราง 4.5 แสดงค่าร้อยละการดูดซับน้ำของผงซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์

ซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้นต่างๆ	ค่าร้อยละการดูดซับน้ำของผงซิลิกา
ซิลิกาเจลบดเป็นผง (ตัวควบคุม)	70
1 โมลาร์	70
2 โมลาร์	80
3 โมลาร์	95
4 โมลาร์	90



ภาพ 4.5 กราฟแสดงค่าร้อยละการดูดซับน้ำของผงซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์

4.4 ผลศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดความชื้น

4.4.1 ผลการศึกษาการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์

เมื่อนำผงซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์ ไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์แล้วนำมาทดสอบการดูดความชื้น โดยการวางผลิตภัณฑ์ไว้ในเครื่อง Shaking Incubator ที่มีไอน้ำอิ่มตัวเป็นระยะเวลา 0.25, 0.5, 1, 2 และ 3 ชั่วโมง แล้วหาค่าร้อยละการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ ดังสูตร

ร้อยละการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์

$$= \frac{(\text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์หลังการดูดความชื้น} - \text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ก่อนการดูดความชื้น}) \times 100}{\text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ก่อนการดูดความชื้น}}$$

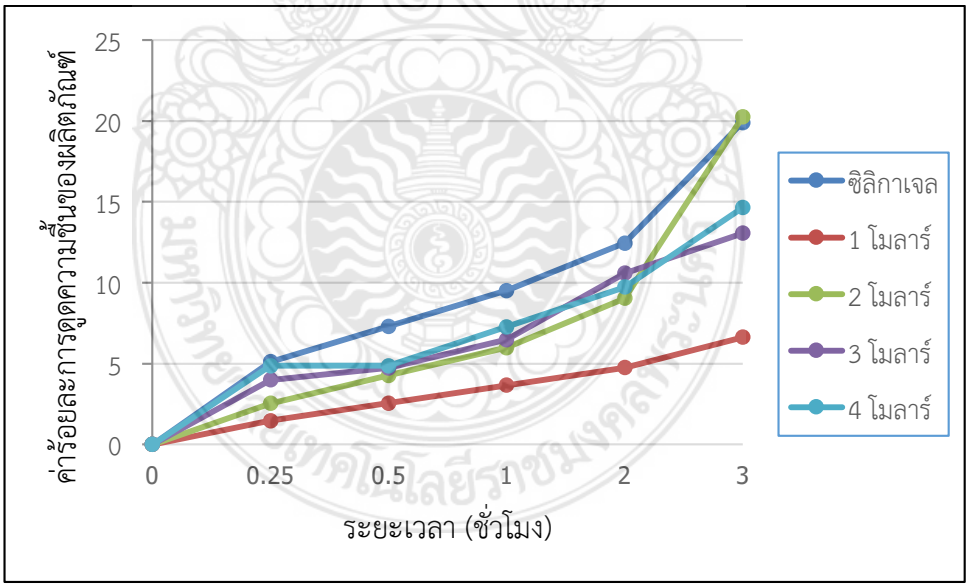
พบว่าผลิตภัณฑ์ลดความชื้นที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากชั่วโมงที่ 0.25 จนถึงชั่วโมงที่ 3 โดยในชั่วโมงที่ 2 และ 3 มีการเพิ่มสูงสุด มีค่าร้อยละการดูดความชื้นเป็น 19.90, 6.63, 20.25, 13. 06 และ 14.64 ตามลำดับ ดังตาราง 4.6

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดความชื้นที่ผ่านการต้มกรดทั้ง 4 ความเข้มข้นแล้ว พบว่าในระยะเวลา 0.25, 0.5, 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ค่าของซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 2 โมลาร์ มีประสิทธิภาพในการดูดความชื้นได้ใกล้เคียงกับ

ซิลิกาทางการค้ามากที่สุดและมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับค่าความเข้มข้นของกรดค่าอื่นๆ (ภาพ 4.4) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ 4.3.1 เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 2 โมลาร์ มีความสามารถในการจับกับความชื้นในอากาศได้ดี (ภาพ 4.6) แต่จากการทดลองที่ 4.3.2 และ 4.3.3 ความเข้มข้นนี้มีความสามารถในการเก็บกักน้ำและดูดซับน้ำต่ำ

ตาราง 4.6 แสดงค่าร้อยละการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์ ในช่วงระยะเวลาต่างๆ

ซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้นต่างๆ	ค่าร้อยละการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์				
	ระยะเวลา (ชั่วโมง)				
	0.25	0.5	1	2	3
ซิลิกาเจล (ตัวควบคุม)	5.12	7.31	9.51	2.45	19.90
1 โมลาร์	1.47	2.56	3.66	4.75	6.63
2 โมลาร์	2.54	4.27	5.98	9.03	20.25
3 โมลาร์	4.00	4.74	6.48	10.58	13.06
4 โมลาร์	4.86	4.86	7.28	9.72	14.64



ภาพ 4.6 กราฟแสดงค่าร้อยละการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์ ในช่วงระยะเวลาต่างๆ

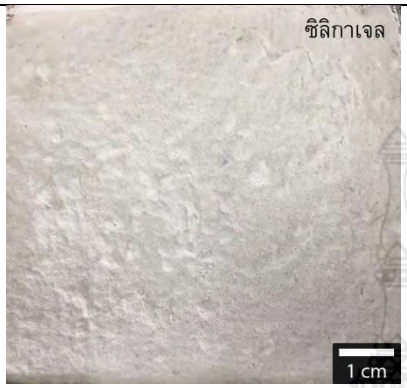
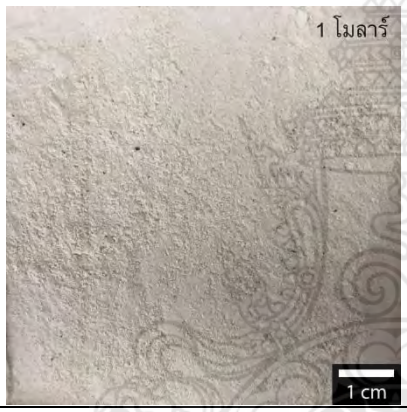
4.4.2 ผลการสังเกตลักษณะการยึดเกาะผิวของซิลิกาในผลิตภัณฑ์

4.4.2.1 ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

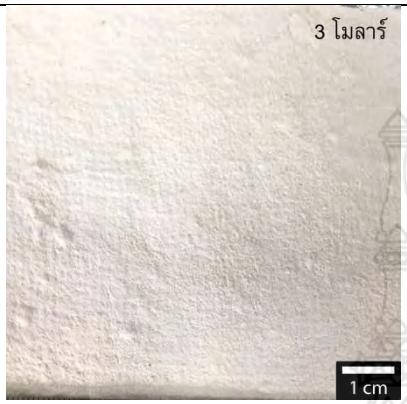
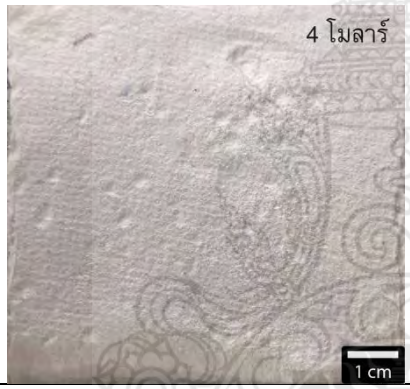
จากการสังเกตลักษณะการยึดเกาะผิวของซิลิกาในผลิตภัณฑ์ พบว่าผงซิลิกาเจลทางการค้าซิลิกามีสีขาว มีการยึดเกาะเป็นแผ่นหนาบนผลิตภัณฑ์ ผงซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ ซิลิกามีสีน้ำตาลอ่อน มีการยึดเกาะที่หนาบางจุดบนผลิตภัณฑ์ ผงซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 โมลาร์ ซิลิกาสีน้ำตาล มีการยึดเกาะกันเป็นแผ่นบางบนผลิตภัณฑ์ ผงซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 3 โมลาร์ ซิลิกาสีขาวอมเหลือง มีการยึดเกาะเป็นแผ่นหนาบนผลิตภัณฑ์ และผงซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 4 โมลาร์ ซิลิกาสีขาว มีการยึดเกาะเป็นแผ่นหนาบนผลิตภัณฑ์เช่นเดียวกันกับที่กรดความเข้มข้น 3 โมลาร์ ดังภาพ 4.7

การยึดเกาะผงซิลิกาและซิลิกาเจลกับผลิตภัณฑ์ไม่เท่ากันเนื่องจากมีผงซิลิกาบางส่วนร่วงไปหลังจากผลิตภัณฑ์แห้ง แต่ผลิตภัณฑ์จากซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 โมลาร์ มีการยึดเกาะได้ดีกว่าความเข้มข้นอื่น จึงสามารถจับกับความชื้นในอากาศได้มาก รวมถึงคุณสมบัติของผงซิลิกาของความเข้มข้นกรดนี้สามารถดูดความชื้นในบรรยากาศได้ดี (สอดคล้องกับผลการทดลอง 4.3.1) จึงทำให้ผลของการดูดความชื้นในอากาศของผลิตภัณฑ์ที่ความเข้มข้นกรด 2 โมลาร์ มีค่าสูงไปด้วย (ผลการทดลอง 4.4)

ตาราง 4.7 ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

ภาพของพื้นผิวผลิตภัณฑ์	ลักษณะการยึดเกาะของซิลิกาบนผลิตภัณฑ์
	ซิลิกามีสีขาว มีการยึดเกาะเป็นแผ่นหนาบนผลิตภัณฑ์
	ซิลิกามีสีขาวอมน้ำตาลอ่อน มีการยึดเกาะที่หนาบางจุดบนผลิตภัณฑ์
	ซิลิกาสีขาวอมน้ำตาล มีการยึดเกาะกันเป็นแผ่นบางบนผลิตภัณฑ์

ตาราง 4.7 ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

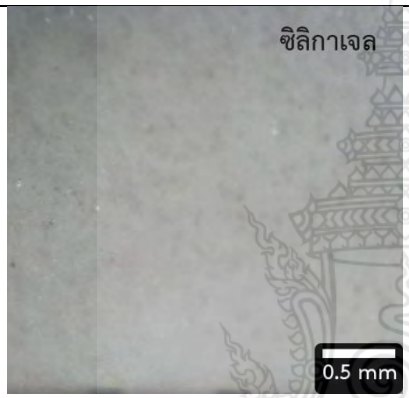
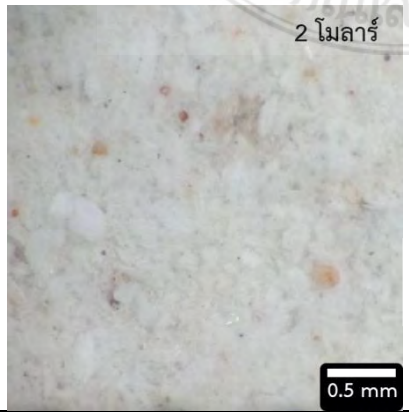
ภาพของพื้นผิวผลิตภัณฑ์	ลักษณะการยึดเกาะของซิลิกาบนผลิตภัณฑ์
	ซิลิกาสีขาวอมเหลือง มีการยึดเกาะเป็นแผ่นหนาบนผลิตภัณฑ์
	ซิลิกาสีขาว มีการยึดเกาะเป็นแผ่นหนาบนผลิตภัณฑ์

4.4.2.2 ผลการสังเกตลักษณะการยึดเกาะพื้นผิวของซิลิกาในผลิตภัณฑ์เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ

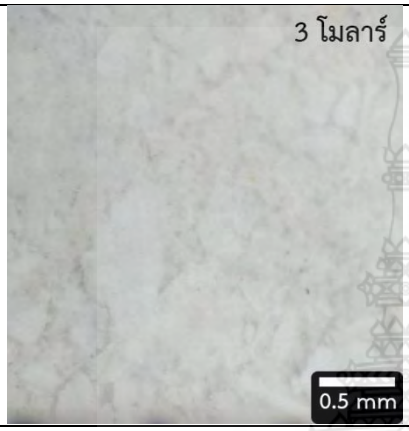
ลักษณะของซิลิกาที่ยึดเกาะกับผลิตภัณฑ์เมื่อมองผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ พบว่า ซิลิกาเจลทางการค้าซิลิกาเป็นผลึกใส มีการยึดเกาะเป็นแผ่นหนา มีขนาดสม่ำเสมอ ซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ ผลึกซิลิกามีสีขาวขุ่น มีการยึดเกาะที่หนาบางจุด มีขนาดเป็นแผ่นเล็ก ซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 โมลาร์ ผลึกซิลิกามีสีขาวขุ่น มีการยึดเกาะที่หนาและมีสิ่งเจือปนสีน้ำตาล มีขนาดเป็นแผ่นเล็ก ซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 3 และ 4 โมลาร์ ผลึกซิลิกามีสีขาวขุ่น มีการยึดเกาะที่หนา มีขนาดเป็นแผ่นใหญ่ ดังตาราง 4.8

เนื่องจากการยึดเกาะของผลิตภัณฑ์ซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีการยึดเกาะพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ที่ไม่เท่ากันทำให้มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ โดยซิลิกาที่ยึดเกาะกับผลิตภัณฑ์ได้มากก็จะสามารถดูดจับความชื้นในอากาศได้มากกว่าซิลิกาที่ยึดเกาะกับผลิตภัณฑ์ได้น้อย

ตาราง 4.8 ลักษณะการยึดเกาะพื้นผิวของซิลิกาในผลิตภัณฑ์เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ

ภาพของพื้นผิวผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ	**ลักษณะการยึดเกาะของซิลิกาบนผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ**
	ซิลิกาเป็นผลึกใส มีการยึดเกาะเป็นแผ่นหนา มีขนาดเป็นแผ่นเล็ก
	ผลึกซิลิกามีสีขาวขุ่น มีการยึดเกาะที่หนาบางจุด มีขนาดเป็นแผ่นเล็ก
	ผลึกซิลิกามีสีขาวขุ่น มีการยึดเกาะที่หนาและ มีสิ่งเจือปนสีน้ำตาล มีขนาดเป็นแผ่นเล็ก

ตาราง 4.8 ลักษณะการยึดเกาะพื้นผิวของซิลิกาในผลิตภัณฑ์เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ (ต่อ)

ภาพของพื้นผิวผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ	ลักษณะการยึดเกาะของซิลิกาบนผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ
	ผลึกซิลิกามีสีขาวขุ่น มีการยึดเกาะที่หนา มีขนาดเป็นแผ่นใหญ่
	ผลึกซิลิกามีสีขาวขุ่น มีการยึดเกาะที่หนา มีขนาดเป็นแผ่นใหญ่

จากผลการทดลองทั้งหมด พบว่า เมื่อทำการทดลองดูดความชื้นในอากาศ เช่น การดูดความชื้นของผงซิลิกา และการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ ซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 โมลาร์ จะมีประสิทธิภาพสูงที่สุด รองลงมาเป็น 4 โมลาร์

ในการทดลองการดูดซับและเก็บกักน้ำ ซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 3 และ 4 โมลาร์ มีประสิทธิภาพดี ทั้งนี้เป็นเพราะลักษณะโครงสร้างของซิลิกาที่ผ่านการย่อยด้วยกรดความเข้มข้นแตกต่างกันให้ลักษณะโครงสร้างต่างกันด้วย โครงสร้างที่ย่อยด้วยกรดความเข้มข้น 2 โมลาร์ สามารถดูดความชื้นในอากาศได้ดี ในขณะที่ 3 และ 4 โมลาร์ สามารถเก็บกักน้ำได้ดีกว่า เนื่องจากมีรูพรุนและความบริสุทธิ์ที่มากกว่า

ลักษณะของผลิตภัณฑ์เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ สนับสนุนแนวคิดนี้ เนื่องจากซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 โมลาร์ เป็นผลึกซิลิกามีสีขาวขุ่น มีการยึดเกาะที่หนาและ มีสิ่งเจือปนสีน้ำตาล มีขนาดเป็นแผ่นเล็กกว่า 3 และ 4 โมลาร์ และเกาะเป็นกลุ่มน้อยกว่า การนำไปใช้จึงควรเลือกประเภทให้เหมาะสมกับลักษณะของการใช้งาน อย่างไรก็ตาม การนำซิลิกาที่สกัดจากใบไผ่มาใช้ให้เกิดประโยชน์เป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์และยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ลดความชื้นด้วยการใช้สารสกัดซิลิกาจากใบไผ่ โดยใช้ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์ สามารถสรุปผลและข้อเสนอแนะได้ดังนี้

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาการทำผลิตภัณฑ์ลดความชื้นที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วยการใช้สารสกัดซิลิกาจากใบไผ่ที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์ พบว่าความบริสุทธิ์ของซิลิกาที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRF มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงร้อยละ 90-96 เมื่อทดสอบคุณภาพของผงซิลิกาและผลิตภัณฑ์ได้ผลดังนี้

5.1.1 ผลการศึกษาคุณภาพของผงซิลิกาที่สกัดจากใบไผ่

ผลการดูดความชื้นของผงซิลิกาเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง พบว่า ผงซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 โมลาร์ สามารถดูดความชื้นได้มากที่สุด คือ ร้อยละ 29.21 เนื่องจากซิลิกาที่สกัดได้มีรูปร่างภายในที่ไม่แน่นอน เมื่อต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริก กรดจะเข้าไปย่อยสารประกอบอื่นๆ ออก ส่งผลให้โครงสร้างภายในของซิลิกาที่สกัดด้วยความเข้มข้นกรดดังกล่าวมีการเอื้อต่อการจับกับความชื้นในอากาศได้ดี

ผลการเก็บกักน้ำของผงซิลิกา พบว่า ผงซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 3 และ 4 โมลาร์ สามารถกักเก็บน้ำได้มากที่สุดเท่ากันที่ร้อยละ 10.9 เพราะผงซิลิกาทั้งสองความเข้มข้นนี้ มีค่าความบริสุทธิ์ที่ใกล้เคียงกัน ทำให้ค่าร้อยละการเก็บกักน้ำมีค่าที่สูงตามไปด้วย คาดว่าเป็นโครงสร้างที่มีรูพรุนสูงจึงสามารถเก็บกักน้ำได้มาก

ผลการดูดซับน้ำของผงซิลิกา พบว่า ผงซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 3 และ 4 โมลาร์ ดูดซับน้ำได้มากที่สุดที่ร้อยละ 95 และ 90 ตามลำดับ เนื่องจากที่โครงสร้างมีรูพรุนจึงดูดซับน้ำไว้ได้ในปริมาณมาก ซึ่งสอดคล้องกับผลของการกักเก็บน้ำของผงซิลิกา

5.1.2 ผลการศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ผลการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ พบว่า ซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์ มีประสิทธิภาพในการดูดความชื้นสูง และเมื่อเทียบกับซิลิกาเจลทางการค้าแล้ว ซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 โมลาร์ จะมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับซิลิกาเจลทางการค้ามากที่สุด เนื่องจากการยึดเกาะของซิลิกากับผิวของผลิตภัณฑ์มีการเกาะกันหนาและโครงสร้างของซิลิกามีความสามารถในการจับกับความชื้นในอากาศได้ดี

เมื่อสังเกตลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์และสังเกตลักษณะการยึดเกาะพื้นผิวของซิลิกาในผลิตภัณฑ์โดยการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ พบว่า การยึดเกาะระหว่างผงซิลิกากับผลิตภัณฑ์ มีการยึดเกาะได้ไม่เท่ากัน ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 โมลาร์ จะมีการยึดเกาะได้ดีกว่า และยึดเกาะผลิตภัณฑ์ได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ความเข้มข้นอื่น

จากผลการศึกษาทั้งหมด พบว่า การสกัดซิลิกาจากใบไผ่ด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 โมลาร์ ทำให้โครงสร้างของซิลิกาสามารถดูดซับความชื้นจากอากาศได้ดีที่สุด ในขณะที่ความเข้มข้นกรด 3 และ 4 โมลาร์ โครงสร้างของซิลิกามีรูพรุนจึงกักเก็บน้ำได้ดีกว่า และการยึดเกาะของซิลิกากับผลิตภัณฑ์ ซิลิกาที่ผ่านการต้มด้วยกรดความเข้มข้น 2 โมลาร์ มีการยึดเกาะกับผลิตภัณฑ์ได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ความเข้มข้นอื่น การนำไปใช้จึงควรเลือกความเข้มข้นของกรดที่ใช้สกัดให้เหมาะสมกับลักษณะการนำไปใช้งาน

การศึกษาผลิตภัณฑ์ดูดความชื้นที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วยการใช้สารสกัดซิลิกาจากใบไผ่เป็นวิธีการที่ทำได้ง่ายและเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่า อีกทั้งผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และไม่ทำให้เกิดปัญหามลพิษตามมาในภายหลัง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาเทคโนโลยีในการทำให้ซิลิกายึดเกาะกับผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น โดยลดการใช้สารเคมีลง

5.2.2 ควรศึกษาการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทอื่นที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบมาใช้ในการสกัดซิลิกาเพิ่มมากขึ้น

5.2.3 ควรศึกษาลักษณะโครงสร้างของซิลิกาที่ได้แต่ละความเข้มข้นกรดอย่างละเอียดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) เพื่อการยืนยันผลลักษณะทางโครงสร้างของซิลิกาให้สอดคล้องกับผลการทดลองมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2558. **ปัญหาวัสดุเหลือทิ้ง**. กรุงเทพฯ.

การแก้ปัญหาใบไผ่ร่วง. ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.kasetporpeangclub.com/forums/, 5 ธันวาคม 2561.

การเลือกใช้สารดูดความชื้น. ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.tanapolvanich.com/dry-bag/html/Quantity_of_Humidity_th.htm#1, 12 มกราคม 2561.

การหาปริมาณความชื้น. 2555. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.engineerthailand.com/moisture.html, 5 ธันวาคม 2561.

ความรู้เกี่ยวกับวัตถุดูดความชื้น. 2557. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.chobtham.com/14488828/ความรู้เกี่ยวกับวัตถุดูดความชื้น, 5 ธันวาคม 2561.

เครื่อง X-rayfluorescence XRF. ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : https://stic.mfu.ac.th/stic-analysis-tools/stic-tool-detail/16.html, 5 ธันวาคม 2561.

จิตรลาด ชูมี. 2554. **รายงานการวิจัยเรื่องการเตรียมซิลิกาบริสุทธิ์สูงจากแกลบข้าวเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ซีโอไลต์**. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา, กรุงเทพฯ.

ชัยศรี ธาราสวัสดิ์พิพัฒน์ และ โกวิท สุวรรณหงษ์. 2554. **รายงานการวิจัยเรื่องการผลิตพลังงานทดแทนจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร่วมกับวัชพืชน้ำ ในพื้นที่อำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม**. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา, กรุงเทพฯ.

ซิลิกา. 2552. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : https://www.siamchemi.com/ซิลิกา/, 23 พฤศจิกายน 2561.

ณัฐวุฒิ ดุษฎี และคณะ. 2560. **รายงานการวิจัยการเพิ่มคุณภาพชีวมวลเหลือใช้ทางการเกษตรโดยกระบวนการเพิ่มความหนาแน่นและทอร์รีแฟคชั่นสำหรับการผลิตไฟฟ้าเพื่อชุมชน.** มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.

ดารณี จารีมิตร. 2549. **แนวทางการออกแบบและจัดการอาคารสำนักงานเพื่อป้องกันโรคติดต่อทางอากาศ.** คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธนวิทย์ เรืองนาราบ. 2558. **การเลือกใช้สิ่งของเครื่องใช้อย่างสร้างสรรค์ โดยการเลือกสิ่งของเครื่องใช้ที่เป็นมิตรกับชีวิตสังคมและสิ่งแวดล้อม.** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : https://sites.google.com/site/supertn5566/hnwy-thi-4-reuxng-thi-2-kar-leuxk-chi-singkhxng-kheruxng-chi-xyang-srangsrrkh-doy-kar-leuxk-singkhxng-kheruxng-chi-thi-pen-mitr-kab-chiwit-sangkhm-laea-sing-waedlxm, 31 ธันวาคม 2561.

ธนาชัย จงสุวรรณไพศาล. 2549. **ผนังดูดซับความชื้นด้วยซิลิกาที่สกัดจากแกลบ.** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. (ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง). คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ธนาชัย จงสุวรรณไพศาล. 2552. ผนังดูดซับความชื้นด้วยซิลิกาที่สกัดจากแกลบ. **วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง**. 6, 1 (มกราคม-มิถุนายน) : 49-63.

ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร และคณะ. 2546. **การวิจัยและพัฒนาการผลิตปุ๋ยหมักในเชิงอุตสาหกรรมจากเศษวัสดุพืชเหลือใช้ในการเกษตรกรรมและการถ่ายทอดเทคโนโลยีเพื่อเสริมสร้างโอกาสทางเศรษฐกิจชุมชน.** ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร, คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

นันทพร คงคะจันทร์ และคณะ. 2556. การหาลักษณะเฉพาะของซิลิกาบริสุทธิ์จากแกลบที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยกรด. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. 21, 2 (เมษายน-มิถุนายน) : 159-166.

นิทัศน์ ทิพยโสตนัยนา. 2557. **นาโนซิลิกาสังเคราะห์จากแกลบข้าวเพื่อเพิ่มคุณภาพการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีบนกระดาษคราฟต์ขาว.** วิทยานิพนธ์ดุษฎีบัณฑิต. (ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุ). บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิธิ เอียงศรีวงศ์. 2536. ภูมิปัญญาท้องถิ่นการจัดการทรัพยากร. **ทิศทางไท**. 5, 2 (สิงหาคม) : 3-6.

นิธินาถ ศุภกาญจน์. 2559. **รายงานการวิจัยเรื่องการศึกษาสมบัติทางกายภาพของพอลิบิวทิลีนอะดิเปทโคเทอเรบทาเลทคอมโพสิทที่เสริมแรงโดยซิลิกาจากแกลบ.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

นิยม บุญถนอม. 2533. **รายงานการวิจัยเรื่องการศึกษาการนำไฟฟ้าของซิลิกอนไดออกไซด์ที่เตรียมจากแกลบโดัปด้วยสารลิเธียมออกไซด์.** มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

บริษัท พาราไซแอนติฟิค จำกัด. 2547. **เครื่อง X-ray Fluorescence (XRF)**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.barascientific.com/products/shimadzu/scientific/emission/thai/XRF/XRF-1800.php, 5 ธันวาคม 2561.

ประเทือง อุษาบริสุทธิ์ และ ธารินี มหายศนันท์. 2548. การศึกษาการอัดแท่งถ่านเหง้ามันสำปะหลังโดยใช้เครื่องอัดถ่านแม่แรงไฮโดรลิก. **วิศวกรรมสาร.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 19, 56 (สิงหาคม–พฤศจิกายน) : 32-40.

พัชรินทร์ วรธนกุล. 2553. **รายงานการวิจัยเรื่องเทคโนโลยีสังเคราะห์ซิลิกาจากชานอ้อย.** คณะวิศวะกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

ภัทรา เพ่งธรรมกีรติ และคณะ. 2561. การแยกซิลิกาจากเถ้าลอยชีวมวลด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลในสภาวะเบสและการตกตะกอนซิลิกาด้วยกรดอินทรีย์. **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ**. 28, 1 (มกราคม-มีนาคม) : 175-182.

ไม้ไผ่และหวาย/ไผ่ซาง. ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.dnp.go.th/EPAC/bamboo_rattan/bamboo04.htm, 8 ธันวาคม 2561.

ยุรนันท์ โสมณวัตร และ นิพนธ์ ตันไพบูลย์กุล. 2556**.** ผลของอุณหภูมิที่ใช้เผาต่อสมบัติทางเคมีของตะกอนจากโรงผลิตน้ำประปาและเถ้าชานอ้อย. **วารสารการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยมหาสารคามวิจัย ครั้งที่ 13**. 13, 1 : 169-178.

รินภา เส็งสาย และ อรพรรณ ไวแพน. 2541**. ศึกษาเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดซิลิกาจากขี้เถ้าชานอ้อย.** มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, 2541.

เลอพงศ์ จารุพันธ์. 2561. **เพิ่มคุณภาพการพิมพ์ด้วยนาโนซิลิกาจากแกลบข้าว**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=41523, 5 ธันวาคม 2561.

วิจารณ์ วิชชูกิจ และคณะ. 2542. **การแปรรูปและการใช้ประโยชน์มันสำปะหลัง**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.thailandtapiocastarch.net/download/download-th-17.pdf, 12 มกราคม 2562.

วิทยา อินทร์สอน และคณะ. 2558. **ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม.** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.thailandindustry.com/onlinemag/view2.php?id=63&section=30&issues=3.

ศรีเพ็ญ ท้าวตา และคณะ. 2531. **รายงานการวิจัยการเตรียมซิลิกอนไดออกไซด์จากแกลบ.** คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, กรุงเทพฯ.

ศิริชัย ก้านกิ่ง และคณะ. 2544. **อิทธิพลของแหล่งชานอ้อยและปริมาณของซิลิกาในผงเถ้าชานอ้อยที่มีต่อสมบัติการบ่มสุกและเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติ.** คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

สรินทร ลิ่มปนาท, กฤษณา ศิรเลิศมุกุล และ ศรีไฉล ขุนทน. 2546. **รายงานการวิจัยการเตรียมแผ่นกรองซิลิกาจากขี้เถ้าแกลบ.** สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , กรุงเทพฯ.

สำนักชลประทานที่ 14. ศูนย์สารสนเทศ. ม.ป.ป. **ความชื้น.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://kmcenter.rid.go.th/kmc14/f_water/PDF/situation6.pdf, 5 ธันวาคม 2561.

สิริลักษณ์ เจียรากร. 2546. **การใช้ซิลิกาจากแกลบข้าวเพื่อสังเคราะห์เมโซพอรัสโมเลคิวลาร์ซีฟ เอ็มซีเอ็ม 41 สำหรับใช้เร่งปฏิกิริยาไฮโดรดิคลอริเนชันของสารประกอบอินทรีย์คลอรีนที่ระเหยได้.** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. (ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม). คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุทัศน์ เล้าสกุล และ ณัฏฐากร เสมสันทัด. 2545. **การขยายพันธุ์ การปลูก และการจัดการสวนไผ่เศรษฐกิจ**. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

อภิญญา นิลยอง. 2553. **การใช้ประโยชน์เถ้าลอยชานอ้อยในการดูดซับสารไฮโดรคาร์บอน ที่ปนเปื้อนในน้ำ.** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. (ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี). คณะวิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย.

American Society for Testing and Materials. 2002. Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortar, **Annual Book of ASTM Standard**. n.p., Philadelphia.

Bamboo phylogeny group. 2012. An updated tribal and subtribal classification for the Bambusoideae (Poaceae). in **Proc of the 9th World Bamboo Congress.** pp. 3–27; Gielis, J.and Potters, G., editor. World Bamboo Organization. Antwerp, Belgium.

Cowan, Henry J. and Perter R. Smith. 1988. **The science and technology of building materials.** Van Nostrand Reinhold, New York.

Lewis, Richard S. 1993. **Hawley's condensed chemical dictionary.** 10th ed. Van Nostrand Reinhold, New York.

Limaye, V. D. 1952. Strength of bamboo (Dendrocalamus strictus). **Indian Forest Records** 1,1 (January) : 1–17.

Ma, Jin Fu, Tamai, Kazunori, Yamaji, Naoki, Mitani, Namiki, Konishi, Saeko, Katsuhara, Maki, Ishiguro, Masaki, Murata, Yoshiko and Yano, Masashiro. 2006. A silicon transporter in rice. **Nature**. 440, 7084 (April) : 688–691.

Matthes, R.K. and Rushing, K.W. 1972. Seed drying and conditioning. **Mississipi Seed Technology Laboratory**, 23-37.

Microscopes 101 – General Knowledge. 2018. [Online]. Available : https://www.microscope.com/education-center/microscopes-101/, November 23, 2018.

Scheidegger, A., Borkovec, M., and Sticher, H. 1993. Coating of silica sand with goethite: preparation and analytical identification. **Geoderma**. 58,1-2 (August) : 43-65.

ภาคผนวก

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ภาคผนวก

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางภาคผนวก 1 แสดงค่าร้อยละการตรวจวัดหาความบริสุทธิ์ของซิลิกาด้วยเครื่อง XRF

ซิลิกาที่ได้จากการต้มด้วยกรดความเข้มข้นต่างๆ	ค่าร้อยละการตรวจวัดความบริสุทธิ์ของซิลิกา		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
1 โมลาร์	89.8	95.1	92.5±3.7
2 โมลาร์	88.5	90.9	89.7±1.7
3 โมลาร์	95.3	94.9	95.1±0.3
4 โมลาร์	98.5	95.1	96.8±2.4

ตารางภาคผนวก 2 แสดงค่าน้ำหนักก่อนและหลังการดูดความชื้นของผงซิลิกาและซิลิกาเจลทางการค้าในระยะเวลา 3 ชั่วโมง

ซิลิกาที่ได้จากการต้มด้วยกรดความเข้มข้นต่างๆ	น้ำหนักของผงซิลิกาก่อนการดูดความชื้น (กรัม)	น้ำหนักของผงซิลิกาหลังการดูดความชื้น (กรัม)
ซิลิกาเจลบดเป็นผง (ตัวควบคุม)	2.02	2.13
1 โมลาร์	2.06	2.31
2 โมลาร์	2.02	2.61
3 โมลาร์	2.08	2.23
4 โมลาร์	2.03	2.46

ตารางภาคผนวก 3 แสดงค่าน้ำหนักการเก็บกักน้ำของผงซิลิกาและซิลิกาเจลทางการค้า

ซิลิกาที่ได้จากการต้มด้วยกรดความเข้มข้นต่างๆ	น้ำหนักของผงซิลิกาในการเก็บกักน้ำ (กรัม)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
ซิลิกาเจลบดเป็นผง (ตัวควบคุม)	2.1	1.8	2.0	2.0±0.15
1 โมลาร์	7.1	7.1	7.2	7.1±0.06
2 โมลาร์	8.6	8.6	8.6	8.6±0.00
3 โมลาร์	10.9	10.9	10.9	10.9±0.00
4 โมลาร์	10.9	10.9	10.9	10.9±0.00

ตารางภาคผนวก 4 แสดงค่าน้ำหนักการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์จากสารสกัดซิลิกาจากใบไผ่และซิลิกาเจลทางการค้า

ซิลิกาที่ได้จากการต้มด้วยกรดความเข้มข้นต่างๆ	น้ำหนักของผงซิลิกาก่อนการดูดซับน้ำ (กรัม)	น้ำหนักของผงซิลิกาหลังการดูดซับน้ำ (กรัม)
ซิลิกาเจลบดเป็นผง (ตัวควบคุม)	2	3.4
1 โมลาร์	2	3.4
2 โมลาร์	2	3.6
3 โมลาร์	2	3.9
4 โมลาร์	2	3.8

ตารางภาคผนวก 5 แสดงน้ำหนักก่อนและหลังการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์จากสารสกัดซิลิกาจากใบไผ่และซิลิกาเจลทางการค้าครั้งที่ 1 ตามระยะเวลาที่กำหนด

ซิลิกาที่ได้จากการต้มด้วยกรดความเข้มข้นต่างๆ	น้ำหนักเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์	น้ำหนักของผลิตภัณฑ์หลังดูดความชื้น (กรัม)				
		การดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ (ชั่วโมง)				
		0.25	0.5	1	2	3
ซิลิกาเจล (ตัวควบคุม)	0.85	0.87	0.89	0.92	0.94	0.97
1 โมลาร์	0.79	0.79	0.80	0.81	0.82	0.84
2 โมลาร์	0.45	0.46	0.47	0.48	0.50	0.53
3 โมลาร์	0.38	0.39	0.39	0.40	0.41	0.42
4 โมลาร์	0.40	0.41	0.41	0.42	0.43	0.45

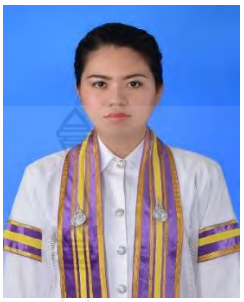
ตารางภาคผนวก 6 แสดงน้ำหนักก่อนและหลังการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์จากสารสกัดซิลิกาจากใบไผ่และซิลิกาเจลทางการค้าครั้งที่ 2 ตามระยะเวลาที่กำหนด

ซิลิกาที่ได้จากการต้มด้วยกรดความเข้มข้นต่างๆ	น้ำหนักเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์	น้ำหนักของผลิตภัณฑ์หลังดูดความชื้น (กรัม)				
		การดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ (ชั่วโมง)				
		0.25	0.5	1	2	3
ซิลิกาเจล (ตัวควบคุม)	0.89	0.91	0.93	0.94	0.98	1.13
1 โมลาร์	1.32	1.35	1.36	1.37	1.38	1.39
2 โมลาร์	1.02	1.04	1.05	1.06	1.07	1.12
3 โมลาร์	0.92	0.94	0.95	0.95	0.96	0.97
4 โมลาร์	0.88	0.90	0.90	0.91	0.92	0.93

ตารางภาคผนวก 7 แสดงน้ำหนักก่อนและหลังการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์จากสารสกัดซิลิกาจากใบไผ่และซิลิกาเจลทางการค้าครั้งที่ 3 ตามระยะเวลาที่กำหนด

ซิลิกาที่ได้จากการต้มด้วยกรดความเข้มข้นต่างๆ	น้ำหนักเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์	น้ำหนักของผลิตภัณฑ์หลังดูดความชื้น (กรัม)				
		การดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ (ชั่วโมง)				
		0.25	0.5	1	2	3
ซิลิกาเจล (ตัวควบคุม)	1.02	1.13	1.15	1.17	1.19	1.21
1 โมลาร์	1.41	1.43	1.44	1.45	1.46	1.48
2 โมลาร์	0.91	0.93	0.94	0.95	0.97	1.12
3 โมลาร์	0.82	0.83	0.83	0.83	0.85	0.85
4 โมลาร์	0.79	0.81	0.81	0.81	0.81	0.82

ประวัติการศึกษา



ชื่อ นามสกุล นางสาวศิริวรรณ พรมเกตุจันทร์

วัน เดือน ปีเกิด 31 ธันวาคม พ.ศ. 2539

ภูมิลำเนา อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	**ชื่อสถาบัน**	**ปีที่สำเร็จการศึกษา**
วท.บ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	พ.ศ. 2561
มัธยมศึกษาปีที่ 6	โรงเรียนไทรน้อย	พ.ศ. 2557

ทุนการศึกษา

ทุนอุดหนุนงบประมาณจากโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ประวัติการศึกษา

ชื่อ นามสกุล นายฐาปกรณ์ วงษ์ประยูร

วัน เดือน ปีเกิด 31 พฤษภาคม พ.ศ.2539

ภูมิลำเนา อำเภอเสาไห้ จังหวัดสระบุรี

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	**ชื่อสถาบัน**	**ปีที่สำเร็จการศึกษา**
วท.บ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	พ.ศ. 2561
มัธยมศึกษาปีที่ 6	โรงเรียนวิมุตยารามพิทยากร	พ.ศ. 2557

ทุนการศึกษา

ทุนอุดหนุนงบประมาณจากโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร