



โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การใช้ซีโอไลต์เพื่อเป็นตัวเติมในการผลิตกระดาษเพื่อดูดซับเอทิลีนจากผลไม้
Use of zeolite as paper filler for ethylene adsorption

ชื่อนิสิต	นางสาวบุศรา จิระวรสุข	เลขประจำตัว	5932621223
ชื่อนิสิต	นางสาวปารมินทร์ วิไลเนตร	เลขประจำตัว	5932625823
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์		
ปีการศึกษา	2562		

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เนื่องจากสถานการณ์การระบาดของโรคไวรัส COVID-19

ในช่วงภาคปลายของปีการศึกษา 2562

จึงส่งผลให้ไม่สามารถดำเนินการได้ครบตามวัตถุประสงค์ของโครงการ

หัวข้อ การใช้ซีไอไลต์เพื่อเป็นตัวเติมในการผลิตกระดาษเพื่อดูดซับเอทิลีนจากผลไม้
นิสิตผู้ดำเนินงาน นางสาวบุศรา จิระวรสุข
นางสาวปารมินทร์ วิไลเนตร
ภาควิชา เทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์ ดร. กุณทีนี สุวรรณกิจ

ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ยอมรับรายงานโครงการวิทยาศาสตร์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

พิชญดา เกตุเมฆ

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ ดร. พิชญดา เกตุเมฆ)

กุณทีนี สุวรรณกิจ

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

(อาจารย์ ดร. กุณทีนี สุวรรณกิจ)

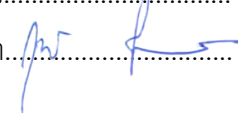
นิสิตผู้ดำเนินงาน นางสาวบุศรา จิระวรสุข รหัสนิสิต 5932621223
นางสาวปารมินทร์ วิไลเนตร รหัสนิสิต 5932625823
ชื่อเรื่อง การใช้ซีโอไลต์เพื่อเป็นตัวเติมในการผลิตกระดาษเพื่อดูดซับเอทิลีนจากผลไม้
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์ ดร. กุณิณี สุวรรณกิจ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ซีโอไลต์เพื่อเป็นตัวเติมในการผลิตกระดาษเพื่อดูดซับเอทิลีนจากผลไม้ โดยมีการใส่สารเพิ่มการกักเก็บ (retention aid) จำพวกพอลิอะคริลาไมด์ ในขั้นแรกได้ทำการหาปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ที่เหมาะสม โดยเตรียมน้ำเยื่อจากเยื่อทางการค้าชนิดใยสั้นและใยยาว ในอัตราส่วน 70:30 (โดยน้ำหนัก) เติมซีโอไลต์ชนิด 4A ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ที่ปริมาณต่าง ๆ ได้แก่ ร้อยละ 0, 0.3, 0.6, 0.9 และ 1.2 จากนั้นขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษ และศึกษาสมบัติของกระดาษที่ผลิตได้ พบว่ากระดาษที่มีปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ร้อยละ 0.3 เหมาะสมมากที่สุดในการผลิตกระดาษที่มีซีโอไลต์ชนิด 4A เนื่องจากสามารถกักเก็บซีโอไลต์ในกระดาษมากที่สุด

การศึกษาสมบัติของกระดาษที่มีซีโอไลต์ชนิด 4A ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ร้อยละ 0.3 เปรียบเทียบกับกระดาษที่ไม่ใส่ Polyacrylamide (CPAM) โดยศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ น้ำหนักมาตรฐาน (Basis Weight) ความหนา (Thickness) ความขาว (Whiteness) ความเรียบ (Smoothness) ความต้านทานการไหลของอากาศ (Air Resistance) ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ความต้านทานต่อแรงฉีกขาด (Tear Resistance) และปริมาณเถ้า (Ash Content) พบว่ากระดาษมีคุณสมบัติดีขึ้นในเรื่องของความขาวและความเรียบ แต่คุณสมบัติด้านความต้านทานต่อแรงดึง และความต้านทานต่อแรงฉีกขาดลดลง จากการศึกษาโครงสร้างของซีโอไลต์ พบว่ามีโครงสร้างเป็นผลึก ที่เกิดการเชื่อมต่อกันของหน่วยทรงสี่หน้าของซิลิเกตและอะลูมิเนต จากการก่อตัวที่เป็นระเบียบดังกล่าว ทำให้ภายในโครงสร้างของซีโอไลต์มีรูพรุนขนาดใหญ่เพียงพอที่จะเกิดกระบวนการดูดซับโมเลกุลสารอินทรีย์จากขนาดเล็กจนถึงขนาด 1 นาโนเมตร ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ซีโอไลต์สามารถดูดซับก๊าซเอทิลีนได้ จึงเลือกใช้ซีโอไลต์ในการยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้

ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์
คณะวิทยาศาสตร์
ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อนิสิตผู้ดำเนินงาน...บุศรา จิระวรสุข
ลายมือชื่อนิสิตผู้ดำเนินงาน...ปารมินทร์ วิไลเนตร
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา...

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือและการให้คำแนะนำอย่างดียิ่งจากอาจารย์ ดร.กุนทีนี้ สุวรรณกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ ข้อคิดเห็น ดูแลอย่างใกล้ชิดตลอด และตรวจสอบเนื้อหางานวิจัยตลอดมา

ขอขอบคุณ บริษัท ไทยซิลิเกตเคมีคัล จำกัด และอาจารย์ ดร.กมลวรรณ ภาคผล ที่ให้ความอนุเคราะห์ สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	ก
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญภาพ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	3
2.1.1 พันธุ์กล้วยในประเทศไทย.....	3
2.1.2 กล้วยหอม.....	5
2.1.3 กระบวนการหายใจของพืช.....	5
2.1.4 วัตถุดูดซับเอทิลีน (Ethylene scavenger).....	7
2.1.5 ซีโอไลต์.....	7
2.1.6 การเกิดซีโอไลต์.....	8
2.1.7 การแบ่งประเภทของซีโอไลต์.....	11
2.1.8 ประโยชน์ของซีโอไลต์.....	19
2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	24
3.1 วัสดุและอุปกรณ์.....	24
3.1.1 วัสดุและสารเคมี.....	24
3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	24
3.2 วิธีการทดลอง.....	25
3.2.1 การหาปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ที่เหมาะสม.....	25
3.2.2 หาความสัมพันธ์ของชนิดและปริมาณซีโอไลต์ต่อการยืดอายุกล้วยหอม.....	26
3.3 การดำเนินการวิจัย.....	27

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	28
4.1 การหาปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ที่เหมาะสม.....	28
4.1.1 น้ำหนักมาตรฐาน (Basis Weight)	28
4.1.2 ความหนา (Thickness)	29
4.1.3 ความขาว (Whiteness)	30
4.1.4 ความเรียบ (Smoothness)	31
4.1.5 ความต้านทานการไหลของอากาศ (Air Resistance)	32
4.1.6 ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength)	33
4.1.7 ความต้านทานต่อแรงฉีก (Tear Resistance)	34
4.1.8 การหาปริมาณเถ้า (Ash content)	35
4.2 การหาความสัมพันธ์ของชนิดและปริมาณซีโอไลต์ต่อการยืดอายุกล้วยหอม.....	36
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	37
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	37
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	37
เอกสารอ้างอิง.....	38
ภาคผนวก.....	40
ภาคผนวก ก.....	41
ภาคผนวก ข.....	43

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 รูปแบบการหายใจแบบ Climacteric กับ Non Climacteric และการตอบสนองต่อการใช้เอทิลีน	7
ภาพที่ 2.2 รูปทรงเตตระฮีดรอลของออกซิเจนโคออร์ดิเนตกับซิลิกอน หรืออลูมิเนียมในหน่วยย่อยของโครงสร้างปฐมภูมิของซีโอไลต์	8
ภาพที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างปฐมภูมิของซีโอไลต์.....	11
ภาพที่ 2.4 ลักษณะหน่วยโครงสร้างทุติยภูมิที่มีหน่วยปฐมภูมิเป็น 4 5 6 8 10 และ 12.....	12
ภาพที่ 2.5 ลักษณะหน่วยโครงสร้างทุติยภูมิของซีโอไลต์.....	13
ภาพที่ 2.6 ลักษณะหน่วยโครงสร้างรูปทรงหลายหน้าขนาดใหญ่.....	13
ภาพที่ 2.7 โครงสร้างสายโซ่ที่เชื่อมต่อกันของ (ก) Analcite และ (ข) Laumontite.....	14
ภาพที่ 2.8 โครงสร้างสายโซ่ที่เชื่อมต่อกันของ (ก) Natrolite, (ข) Brewsterite และ (ค) ZSM-5.....	14
ภาพที่ 2.9 ลักษณะโครงสร้างของ Offretite และ Erionite (ก) Offretite, (ข) C-projection, (ค) Erionite และ (ง) C-projection of erionite.....	15
ภาพที่ 2.10 สายโซ่ทั้ง 3 แบบ คือ (ก) UUDD, (ข) UDUD และ (ค) UDUU.....	15
ภาพที่ 2.11 หน่วยทุติยภูมิใน (ก) Heulandite Group และ (ข) Mordenite Group.....	16
ภาพที่ 2.12 ลักษณะโครงสร้างตามแนวโปรเจกชันหลักของ (ก) Modenite, (ข) Epstilbite, (ค) Ferrierite, (ง) Bikitaite และ (จ) Dachiardite.....	16
ภาพที่ 2.13 ลักษณะโครงสร้างของ ZSM-5 และ (ข) ภาพร่างพื้นที่ผิวของ ZSM-5.....	17
ภาพที่ 2.14 การจัดเรียงตัวของ ZK-5.....	17
ภาพที่ 2.15 หน่วยของพอลิฮีดรอลต่างๆ ในโครงสร้างของ Metanophlogite และ ZSM-39 (ก) 12-Hedron, (ข) 14-Hedron, (ค) 15-Hedron และ (ง) 16-Hedron.....	18
ภาพที่ 2.16 ลักษณะโครงสร้างของ ZSM-39.....	18
ภาพที่ 2.17 ลักษณะโครงสร้างของ Metanophlogite.....	19
ภาพที่ 2.18 ลักษณะโครงสร้างของ Lovdarite.....	19
ภาพที่ 4.1 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อน้ำหนักมาตรฐาน.....	29
ภาพที่ 4.2 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อความหนาของกระดาษ.....	30
ภาพที่ 4.3 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อความขาวของกระดาษ.....	31
ภาพที่ 4.4 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อความเรียบของกระดาษ.....	32
ภาพที่ 4.5 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อความต้านทานการไหลของอากาศของกระดาษ.....	33

	หน้า
ภาพที่ 4.6 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อ Tensile Index ของกระดาษ....	34
ภาพที่ 4.7 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อ Tear Index ของกระดาษ.....	35
ภาพที่ 4.8 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อ Ash (%).....	36

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การจำแนกผลไม้มบางชนิดตามการหายใจ.....	5
ตารางที่ 2.2 กลุ่มแร่ซีโอไลต์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ.....	9
ตารางที่ 2.3 สูตรโมเลกุลของซีโอไลต์ชนิดต่าง ๆ.....	11
ตารางที่ 2.4 การแบ่งชนิดของซีโอไลต์ ตามโครงสร้างทุติยภูมิ.....	12
ตารางที่ 4.1 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อน้ำหนักมาตรฐาน.....	28
ตารางที่ 4.2 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อความหนาของกระดาษ.....	29
ตารางที่ 4.3 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อความขาวของกระดาษ.....	30
ตารางที่ 4.4 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อความเรียบของกระดาษ.....	31
ตารางที่ 4.5 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อความต้านทานการไหลของ อากาศของกระดาษ.....	32
ตารางที่ 4.6 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อ Tensile Index ของกระดาษ.....	33
ตารางที่ 4.7 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อ Tear Index ของกระดาษ.....	34
ตารางที่ 4.8 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อ Ash (%).....	35
ตารางที่ ข.1 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อน้ำหนักมาตรฐาน.....	43
ตารางที่ ข.2 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อความหนาของกระดาษ.....	44
ตารางที่ ข.3 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อความขาวของกระดาษ.....	45
ตารางที่ ข.4 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อความเรียบของกระดาษ.....	46
ตารางที่ ข.5 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อความต้านทานการไหลของ อากาศของกระดาษ.....	48
ตารางที่ ข.6 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อ Tensile Index	49
ตารางที่ ข.7 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อ Tear Index ของกระดาษ.....	51
ตารางที่ ข.8 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อ Ash (%).....	52

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผลผลิตด้านเกษตรกรรม เช่น ผักและผลไม้ ถือว่าเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญที่สร้างรายได้ให้กับประเทศไทย แต่พบว่ายังมีความเสียหายเกิดขึ้นระหว่างการขนส่งและการวางจำหน่ายสูงมาก โดยสาเหตุอาจมาจากโรคแมลง การเปลี่ยนแปลงทางสรีระ และกระบวนการหายใจซึ่งยังเกิดขึ้นอยู่แม้จะเก็บเกี่ยวมาแล้ว เนื่องจากเนื้อเยื่อพืช ทุกชนิดสามารถสร้างก๊าซเอทิลีนได้ทำให้เกิดการสุก ซึ่งจำเป็นต้องมีการใช้บรรจุภัณฑ์เพื่อช่วยป้องกัน ความเสียหายของผลิตภัณฑ์ขณะขนส่ง ดังนั้นจึงต้องทำการควบคุมการหายใจเพื่อชะลอการสุก โดยเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ซึ่งจะช่วยรักษาผลผลิตทางการเกษตรให้คงอยู่ในสภาพเดิมนานที่สุดและยังเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการขนส่งสินค้า

เอทิลีน (C_2H_4) เป็นฮอร์โมนพืชชนิดหนึ่งซึ่งช่วยเร่งอัตราการเสื่อมสภาพของพืช โดยจะไปกระตุ้นเนื้อเยื่อพืชให้มีอัตราการหายใจสูงขึ้น กระตุ้นให้เกิดการสุก ทำให้อายุการเก็บรักษาผักและผลไม้สั้นลง ซึ่งผักและผลไม้แต่ละชนิดผลิตก๊าซเอทิลีนได้ต่างกัน เช่น มะม่วงและกล้วยหอม อยู่ในกลุ่มผลิตก๊าซเอทิลีนได้ปานกลาง โดยวิธีการชะลอหรือยืดอายุการเก็บรักษา คือ เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำหรือการเก็บรักษาใน บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ

บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ (Active Packaging) เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ทำหน้าที่ปกป้องอาหาร และในขณะเดียวกันจะช่วยควบคุมสภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ โดยการยอมหรือสกัดกั้นการแพร่ของก๊าซต่าง ๆ ที่ผ่านเข้า-ออกบรรจุภัณฑ์ให้มีความเหมาะสมตามความต้องการของอาหารหรือผลิตภัณฑ์นั้น ๆ เพื่อยืดอายุและรักษาคุณภาพของสินค้า การควบคุมส่วนประกอบของบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์จะใช้สารเคมี ได้แก่ สารดูดออกซิเจน สารดูดเอทิลีน สารดูดกลิ่น สารดูดความชื้น สารคายคาร์บอนไดออกไซด์ หรือสารยับยั้งจุลินทรีย์ โดยอาจบรรจุใส่ช่องเล็ก ๆ หรือผสมกับฟิล์มที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์โดยตรง

ปัจจุบันมีสารเคมีและวัสดุที่สามารถกำจัดก๊าซเอทิลีนได้หลายชนิด เช่น โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) แต่เนื่องจาก $KMnO_4$ มีความเป็นพิษ จึงเป็นข้อจำกัดในการใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับอาหารโดยตรง วัสดุอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ คือ ซีโอไลต์ เนื่องจากซีโอไลต์มีโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันของซิลิเกตและอะลูมิเนต จากการก่อตัวที่เป็นระเบียบดังกล่าวทำให้ภายในโครงสร้างเกิดเป็นรูพรุน ซึ่งสามารถทำให้อนุภาคของสารและโมเลกุลของก๊าซเกิดปฏิกิริยาหรือถูกกักอยู่ภายในรูพรุนได้ รวมทั้งก๊าซเอทิลีน ปัจจุบันได้มีการนำเอาซีโอไลต์มาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอย่างหลากหลาย เนื่องจากคุณสมบัติที่เพิ่มความจำเพาะต่อการเร่งปฏิกิริยา โดยลดการเกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียงที่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

จากข้อมูลข้างต้นจึงมีแนวคิดในการผลิตกระดาษดูดซับเอทิลีนโดยใช้เส้นใยทางการค้าและใช้ซีโอไลต์เป็นตัวดูดซับก๊าซเอทิลีน เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษากระดาษที่มีซีโอไลต์ในการดูดซับก๊าซเอทิลีนเพื่อยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอม
- 1.2.2 เพื่อศึกษาชนิดของซีโอไลต์ในการดูดซับก๊าซเอทิลีนเพื่อยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอม
- 1.2.3 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซีโอไลต์กับความสามารถในการดูดซับก๊าซเอทิลีนเพื่อยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอม

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 ในด้านความรู้และประสบการณ์ต่อตัวนิสิตเอง
 - 1.3.1.1 ฝึกการทักษะการศึกษา ค้นคว้า หาข้อมูลด้วยตนเอง และการฝึกคิดอย่างสร้างสรรค์
 - 1.3.1.2 ฝึกทักษะการปฏิบัติงาน การใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการ และการประสานงานกับผู้อื่น
 - 1.3.1.3 ฝึกทักษะการแก้ปัญหา
- 1.3.2 ความรู้ ความเข้าใจที่นำไปสู่การแก้ไขปัญหาของสังคม
 - 1.3.2.1 เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับก๊าซเอทิลีนของซีโอไลต์
 - 1.3.2.2 เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซเอทิลีนของซีโอไลต์ต่างชนิดกัน
 - 1.3.2.3 เพื่อคงความสดของผลไม้ในการส่งออกด้วยการดูดซับก๊าซเอทิลีนที่เร่งการสุกของผลไม้
 - 1.3.2.4 สามารถนำไปพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์แอคทีฟได้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกระดาษที่มีซีโอไลต์ในการดูดซับก๊าซเอทิลีนเพื่อยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอม ทฤษฎีสำคัญในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย พันธุ์กล้วยในประเทศไทย กล้วยหอม กระบวนการหายใจของพืช วัตถุประสงค์เอทิลีน ซีโอไลต์ ประโยชน์ของซีโอไลต์

2.1.1 พันธุ์กล้วยในประเทศไทย

ประเทศไทยมีการปลูกกล้วยกันมาช้านาน กล้วยที่ปลูกมีมากมายหลายชนิด พันธุ์กล้วยที่ใช้ปลูกในประเทศไทยมาตั้งแต่สมัยโบราณนั้น มีทั้งพันธุ์พื้นเมืองดั้งเดิม และนำเข้ามาจากประเทศใกล้เคียง

นักวิชาการไทยได้ทำการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับพันธุ์และชนิดของกล้วย คือ ใน พ.ศ. 2510 วัฒนา เสถียรสวัสดิ์ และปวิณ ปุณศรี ได้ทำการรวบรวมพันธุ์กล้วยที่พบในประเทศไทยได้ 125 สายพันธุ์ และจากการจำแนกจัดกลุ่มแล้ว พบว่ามี 20 พันธุ์ หลังจากนั้นในระหว่าง พ.ศ. 2523 - 2526 เบญจมาศ ศิลาชัย และฉลองชัย แบบประเสริฐ แห่งภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ทำการสำรวจพันธุ์กล้วยในประเทศไทย และรวบรวมพันธุ์ไว้ที่สถานีวิจัยปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา โดยรวบรวมได้ทั้งหมด 323 สายพันธุ์ แต่เมื่อจำแนกชนิดแล้ว พบว่ามีอยู่เพียง 53 พันธุ์ หลังจากสิ้นสุดโครงการ ยังได้ทำการรวบรวมเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน พบว่ามีอยู่ 71 พันธุ์ รวมทั้งกล้วยป่าและกล้วยประดับ ทั้งนี้ไม่นับรวมพันธุ์กล้วยที่ได้มีการนำเข้ามาจากต่างประเทศ ซึ่งมีอีกหลายพันธุ์ ปัจจุบันกล้วยในเมืองไทย ซึ่งจำแนกชนิดตามจีโนม มีดังนี้

2.1.1.1 กลุ่ม AA

ที่พบในประเทศไทยมี กล้วยป่า สำหรับกล้วยกินได้ในกลุ่มนี้มีขนาดเล็ก รสหวาน กลิ่นหอมรับประทานสด ได้แก่ กล้วยไข่ กล้วยเล็บมือนาง กล้วยหอมจันทร์ กล้วยไข่ทองร่วง กล้วยไข่จีน กล้วยน้ำน่ม กล้วยไล กล้วยสา กล้วยหอม กล้วยหอมจำปา กล้วยทองกาดำ

2.1.1.2 กลุ่ม AAA

กล้วยกลุ่มนี้มีจำนวน โครโมโซม $2n = 33$ ผลจึงมีขนาดใหญ่กว่ากลุ่มแรก รูปร่างผลเรียวยาว มีเนื้อนุ่ม รสหวาน กลิ่นหอม รับประทานสดเช่นกัน ได้แก่ กล้วยหอมทอง กล้วยนาก กล้วยครั่ง กล้วยหอมเขียว กล้วยกุ้งเขียว กล้วยหอมแมว กล้วยไข่พระตะบอง กล้วยคลองจ้ง

2.1.1.3 กลุ่ม BB

ในประเทศไทยจะมีแต่กล้วยตานี ซึ่งเป็นกล้วยป่าชนิดหนึ่ง แต่ไม่ได้มีถิ่นกำเนิดในประเทศไทย รับประทานผลอ่อนได้ โดยนำมาใส่แกงเผ็ด ทำส้มตำ ไม่นิยมรับประทานผลแก่ เพราะมีเมล็ดมาก แต่คนไทยและคนเอเชียส่วนใหญ่รับประทานปลีและหยวก ไม่มีกล้วยกินได้ในกลุ่ม BB ในประเทศไทย แต่พบว่ามีที่ประเทศฟิลิปปินส์

2.1.1.4 กลุ่ม BBB

กล้วยในกลุ่มนี้เกิดจากกล้วยตานี (*Musa balbisiana*) เนื้อไม่ค่อยนุ่ม ประกอบด้วยแป้งมาก เมื่อสุกกั้ยังมีแป้งมากอยู่ จึงไม่ค่อยหวาน ขนาดผลใหญ่ เมื่อนำมาทำให้สุกด้วยความร้อน จะทำให้รสชาติดีขึ้น เนื้อเหนียวนุ่ม เช่น กล้วยเล็บช่างกุด

2.1.1.5 กลุ่ม AAB

กล้วยกลุ่มนี้เกิดจากการผสมระหว่างกล้วยป่ากับกล้วยตานี เมื่อผลสุก มีรสชาติดีกว่ากล้วยกลุ่ม ABB ได้แก่ กล้วยน้ำ กล้วยน้ำพาด กล้วยนมสวรรค์ กล้วยนิ้วมือนาง กล้วยไข่โบราณ กล้วยทองเดช กล้วยศรีนวล กล้วยขม กล้วยนมสาว แต่มีกล้วยกลุ่ม AAB บางชนิดที่มีความคล้ายกับ ABB กล่าวคือ เนื้อจะค่อนข้างแข็ง มีแป้งมาก เมื่อสุกเนื้อไม่นุ่ม ทั้งนี้อาจได้รับเชื้อพันธุกรรมของกล้วยป่าที่ต่าง sub species กัน จึงทำให้ลักษณะต่างกัน กล้วยในกลุ่มนี้เรียกว่า *plantain subgroup* ซึ่งจะต้องทำให้สุกโดยการต้ม ปิ้ง เผา เช่นเดียวกับกลุ่ม ABB ได้แก่ กล้วยกล้วย กล้วยงาช้าง กล้วยนิ้วจระเข้ กล้วยหิน กล้วยพม่าแหกคุก

2.1.1.6 กลุ่ม ABB

กล้วยกลุ่มนี้เป็นลูกผสมระหว่างกล้วยป่ากับกล้วยตานี มีแป้งมาก ขนาดผลใหญ่ ไม่นิยมรับประทานสด เพราะเมื่อสุกรสไม่หวานมาก บางครั้งมีรสฝาด เมื่อนำมาต้ม ปิ้ง ย่าง และเชื่อม จะทำให้รสชาติดีขึ้น ได้แก่ กล้วยหักมุกเขียว กล้วยหักมุกนวล กล้วยเปลือกหนา กล้วยส้ม กล้วยนางพญา กล้วยนมหมี่ กล้วยน้ำว้า สำหรับกล้วยน้ำว้าแบ่งออกเป็น ชนิด ตามสีของเนื้อ คือ น้ำว้าแดง น้ำว้าขาว และน้ำว้าเหลือง คนไทยรับประทานกล้วยน้ำว้า ทั้งผลสด ต้ม ปิ้ง และนำมาประกอบอาหาร นอกจากนี้ยังมีกล้วยน้ำว้าดำ ซึ่งเปลือกมีสีครั้งปนดำ แต่เนื้อมีสีขาว รสชาติอร่อยคล้ายกล้วยน้ำว้าขาว สำหรับกล้วยดิบ เหมาะที่จะรับประทานผลสด เพราะเมื่อนำไปย่างหรือต้มจะมีรสฝาด

2.1.1.7 กลุ่ม ABBB

กล้วยในกลุ่มนี้เป็นลูกผสมเช่นกัน จึงมีแป้งมาก และมีอยู่พันธุ์เดียวคือ กล้วยเทพรส หรือกล้วยทิพรส ผลมีขนาดใหญ่มาก บางทีมีดอกเพศผู้หรือปลี บางทีไม่มี ถ้าหากไม่มีดอกเพศผู้ จะไม่เห็นปลี และมีผลขนาดใหญ่ ถ้ามีดอกเพศผู้ ผลจะมีขนาดเล็กกว่า มีหลายหวีและหลายผล การมีปลีและไม่มีปลีนี้เกิดจากการกลายพันธุ์แบบกลับไปได้ ดังนั้นจะเห็นว่า ในกอเดียวกันอาจมีทั้งกล้วยเทพรสมีปลี และไม่มีปลี หรือบางครั้งมี 2 - 3 ปลี ในสมัยโบราณเรียกกล้วยเทพรสที่มีปลีว่า กล้วยทิพรส กล้วยเทพรสที่สุกงอมจะหวาน เมื่อนำไปต้มมีรสฝาด

2.1.1.8 กลุ่ม AABB

เป็นลูกผสมมีเชื้อพันธุกรรมของกล้วยป่ากับกล้วยตานี กล้วยในกลุ่มนี้มีอยู่ชนิดเดียวในประเทศไทย คือ กล้วยเงิน ผลขนาดใหญ่ รูปร่างคล้ายกล้วยไข่ เมื่อสุกผิวสีเหลืองสดใส เนื้อผลสีส้ม มีแป้งมาก รับประทานผลสด

นอกจากกล้วยดังที่ได้กล่าวแล้ว ยังมีกล้วยป่าที่เกิดในธรรมชาติซึ่งมีเมล็ดมาก ทั้งกล้วยในสกุล *Musa acuminata* และ *Musa itinerans* หรือที่เรียกว่า กล้วยหก หรือกล้วยอย่างขาง และกล้วยป่าที่เป็นกล้วยประดับ เช่น กล้วยบัวสีส้ม และกล้วยบัวสีชมพู (เบญจมาศ ศิลาชัย, 2548)

2.1.2 กล้วยหอม

ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Musa Sapientum* Linn. อยู่ในวงศ์ *Musaceae* กล้วยหอม เป็นพันธุ์กล้วยชนิดหนึ่ง เป็นผลไม้ล้มลุก มีหลายสายพันธุ์ มีลำต้นเดี่ยวตั้งตรง ลำต้นมีลักษณะกลมๆ มีสีน้ำตาลปนเขียว ใบเป็นใบเดี่ยว ใบแบบขนาน มีลักษณะแบนยาวใหญ่ มีสีเขียวแก่ มีดอกจะออกเป็นช่อ มีเครือยาวจะมีหัวปลีที่ปลายยอดบนเครือมีหัว จะมีผลเรียงอยู่ในหีกลำยัด ผลอ่อนเปลือกมีสีเขียว ผลสุกเปลือกมีสีเหลือง มีรสชาติดหวานหอม

กล้วยหอมเป็นพืชที่ชอบน้ำ ต้องการระบายน้ำดี น้ำไม่ขัง ระยะแรกโดยให้รดน้ำทุกวัน ให้โดนแดดตลอดได้ จะเจริญเติบโตได้ดี เมื่อเริ่มเติบโตขึ้นให้ลดการรดน้ำลง เป็นพืชที่ทนทานต่อความแห้งแล้งได้ดี ให้ตัดแต่งใบออกเพื่อให้แสงแดดส่องทั่วถึง ให้ตัดแต่งหน่อที่เหลือ 3 - 4 หน่อต่อกอ ให้ตัดหัวปลีออก ให้เครือกล้วยมีหัวอยู่ ประมาณ 4 - 6 ต่อหัว เพื่อให้ผลผลิตที่สมบูรณ์

เมื่อกล้วยหอมผลเริ่มสุกโตเต็มที่ จะเกี่ยวเก็บผลผลิต มีสีเขียวหรือสีเขียวอมเหลือง แล้วตัดมาทั้งเครือแล้วนำมาใส่ภาชนะที่เตรียมไว้ การขนส่งให้ระวังผลกล้วยหอมชำ เก็บรักษากล้วยหอม โดยจะนำกล้วยหอมที่สุกเต็มที่ วางไว้ในที่โล่งอากาศถ่ายเท แล้วจะสามารถเก็บไว้ได้นาน (จอม, 2558)

2.1.3 กระบวนการหายใจของพืช

การหายใจเป็นกิจกรรมที่มีความสำคัญที่สุดของสิ่งที่มีชีวิต เซลล์ทุกเซลล์ที่ยังมีชีวิตอยู่จะต้องมีการหายใจ ส่วนอัตราการหายใจจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดพืช แสดงดังตารางที่ 2.1 ระยะการเจริญทั้งในระดับอวัยวะและในระดับเซลล์ตลอดจนสภาพแวดล้อม การหายใจเป็นการสลายอาหารที่สะสมเพื่อการสร้างพลังงาน และเพื่อสร้างสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารประกอบต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต

ตารางที่ 2.1 การจำแนกผลไม้บางชนิดตามการหายใจ

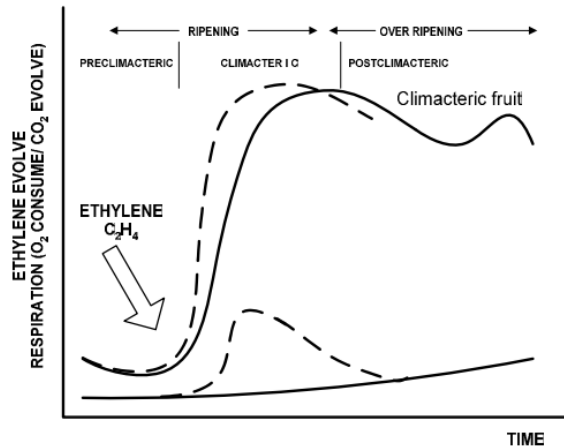
ระดับ	ปริมาณการหายใจ ที่ 5 °C (mg CO ₂ /Kg Hr)	ชนิดพืช
ต่ำมาก	น้อยกว่า 5	แตงโม แตง Honey Dew พวัก Nut
ต่ำ	5-10	ส้ม องุ่น มะเขือเทศ แตงกวา พริก แอปเปิ้ล กีวีฟรุต แคนตาลูป Squash
ปานกลาง	10-20	กล้วย มะเขือ มะเดื่อฝรั่ง ท้อ สาลี่ แอปริคอต เชอร์รี่ เนคทารีน พลัม
สูง	20-40	พาสชันฟรุต
สูงมาก	มากกว่า 40	ถั่วเมล็ดกลม (Pea) ข้าวโพดหวาน

ที่มา : Kader (1987) อ้างโดย สังคม (2547)

แม้ว่าผลไม้ชนิดต่าง ๆ จะมีวิธีและขบวนการหายใจที่เหมือนกันก็ตาม แต่อัตราและรูปแบบของการหายใจของผลไม้หลังเก็บเกี่ยว จะมีความแตกต่างกัน ผลไม้บางชนิดอาจถูกเก็บเกี่ยวมาตั้งแต่ยังไม่สุก และเมื่อเก็บเกี่ยวมาแล้ว สามารถทำให้ผลไม้ที่สุกหรือมีพัฒนาการขั้นต่อไปที่ปกติได้ เช่น มะม่วง กัลย ทุเรียน เป็นต้น แต่ผลไม้บางอย่างเช่น ส้ม ลิ้นจี่ ลำไย จำเป็นต้องเก็บเกี่ยวเมื่อผลไม้เหล่านั้นมีการสุกตั้งแต่ยังอยู่บนต้น หากเก็บเกี่ยวก่อน ผลไม้เหล่านั้นอาจมีพัฒนาการที่ผิดปกติไป จากลักษณะการสุกของผลไม้ ซึ่งมีความเกี่ยวพันอย่างใกล้ชิดกับ การหายใจ ทำให้สามารถแบ่งผลไม้ตามรูปแบบของการหายใจ ออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ ผลที่มีรูปแบบการหายใจแบบ Climacteric และผลที่มีรูปแบบการหายใจแบบ Nonclimacteric

ผลไม้ที่มีรูปแบบการหายใจแบบ Climacteric เมื่อถูกเก็บเกี่ยวมาแล้วและเข้าสู่ระยะของการสุกจะมีการเพิ่มของอัตราการหายใจให้สูงขึ้น แสดงดังภาพที่ 2.1 ในช่วงที่อัตราการหายใจเริ่มเพิ่มสูงขึ้นเรียกว่า ระยะ Climacteric rise ซึ่งในระยะนี้ จะตรงกับการเข้าสู่ระยะชรา (Senescence) การเพิ่มอัตราการหายใจของผลจะสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุด เมื่อผลไม้ที่สุกเต็มที่ (Ripening) เรียกว่า Climacteric peak หลังจากนั้น อัตราการหายใจจะลดลง ซึ่งจะเป็นการเข้าสู่ระยะสุกงอม (Over ripening) และตาย ผลไม้พวก Climacteric มักเป็นผลไม้ที่มีการเก็บสะสมอาหารในรูปของแป้ง หรือไขมัน และผลไม้เหล่านี้สามารถเก็บเกี่ยวมาแล้วนำมาทิ้งไว้ให้สุกได้ เนื่องจากในระหว่างการสุก ผลของการหายใจจะเกิดการสร้างก๊าซเอธิลีน (Ethylene) ขึ้นภายในเนื้อเยื่อ ก๊าซเอธิลีนในเนื้อเยื่อที่ถูกสร้างขึ้น จะไปกระตุ้นให้ผลไม้มีการสุก ผลไม้เหล่านี้สามารถบ่มให้สุกได้ โดยการใช้ก๊าซเอธิลีนจากภายนอก เมื่อผลไม้พวก Climacteric ได้รับการกระตุ้น โดยการใช้ก๊าซเอธิลีน ในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม จะสามารถเพิ่มอัตราหรือปริมาณการสร้างเอธิลีนภายในเนื้อเยื่อให้สูงขึ้นไปอีก และการสร้างก๊าซเอธิลีนภายในจะดำเนินต่อไปได้เอง ซึ่งเรียกว่าเป็น Autocatalytic system

ผลไม้พวกที่มีรูปแบบการหายใจแบบ Nonclimacteric เมื่อถูกเก็บเกี่ยวมาแล้วจะมีอัตราการหายใจค่อนข้างต่ำและคงที่ ตั้งแต่เริ่มเข้าสู่ระยะการสุก ไปจนกระทั่งผลไม้ที่ชราและตายไป ดังภาพที่ 2.1 ผลไม้พวกนี้ ไม่สามารถนำมาทิ้งไว้ให้สุกได้เหมือนกับผลไม้พวก Climacteric ดังนั้น จึงจำเป็นต้องเก็บเกี่ยวเมื่อสุกแล้วเท่านั้น ผลไม้พวก Non climacteric อาจมีการสร้างก๊าซเอธิลีนภายในเนื้อเยื่อ ในอัตราหรือปริมาณที่ต่ำ ทำให้ขบวนการสุกเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ นอกจากนี้การใช้ก๊าซเอธิลีนจากภายนอกกระตุ้นให้มีการสุก ผลไม้เหล่านี้จะตอบสนองโดยมีอัตราการหายใจสูงขึ้นได้ตลอดระยะเวลาที่มีการใช้ก๊าซเอธิลีน เมื่อหยุดการใช้ก๊าซเอธิลีน อัตราการหายใจของพวก Non climacteric ก็จะกลับเข้าสู่ระดับเดิมอีก แสดงดังภาพที่ 2.1 โดยไม่มีการเพิ่มอัตราการหายใจให้สูงขึ้นเหมือนที่เกิดกับพวก Climacteric พวก Non climacteric อาจไม่มีระบบ Autocatalytic system ก็ได้ (สังคม, 2547)



ภาพที่ 2.1 รูปแบบการหายใจ (เส้นทึบ) แบบ Climacteric กับ Non Climacteric และการตอบสนองต่อการใช้อิทธิลีน (เส้นประ)

ที่มา : Kader (1987) Kay (1991) และ Wills et. Al. (1981) อ้างโดย สังคม (2547)

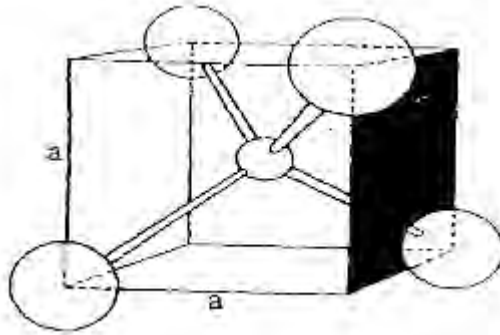
2.1.4 วัสดุดูดซับเอทิลีน (Ethylene scavenger)

ส่วนใหญ่วัสดุดูดซับเอทิลีนจะอยู่ในรูปแบบของซอง (Sachet) และในหลายผู้ผลิตจะนิยมใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) เป็นตัวพื้นฐานในการดูดซับเอทิลีน โดยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตจะทำหน้าที่ออกซิไดซ์เอทิลีน ให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปอะซิเตต (acetate) และเอทานอล (ethanol) กระบวนการดังกล่าวจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนสีจากสีม่วงไปเป็นสีน้ำตาล ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ให้เห็นว่าได้มีการกำจัดเอทิลีนแล้ว โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตไม่สามารถนำไปรวมกับวัสดุสัมผัสกับอาหารได้ เนื่องจากมีสีม่วงและเป็นพิษ ดังนั้นจึงมีจำหน่ายเฉพาะในรูปแบบของซอง

นอกจากนี้ยังมีเทคโนโลยีอื่น ๆ ในการดูดซับเอทิลีน โดยจะขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการรวมกันของแร่ธาตุต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น ซีโอไลต์ ดินเหนียว (Clay) และ Japanese oya (Ozdemir, M., & Floros, J. D., 2004)

2.1.5 ซีโอไลต์

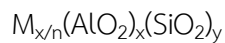
ซีโอไลต์ คือสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต (crystalline aluminosilicates) หน่วยย่อยของซีโอไลต์ประกอบด้วยอะตอมของซิลิกอน 1 อะตอม และออกซิเจน 4 อะตอม (SiO_4) สร้างพันธะกันเป็นรูปสามเหลี่ยมสี่หน้า (tetrahedron) โดยอะตอมของซิลิกอนอยู่ตรงกลาง ล้อมรอบด้วยอะตอมของออกซิเจนที่มุมทั้งสี่ แสดงดังภาพที่ 2.2 ซึ่งโครงสร้างสามเหลี่ยมสี่หน้านี้จะเชื่อมต่อกันที่มุมและใช้ออกซิเจนร่วมกัน จากการก่อตัวที่เป็นระเบียบดังกล่าว ทำให้ภายในโครงสร้างของซีโอไลต์เกิดมีรูพรุนและโพรงที่มีขนาดใหญ่เพียงพอสำหรับการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของโลหะ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม และยังมีโมเลกุลของน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ในช่องว่างในโครงผลึก สามารถดักให้เดือดระเหยออกไปได้ นอกจากนี้ยังสามารถเกิดกระบวนการดูดซับและคายซับโมเลกุลสารอินทรีย์จากขนาดเล็กจนถึงขนาด 1 นาโนเมตร โดยซีโอไลต์มีขนาดตั้งแต่ 2-10 อังสตรอม (แพรวดาว โสภา และคณะ, 2556; Thinkplus, 2551)



ภาพที่ 2.2 รูปทรงเตตระฮีดรอลของออกซิเจนโคออร์ดิเนตกับซิลิกอน หรืออลูมิเนียมในหน่วยย่อยของโครงสร้างปฐมภูมิของซีโอไลต์

ที่มา : Breck (1974) อ้างโดย ธีเรศ (2549)

องค์ประกอบของซีโอไลต์ (Zeolite compositions) สูตรทั่วไปของโครงสร้างซีโอไลต์ คือ



เมื่อ	n	คือประจุของไอออนบวก M
	x+y	คือจำนวนหน่วยเตตระฮีดรอลต่อหน่วยเซลล์
	y/x	คืออัตราส่วน Si/Al แปลผันได้จาก 1 ถึง ∞

2.1.6 การเกิดซีโอไลต์

ซีโอไลต์นั้นอาจเกิดขึ้นตามธรรมชาติในรูปของแร่ธาตุ มีการทำเป็นเหมืองซีโอไลต์ในพื้นที่หลายแห่งของโลก หรืออาจสังเคราะห์ขึ้นได้โดยกระบวนการทางเคมี เพื่อประโยชน์ทางการค้า ซึ่งจะทำให้ได้ซีโอไลต์ที่มีสมบัติเฉพาะเจาะจง รวมทั้งอาจมีการสังเคราะห์ซีโอไลต์ในห้องปฏิบัติการเพื่อประโยชน์ในการศึกษาลักษณะทางเคมีของซีโอไลต์เองด้วย

ซีโอไลต์นั้นมีมากกว่า 600 ชนิด แต่สามารถแบ่งกลุ่มตามชนิดของโครงสร้างได้ประมาณ 40 ชนิด ซึ่งความแตกต่างในโครงสร้างนี้มีผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของซีโอไลต์ เช่น โครงสร้างผลึก ความหนาแน่น ขนาดของโพรง ความแข็งแรงของพันธะ เป็นต้น การจำแนกชนิดของซีโอไลต์นั้นอาศัยขนาดและรูปร่างของโพรงซีโอไลต์เป็นหลัก ซึ่งจะทำให้หน้าซีโอไลต์ไปใช้ประโยชน์ในงานที่แตกต่างกันไป (แพรวดาว โสภา และคณะ, 2556; Thinkplus, 2551)

ซีโอไลต์เกิดขึ้นได้ 2 วิธีคือ

2.1.6.1 ซีโอไลต์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Mineral Zeolite or Naturally Occurring Zeolites)

ซีโอไลต์ธรรมชาติพบได้ทั้งที่อยู่บนผิวโลกและใต้มหาสมุทร ซึ่งได้จากการทำเหมืองแร่พบมากในโพรงของหินบะซอลต์และหินภูเขาไฟ (Volcanic Rock) ซีโอไลต์จากธรรมชาติเป็นกลุ่มของผลึกอลูมิโน - ซิลิเกตของมอนอหรือไดวาเลนต์เบส (Mono-or Divalent Bases) อาจมีการสูญเสียน้ำในผลึกบ้างบางส่วนหรือ

ทั้งหมดโดยที่โครงสร้างจะไม่มีเปลี่ยนแปลง ซีโอไลต์ที่พบตามธรรมชาติมีอยู่ประมาณ 34 ชนิด แสดงดังตารางที่ 2.2 ได้มีการตั้งชื่อซีโอไลต์ที่ค้นพบแต่ละชนิดตามสมบัติ เช่น โครงสร้างและองค์ประกอบ นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งชนิดของซีโอไลต์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติตามระบบไฮโดรโลจิคัล (Hydrological system) ได้ดังนี้ (วรัญญา, 2549)

ตารางที่ 2.2 กลุ่มแร่ซีโอไลต์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ

Zeolite	Formula
Analcime	$\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Chabazite	$(\text{Ca}, \text{Na}_2)_3\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Clinoptilolite	$(\text{Na}_2, \text{K}_2, \text{Ca})_3\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
Epistilbite	$(\text{Ca}, \text{Na}_2)_3\text{Al}_6\text{Si}_{18}\text{O}_{48} \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
Erionite	$(\text{Na}_2, \text{K}_2, \text{Ca})_{4.5}\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72} \cdot 27\text{H}_2\text{O}$
Faujasite	$(\text{Na}_2, \text{Ca})_{1.75}\text{Al}_{3.5}\text{Si}_{8.5}\text{O}_{24} \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
Ferrierite	$(\text{K}, \text{Na})_2(\text{Mg}, \text{Ca})_2\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72} \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
Gismondine	$(\text{Ca}, \text{Na}_2, \text{K}_2)_4\text{Al}_8\text{Si}_8\text{O}_{32} \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
Gonnardite	$\text{Na}_2, \text{CaAl}_4\text{Si}_6\text{O}_{20} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Harmotome	$(\text{Ba}, \text{Na}_2)_2\text{Al}_4\text{Si}_{12}\text{O}_{32} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
Heulandite	$(\text{Ca}, \text{Na}_2)_4\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
Laumontite	$\text{Ca}_4\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48} \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
Mordenite	$(\text{Na}_2, \text{K}_2, \text{Ca})\text{Al}_2\text{Si}_{10}\text{O}_{24} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Natrolite	$\text{Na}_4, \text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{20} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Phillipsite	$(\text{K}_2, \text{Na}_2, \text{Ca})_2\text{Al}_4\text{Si}_{12}\text{O}_{32} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
Scolecite	$\text{Ca}_2\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{20} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Stilbite	$(\text{Ca}, \text{Na}_2)_4\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72} \cdot 28\text{H}_2\text{O}$
Thomsonite	$\text{NaCa}_2\text{Al}_5\text{Si}_5\text{O}_{20} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Wairakite	$\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Yugawaralite	$\text{CaAl}_2\text{Si}_6\text{O}_{16} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

ที่มา : (สุพัฒน์สิน คู่อรุณ และคณะ, 2540)

2.1.6.1.1 ซีโอไลต์เกิดจากแหล่งน้ำเค็ม (Saline) และทะเลสาบที่มีความเป็นเบส (Alkaline Lake) แบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามการเปลี่ยนแปลงของผิวโลกคือ จากแหล่งที่มีลักษณะเป็นพื้นที่แห้ง (Arid Region) และพื้นที่กึ่งแห้งแล้ง (Semiarid Region) การตกตะกอนในลักษณะนี้ทำให้กลายเป็นของแข็งในระบบปิด และควบคุมการเปลี่ยนแปลงของสารที่มีลักษณะเป็นเบสและสารต่าง ๆ ที่มีความสำคัญ ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นส่วนสำคัญในการควบคุมสภาวะแวดล้อมทางเคมีของทะเลสาบ

2.1.6.1.2 ซีโอไลต์ที่เกิดจากแหล่งน้ำเค็ม (Saline) และของแข็งที่มีความเป็นเบส (Alkaline solid) สภาพภูมิอากาศเป็นตัวควบคุมการเกิดซีโอไลต์ใน Saline Alkaline solid การก่อตัวในแหล่งที่มีลักษณะเป็นพื้นที่แห้งแล้ง (Arid Region) และมีลักษณะคล้ายทะเลทราย (Remiarid Region) เกิดจากการระเหยของน้ำที่ผิวดินที่เกิดจากโซเดียมคาร์บอเนต และโซเดียมไดคาร์บอเนต โดยน้ำฝนจะไหลซึมผ่านชั้นดินแล้วจะละลายโซเดียมคาร์บอเนต และโซเดียมไดคาร์บอเนตทำให้ค่าความเป็นกรด - ด่างสูงขึ้นและทำให้เกิดออลิวินซิลิเกตในพื้นดินขึ้น

2.1.6.1.3 ตะกอนในทะเล (Marine sediments) ซีโอไลต์ชนิดนี้เกิดจากตะกอนที่อยู่ในทะเลภายใต้อุณหภูมิต่ำและค่าความเป็นกรด - ด่างที่เป็นกลาง

2.1.6.1.4 ซีโอไลต์ที่เกิดในระบบ Open hydrological systems ซีโอไลต์ชนิดนี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของน้ำใต้ดินที่ไหลผ่านภูเขาไฟที่มีลักษณะเป็นช่องว่าง (Porous pyroclastic) ซึ่งทำปฏิกิริยากับเถ้าที่มีลักษณะคล้ายแก้ว (Vitric ash)

2.1.6.1.5 ซีโอไลต์ที่เกิดในระบบ Hydrothermal systems ซีโอไลต์ชนิดนี้เกิดจากระบบที่มีอัลคาไลน์กับสารละลายกรดอ่อน การตกตะกอนถูกกำหนดจากปัจจัย อุณหภูมิ ความสามารถในการเปียกได้ของแร่หิน ลักษณะของไหลที่ไหลผ่านในส่วนที่ตื้น และเย็นที่สุดจะเกิดซีโอไลต์ชนิด Mordenite และ Clinoptilolite สำหรับในส่วนที่ลึกและร้อนกว่า จะเกิดซีโอไลต์ชนิด Analcime และ Laumontite ซึ่งในระบบนี้จะมีอุณหภูมิเป็นปัจจัยกำหนดการตกตะกอน ได้มีการใช้ในอุตสาหกรรมการทำกระดาษ และ molecular sieve ในการแยกก๊าซแอมโมเนีย

2.1.6.1.6 ซีโอไลต์ที่เกิดในระบบ Burial diagenetic systems ซีโอไลต์ชนิดนี้จะอยู่ในตะกอนที่เกิดจากภูเขาไฟ (Volcanolastic sediment)

2.1.6.1.7 ซีโอไลต์ที่เกิดในระบบ Magmatic systems ซีโอไลต์ชนิดนี้เป็นซีโอไลต์ที่ตกผลึกระหว่างชั้นหินแมกมาที่เกิดจากอันตรกิริยาของของเหลวกับหินที่อยู่ล้อมรอบซีโอไลต์ ส่วนมากพบในหินอัคนีและหินที่มีลักษณะกลมขนาดเล็ก (Globuled)

2.1.6.1.8 ซีโอไลต์ที่พบบนปากปล่องภูเขาไฟในประเทศเยอรมัน ช่องว่างภายในผลึกจะเต็มไปด้วย Analcime Clinoptilolite Erionite Harmotone และ Phillipsite

2.1.6.2 ซีโอไลต์ที่เกิดจากการสังเคราะห์ทางเคมี (Synthetic Zeolite)

ซีโอไลต์สังเคราะห์เป็นซีโอไลต์ที่เตรียมขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีของเบสิกออกไซด์ต่าง ๆ เช่น อลูมินา (Al_2O_3) ซิลิกา (SiO_2) โซเดียมไดออกไซด์ (Na_2O) และโพแทสเซียมไดออกไซด์ (K_2O) ในระบบที่มีน้ำเพื่อให้ได้ซีโอไลต์ที่มีน้ำในผลึก การสังเคราะห์สามารถทำให้เกิดขึ้นได้ในลักษณะที่เป็นเจล (Gelation) เป็นรูพรุน (Porous) และลักษณะคล้ายเม็ดทราย (Sand like) ซึ่งเป็นประโยชน์ในการที่ได้จะได้ซีโอไลต์ที่มีองค์ประกอบและโครงสร้างตรงตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน (สุนี, 2536 อ้างโดย วรรณญา, 2549)

การควบคุมปัจจัยจะทำให้เกิดผลึกจำนวนมากอย่างสม่ำเสมอ ได้แก่ ซีโอไลต์ A X และ Y สูตรโมเลกุลของซีโอไลต์ แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สูตรโมเลกุลของซีโอไลต์ชนิดต่าง ๆ

ชนิดของ Zeolite	สูตรโมเลกุล
Zeolite A	$\text{Na}_{12}[(\text{AlO}_2)_{12}(\text{SiO}_2)_{12}]\cdot 27\text{H}_2\text{O}$
Zeolite X	$\text{Na}_{86}[(\text{AlO}_2)_{86}(\text{SiO}_2)_{106}]\cdot 264\text{H}_2\text{O}$
Zeolite Y	$\text{Na}_{56}[(\text{AlO}_2)_{56}(\text{SiO}_2)_{136}]\cdot 250\text{H}_2\text{O}$
Zeolite T	$\text{Na}_{1.2}\text{K}_{2.8}[(\text{AlO}_2)_4(\text{SiO}_2)_{14}]\cdot 14\text{H}_2\text{O}$
Zeolite L	$\text{K}_9[(\text{AlO}_2)_9(\text{SiO}_2)_{27}]\cdot 22\text{H}_2\text{O}$
Mordenite	$\text{Na}_8[(\text{AlO}_2)_8(\text{SiO}_2)_{40}]\cdot 24\text{H}_2\text{O}$

ที่มา : ดัดแปลงจาก มณฑิรา และพิสมัย (2552) อ้างโดย ปารีชาติ (2556)

2.1.7 การแบ่งประเภทของซีโอไลต์

2.1.7.1 ประเภทของซีโอไลต์โดยแบ่งเป็นประเภทตามหน่วยโครงสร้าง

2.1.7.1.1 หน่วยโครงสร้างปฐมภูมิ (Primary Unit) ซึ่งเป็นหน่วยเล็ก ๆ ที่มีลักษณะคล้ายกันคือ เป็นรูปทรงเตตระฮีดรอลของ AlO_4 และ SiO_4 เชื่อมต่อกันโดยอะตอมของซิลิกอน และอลูมิเนียมอยู่ตรงกลาง ส่วนอะตอมของออกซิเจนอยู่ที่จุดยอดมุมสามเหลี่ยมทรงสี่หน้า แสดงดังภาพที่ 2.3

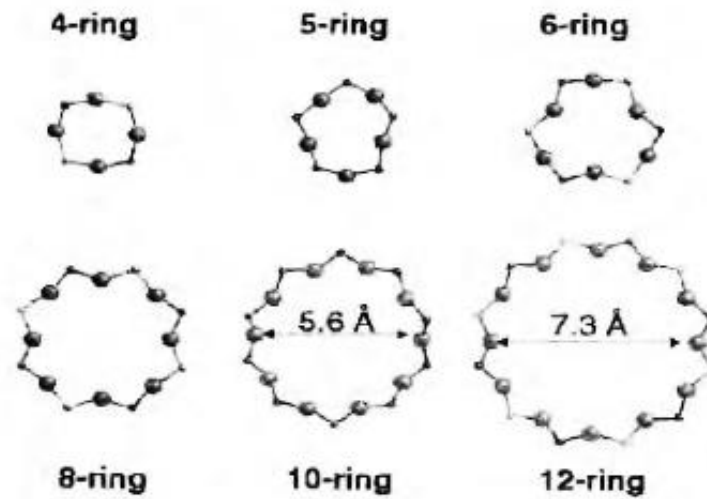


ภาพที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างปฐมภูมิของซีโอไลต์

ที่มา: วรรณญา (2549)

2.1.7.1.2 หน่วยโครงสร้างทุติยภูมิ (Secondary Building Units: SBUs) เป็นโครงสร้างที่มีความซับซ้อนมากขึ้น โดยเกิดจากการต่อกันของโครงสร้างปฐมภูมิเป็นวงเดี่ยว ที่มีขนาดต่าง ๆ กัน และเป็นรูปเหลี่ยมหลายชนิด การเกิดโครงสร้างชนิดนี้ที่สามารถพบได้ทั่วไปมักประกอบไปด้วยโครงสร้าง

ปฐุมภูมิที่รวมกัน ซึ่งมีจำนวนเป็น 4 - 12 โครงสร้าง แสดงดังภาพที่ 2.4 อย่างไรก็ตามจำนวน 3 7 และ 9 โครงสร้างมักไม่พบได้จริง



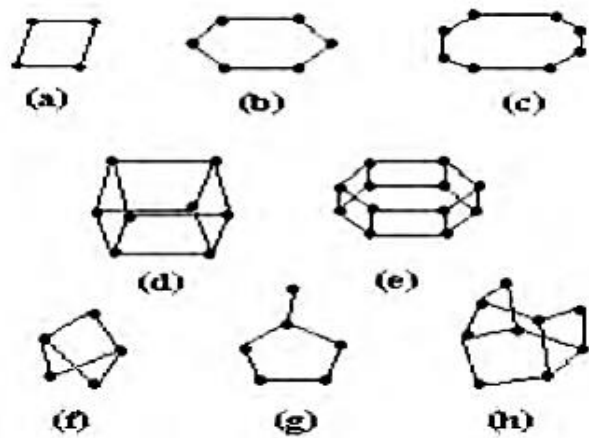
ภาพที่ 2.4 ลักษณะหน่วยโครงสร้างทุติยภูมิที่มีหน่วยปฐุมภูมิเป็น 4 5 6 8 10 และ 12 ที่มา : Breck (1974) อ้างโดย ธเรศ (2549)

นอกจากนี้ Breck (1974) อ้างโดยธเรศ (2549) แบ่งชนิดของโอไลต์ตามโครงสร้างทุติยภูมิ (Secondary Building Units: SBUs) ได้ 8 ชนิด ดังตารางที่ 2.4 และภาพที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 การแบ่งชนิดของซีโอไลต์ ตามโครงสร้างทุติยภูมิ

ชนิดที่	ลักษณะหน่วยโครงสร้างทุติยภูมิ
a	วงเดี่ยว 4 มุม (single 4-ring, S_4R)
b	วงเดี่ยว 6 มุม (single 6-ring, S_6R)
c	วงเดี่ยว 8 มุม (single 8-ring, S_8R)
d	วงคู่ 4 มุม (Double 4-ring, D_4R)
e	วงคู่ 6 มุม (Double 6-ring, D_6R)
f	วงเชิงซ้อน 4-1 (complex 4-1, $T_5O_{10}4-1$)
g	วงเชิงซ้อน 5-1 (complex 5-1, $T_5O_{10}5-1$)
h	วงเชิงซ้อน 4-1-1 (complex 4-1-1, $T_{10}O_{20}4-1-1$)

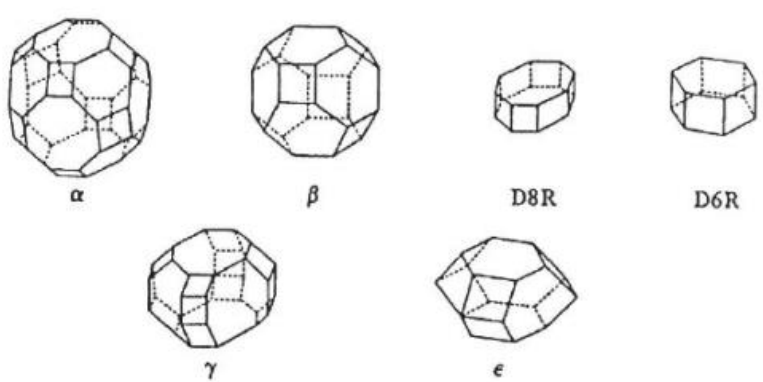
ที่มา : Breck (1974) อ้างโดย ธเรศ (2549)



ภาพที่ 2.5 ลักษณะหน่วยโครงสร้างทุติยภูมิของซีโอไลต์
ที่มา : Breck (1974) อ้างโดย ธารศ (2549)

2.1.7.1.3 หน่วยโครงสร้างหลายหน้า (Polyhedral units) เป็นรูปทรงขนาดใหญ่ที่สมมาตร ได้จากโครงสร้างปฐมภูมิหลายโครงสร้างต่อกันเป็นทรงที่สลับซับซ้อนยิ่งขึ้น แสดงดังภาพที่ 2.6 เช่น

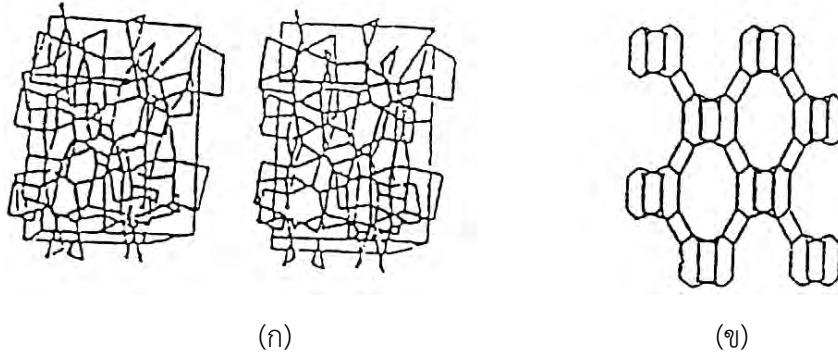
- รูปทรงเหลี่ยมแปดหน้า หรือ β (truncated octahedral type)
- รูปทรงยี่สิบหกหน้า หรือ α (truncate cubooctahedran)
- รูปทรงสิบแปดหน้า หรือ γ (18-hedron)
- รูปทรงสิบเอ็ดหน้าหรือ ϵ (11-hedron)



ภาพที่ 2.6 ลักษณะหน่วยโครงสร้างรูปทรงหลายหน้าขนาดใหญ่
ที่มา : Breck (1974) อ้างโดย ธารศ (2549)

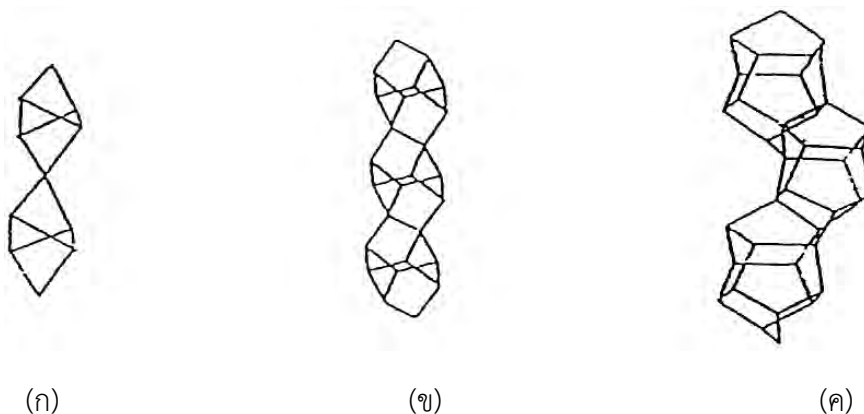
2.1.7.2 ประเภทของซีโอไลต์โดยแบ่งเป็นประเภทตามลักษณะการเชื่อมต่อกันของโครงสร้างทั้ง 3 ประเภทข้างต้น ดังนี้

2.1.7.2.1 Analcite Group เกิดจากการเชื่อมต่อกันของ 4- ring กับ 6- ring โดยจะมี 2 รูปแบบ คือ Analcite และ Laumonite แสดงดังภาพที่ 2.7



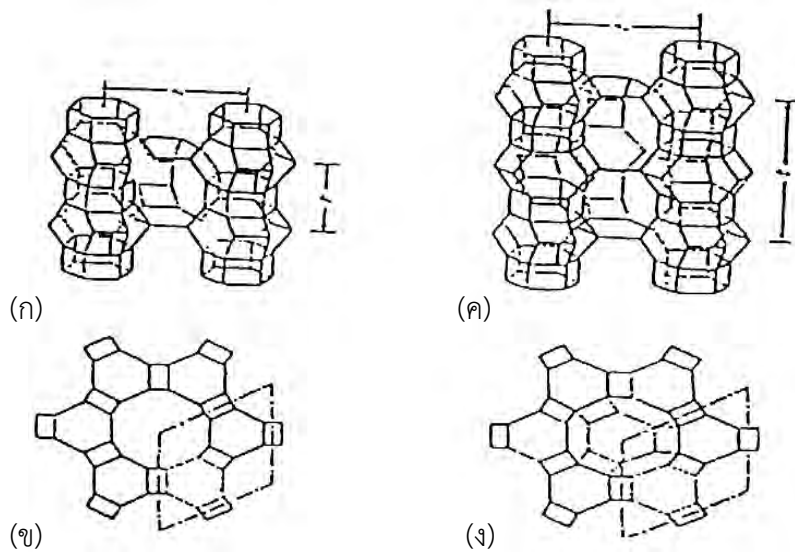
ภาพที่ 2.7 โครงสร้างสายโซ่ที่เชื่อมต่อกันของ (ก) Analcite และ (ข) Laumonite
ที่มา : Breck (1974) อ้างโดย ธเรศ (2549)

2.1.7.2.2 Natrolite Group มีลักษณะโครงสร้างเป็นสายโซ่ที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันของ 4- ring จำนวน 4 วง โดยการเชื่อมต่อกันจะมี 3 รูปแบบ คือ Natrolite, Edingtonite และ Thosonite แสดงดังภาพที่ 2.8



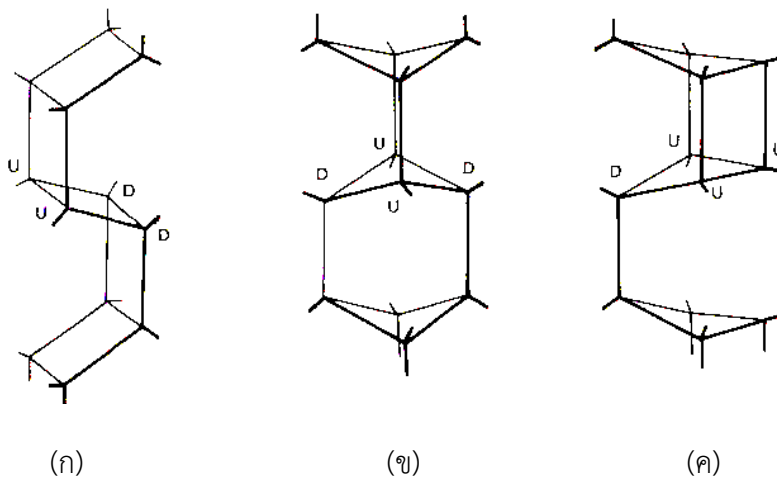
ภาพที่ 2.8 โครงสร้างสายโซ่ที่เชื่อมต่อกันของ (ก) Natrolite, (ข) Brewsterite และ (ค) ZSM-5
ที่มา : Breck (1974) อ้างโดย ธเรศ (2549)

2.1.7.2.3 Chabazite Group โครงสร้างประกอบไปด้วย 6- ring ต่อขนานกัน ซึ่งมีการเชื่อมต่อกันมากมายหลายรูปแบบ เช่น แบบ Ofiretite และ Reionite แสดงดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 ลักษณะโครงสร้างของ Offretite และ Erionite (ก) Offretite, (ข) C-projection, (ค) Erionite และ (ง) C-projection of erionite
ที่มา : Breck (1974) อ้างโดย ธเรศ (2549)

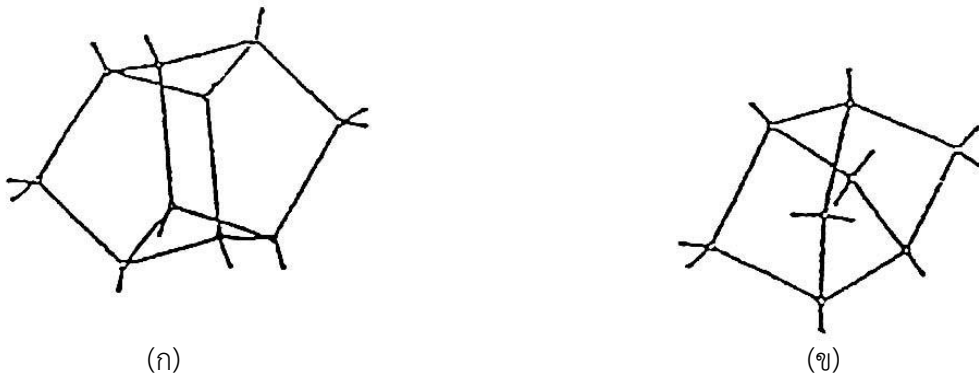
2.1.7.2.4 Phillipsite Group โครงสร้างประกอบด้วย 4- ring ที่ต่อขนานกันแบบ U (Up) และ D (Down) ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ แสดงดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 สายโซ่ทั้ง 3 แบบ คือ (ก) UUDD, (ข) UDUD และ (ค) UDUU
ที่มา : Breck (1974) อ้างโดย ธเรศ (2549)

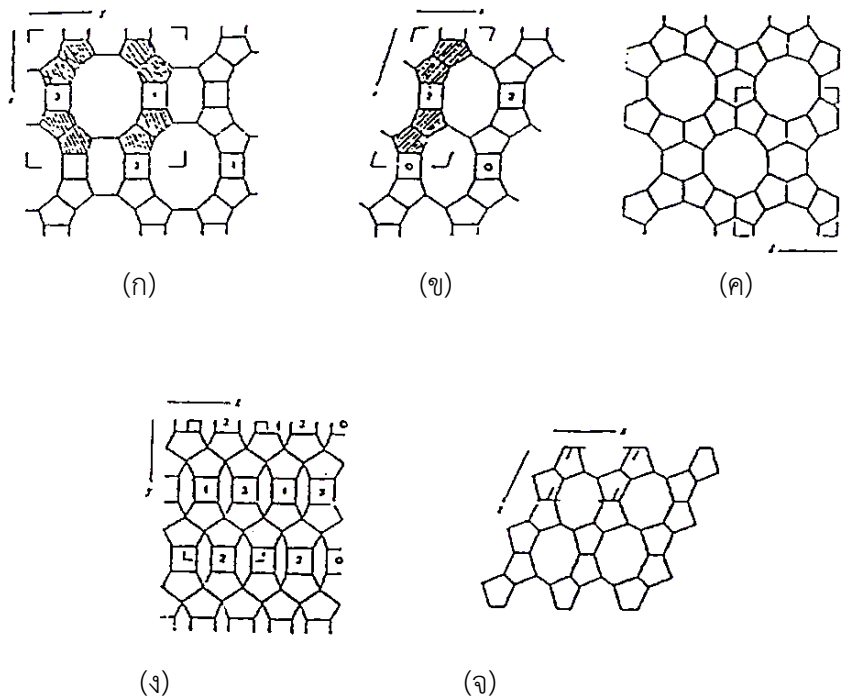
2.1.7.2.5 Heulandire Group โครงสร้างเกิดจาก 5- ring 4 วงต่อเชื่อมกับ 4- ring 2 วง ซึ่งจะเป็นโครงสร้างกลางของกลุ่ม ถ้าการเชื่อมโยงผ่านโครงสร้างตรงกลางรูปแบบพันธะก็จะเป็นดังภาพที่ 2.7 ซึ่งเมื่อเชื่อมโยงต่อกันจะทำให้เป็นรูปแบบ Brewsterite การเชื่อมต่อของบล็อกโดยผ่านโครงสร้างกลางใน

แนวตั้ง จะทำให้เกิดโครงสร้างซึ่งเป็นส่วนประกอบของ Heulandite และ Sibnite ซึ่งในโครงสร้างเหล่านี้จะมีโครงสร้างที่เป็น 5- ring ในบางส่วน แสดงดังภาพที่ 2.11



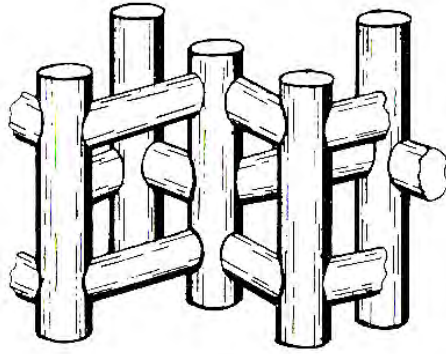
ภาพที่ 2.11 หน่วยทุติยภูมิใน (ก) Heulandite Group และ (ข) Mordenite Group
ที่มา : Breck (1974) อ้างโดย ธเรศ (2549)

2.1.7.2.6 Mordenite Group โครงสร้างประกอบด้วย 5- ring 4 วงเชื่อมต่อกัน เป็นโครงสร้างกลางของกลุ่ม กลุ่มนี้จะมีทั้งหมด 7 รูปแบบ คือ Mordenite, Epstilbite, Ferrierite, Bikaite, Dachiardite แสดงดังภาพที่ 2.12, ZSM-5 แสดงดังภาพที่ 2.13 และ ZSM-11

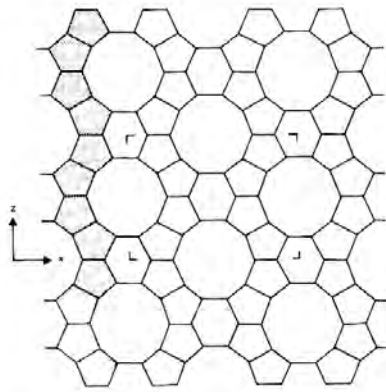


ภาพที่ 2.12 ลักษณะโครงสร้างตามแนวโปรเจกชันหลักของ (ก) Mordenite, (ข) Epstilbite, (ค) Ferrierite, (ง) Bikaite และ (จ) Dachiardite

ที่มา : Breck (1974) อ้างโดย ธเรศ (2549)



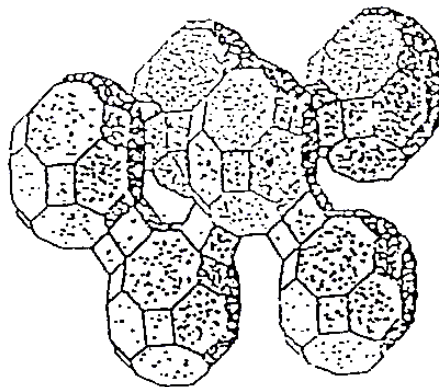
(ก)



(ข)

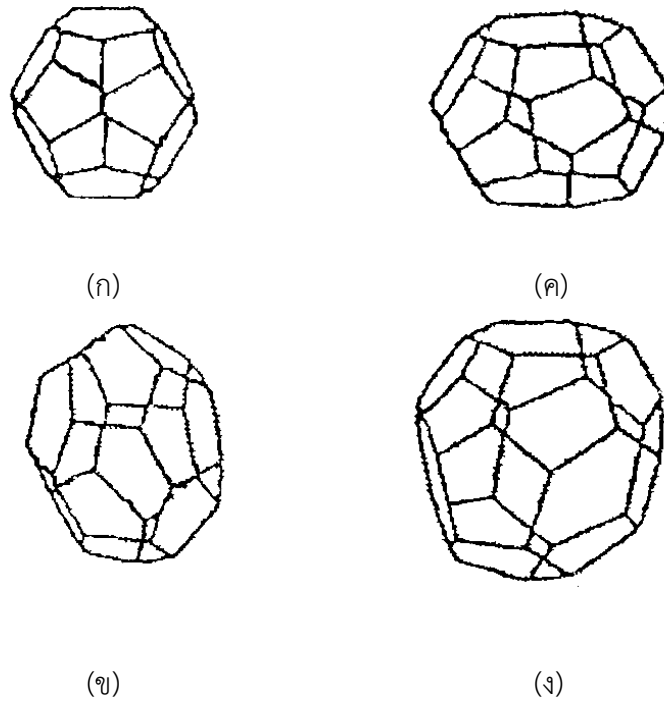
ภาพที่ 2.13 ลักษณะโครงสร้างของ ZSM-5 และ (ข) ภาพร่างพื้นที่ผิวของ ZSM-5
ที่มา : Breck (1974) อ้างโดย ธเรศ (2549)

2.1.7.2.7 Faujasite Group ซีโอไลต์กลุ่มนี้แบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ Sodalite, A, ZK-5 แสดงดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 การจัดเรียงตัวของ ZK-5
ที่มา : Breck (1974) อ้างโดย ธเรศ (2549)

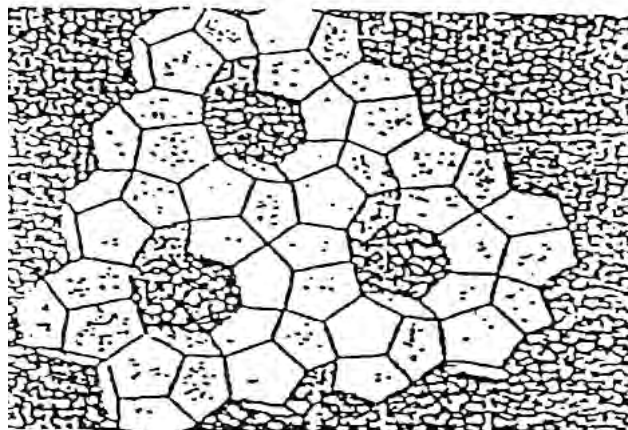
2.1.7.2.8 Metanophlogite Group ในกลุ่มนี้ประกอบไปด้วย ZSM-39 และ Metanophlogite ซึ่งแต่ละหน่วยที่ประกอบเป็น Metanophlogite และ ZSM-39 จะมีหลายรูปแบบ เช่น 12-Hedron, 14-Hedron, 15-hedron และ 16-Hedron แสดงดังภาพที่ 2.15, 2.16 และ 2.17



ภาพที่ 2.15 หน่วยของพอลิฮีดรอลต่างๆ ในโครงสร้างของ Metanophlogite และ ZSM-39

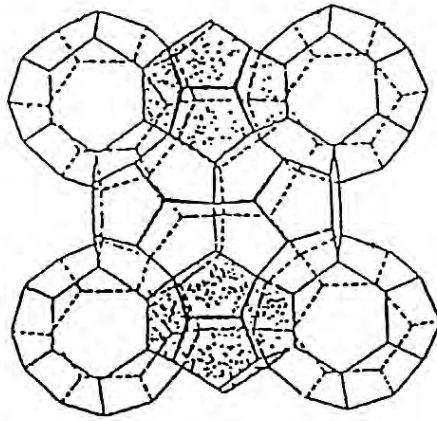
(ก) 12-Hedron, (ข) 14-Hedron, (ค) 15-Hedron และ (ง) 16-Hedron

ที่มา : Breck (1974) อ้างโดย ธารศ (2549)



ภาพที่ 2.16 ลักษณะโครงสร้างของ ZSM-39

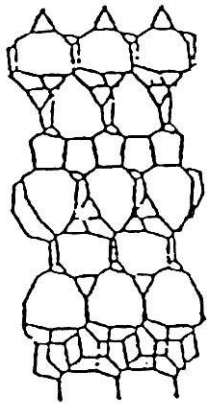
ที่มา : Breck (1974) อ้างโดย ธารศ (2549)



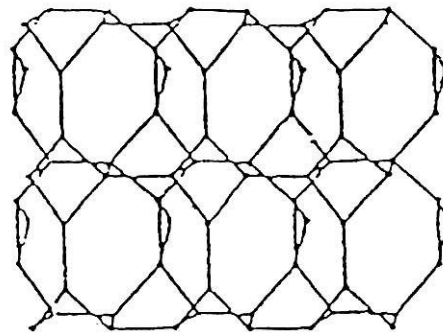
ภาพที่ 2.17 ลักษณะโครงสร้างของ Metanophlogite

ที่มา : Breck (1974) อ้างโดย ฐเรศ (2549)

2.1.7.2.9 Lovdarite Group เป็นซีโอไลต์ที่โครงสร้างเกิดจากการเชื่อมต่อกันของ 4-ring และ 8-ring แสดงดังภาพที่ 2.18 (Breck, 1974 อ้างโดย ฐเรศ, 2549)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2.18 ลักษณะโครงสร้างของ Lovdarite

ที่มา : Breck (1974) อ้างโดย ฐเรศ (2549)

2.1.8 ประโยชน์ของซีโอไลต์

ประโยชน์ของซีโอไลต์มีหลากหลายด้วย ได้แก่ ด้านอุตสาหกรรม ด้านกลีกรรม การปกป้องสภาพแวดล้อม ฯลฯ

2.1.8.1 ด้านอุตสาหกรรม

2.1.8.1.1 การทำให้แห้งและการทำให้บริสุทธิ์ แร่ซีโอไลต์ เช่น Clinoptilolite และ Mordenite มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูง (Absorption and Adsorption) จึงนำไปใช้ในงานต่าง ๆ เช่น

ทำให้อากาศบริสุทธิ์มากขึ้น (Air enrichment) โดยการใช้แร่ Clinoptilolite และ Mordenite ในการเพิ่มออกซิเจนและก๊าซไนโตรเจนให้กับอากาศ

2.1.8.1.2 เป็นตัวกรอง (Filter) สามารถใช้เป็นตัวกรองได้เหมือนกับกระดาษ และ โพลีเมอร์

2.1.8.1.3 ใช้ในการทำพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar energy) โดยการนำความร้อนจากแสงอาทิตย์มาทำให้น้ำร้อนขึ้นในตอนกลางวัน จะเกิดความร้อนมากในระบบ การดูดน้ำของแร่อซิลิเกตก็จะเป็นการดูดความร้อนไปด้วยเท่ากับเป็นการสะสมความร้อนเอาไว้และตอนกลางคืนก็จะคายความร้อนในรูปไอน้ำให้กับบรรยากาศ

2.1.8.1.4 เป็นวัสดุในการก่อสร้าง (Building material) เนื่องจากซีโอไลต์ดูดซับน้ำได้นาน เมื่อใช้ผสมกับปูนซีเมนต์ จึงทำให้ส่วนผสมไม่แห้งเร็วเกินไป ป้องกันการแตกร้าวได้ นอกจากนี้ยังใช้ผสมเป็นปูนฉาบทำให้ฉาบง่ายไม่เปลืองแรงและเหนียวดี

2.1.8.1.5 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyse) ทุกวันนี้ Synthetic Zeolite ได้ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในขบวนการ Catalyse ของการกลั่นน้ำมัน

2.1.8.2 ด้านกสิกรรม

2.1.8.2.1 การเลี้ยงสัตว์ (Animal husbandary and pouling) มีการเติมแร่ Clinoptilolite หรือ Mordenite เข้าไปเป็นส่วนผสมของอาหารเป็ด ไก่ ซึ่งจะสามารถช่วยปรับปรุงในด้านรสชาติ กลิ่น และความเหนียวที่สัตว์ไม่ชอบได้ และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของอาหารในด้านการเพิ่มน้ำหนักและมีอัตราการสูง ได้มีการบันทึกไว้ว่าเมื่อเติมแร่อซิลิเกตธรรมชาติในส่วนผสมของอาหาร 1-5% ทำให้มีอัตราการสูงของลูกไก่เพิ่มจำนวนขึ้นสามารถกระตุ้นให้เจริญเติบโต และอัตราเพิ่มน้ำหนักของลูกไก่สูงถึง 14-15% การเติมแร่ Clinoptilolite ลงในอาหารเท่ากับเป็นการลดปริมาณอาหารที่สัตว์บริโภคเข้าไป

2.1.8.2.2 การเจริญเติบโตของพืช (Plant growing) จากคุณสมบัติที่คงสภาพของแร่อซิลิเกตและการดูดน้ำได้ดี สามารถนำไปช่วยในการเพาะปลูกโดยเฉพาะในบริเวณแห้งแล้งและหนาวเย็น เช่นแถบขั้วโลก น้ำที่แร่อซิลิเกตดูดซับไว้จะกลายเป็นน้ำแข็งที่อุณหภูมิ -2°C และแร่อซิลิเกตจะค่อย ๆ ปล่อยน้ำออกมาให้พืชใช้ และจากคุณสมบัติของการแลกเปลี่ยนไอออนก็จะสามารถจับไอออน ที่พืชต้องการมาใช้ได้ การเติม Clinoptilolite ในอัตรา 0.5-2 ตันต่อ 1000 ตารางเมตร จะเพิ่มผลผลิตของแครอท แอปเปิล ข้าวสาลี ฯลฯ จาก 15% เป็น 63%

2.1.8.2.3 มีอิทธิพลต่อพืชและสัตว์เล็ก ๆ และต่อระบบการหมัก (Influence of microflora and fermentative systems) การเพิ่มซีโอไลต์เป็นส่วนผสมในดินจะสามารถป้องกันการก่อตัวของสารพิษที่เกิดจากพวกจุลินทรีย์และช่วยลดกรดในดินที่เกิดจากการเติมปุ๋ยมากเกินไป

2.1.8.2.4 เป็นพาหะของสารเคมีและสารชนิดอื่น ๆ (Carrier of chemical and other substance) มีการเติมซีโอไลต์จากธรรมชาติในยากำจัดวัชพืช ยาฆ่าแมลง ยาป้องกันใบร่วงก่อนกำหนด พบว่ามีประสิทธิภาพสูงมาก

2.1.8.2.5 การเลี้ยงสัตว์น้ำและเพาะพันธุ์ปลา (Aquaculture and fish bleeding) การเกิดอออน NH_4^+ ในน้ำถึงจะเป็นปริมาณน้อยก็อาจจะเป็นอันตรายที่ร้ายแรงต่อปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ โดยซีโอไลต์จะเป็นตัวดูดซับ (Adsorb) NH_4^+ ได้ดี ทำให้น้ำเสียบริสุทธิ์ขึ้น

2.1.8.3 การปกป้องสภาพแวดล้อม (Protection environment)

2.1.8.3.1 ทำสารละลายที่มีกัมมันตรังสีให้บริสุทธิ์ (Purification of radioactive solutions) จากคุณสมบัติในด้าน Ion exchange ที่ดีจึงมีการนำซีโอไลต์จากธรรมชาติมาช่วยดูดซับธาตุที่มีกัมมันตรังสีหลายชนิดเช่น Strontium 90 หรือ Cesium 137

2.1.8.3.2 การทำให้น้ำบริสุทธิ์ (Water purification) หินที่มีองค์ประกอบของซีโอไลต์มาก ๆ สามารถนำมาใช้แทนการกรองด้วยทราย ปัจจุบันมีการนำซีโอไลต์มาผสมเป็นส่วนประกอบของผงซักฟอก ด้วยคุณสมบัติของการแลกเปลี่ยนอออน สามารถลดความกระด้างของน้ำโดยจับ Ca^{++} และ Mg^{++} ซึ่งมีบทบาทสำคัญที่ทำให้น้ำกระด้าง คุณสมบัตินี้ใช้ได้ดีเฉพาะในน้ำจืดเท่านั้น

2.1.8.3.3 การดูดซับโลหะที่เป็นพิษ (Adsorption of toxic metals) แร่ซีโอไลต์ที่มี cation ขนาดใหญ่ของ alkaline หรือ alkaine earth สามารถดูดซับโลหะหนัก เช่น ทองแดง ตะกั่ว และสารพิษอื่น ๆ ที่เจือปนอยู่ในสารละลายได้

2.1.8.3.4 การใช้ประโยชน์ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับของเสียจากสัตว์ (Utilization of animal 's excretion) เมื่อต้องการที่จะปกป้องสภาพแวดล้อมภายในฟาร์มให้อยู่ในสภาพดี และใช้ประโยชน์จากมูลสัตว์เพื่อทำเป็นปุ๋ยคอก ซีโอไลต์เมื่อถูกนำมาเป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์จะแสดงความสามารถในการปรับปรุงสภาพของวัวควายให้มีสุขภาพดีขึ้น อีกทั้งยังเพิ่มคุณค่าของปุ๋ยธรรมชาติที่ได้จากมูลสัตว์อีกด้วย (สุพัฒน์สิน คู่อรุณ และคณะ, 2540)

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ivanov K. (1997) ศึกษาการใช้ซีโอไลต์เป็น Filler ในกระดาศและกระดาศแข็ง พบว่าซีโอไลต์สามารถใช้แทนฟิลเลอร์ในอุตสาหกรรม โดยช่วยเพิ่มคุณสมบัติต่าง ๆ ให้แก่กระดาศ และส่วนประกอบสำคัญของกระดาศคือ Cation polyelectrolites จะช่วยเพิ่มความคงทนของฟิลเลอร์ ซึ่งความคงทนของฟิลเลอร์นี้จะทำให้การระบายน้ำของกระดาศมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และเพิ่มคุณสมบัติบางอย่างของกระดาศอีกด้วย

พิชยา ตันติเตมิต (2006) ศึกษาการผลิตกระดาศจากใบสับปะรดที่มีถ่านกัมมันต์เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บแฉงหอม ซึ่งถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับเอทิลีน โดยปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มมากขึ้นจะสามารถดูดซับเอทิลีนได้เพิ่มขึ้น โดยที่ถ่านกัมมันต์ 40 กรัมน้ำหนักแห้ง มีร้อยละการดูดซับเอทิลีนปริมาณ 5

ppm ได้มากกว่าถ่านกัมมันต์ปริมาณ 30, 20 และ 10 กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งพบว่าปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้กระดาษที่ผลิตได้มีน้ำหนักมาตรฐานและความหนาเพิ่มขึ้น ขณะที่ความขาวสว่าง ดัชนีความต้านทานแรงฉีกและดัชนีความต้านทานแรงดึง มีค่าลดลงส่งผลให้กระดาษมีความแข็งแรงลดลง เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการดูดซับเอทิลีนของกระดาษจากใบสับปะรดที่มีถ่านกัมมันต์ 150% ของน้ำหนักเยื่อแห้งเหมาะสมที่นำไปทดลองในการยืดอายุแตงหอม การใช้กระดาษจากใบสับปะรดที่มีถ่านกัมมันต์ในการยืดอายุการเก็บรักษาเปรียบเทียบกับการใช้สารดูดซับเอทิลีนทางการค้าและแตงหอมที่ไม่ใช้สารดูดซับเอทิลีน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 และ 10 องศาเซลเซียสพบว่ากระดาษจากใบสับปะรดที่มีถ่านกัมมันต์และสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าสามารถดูดซับก๊าซเอทิลีนและมีแนวโน้มในการยืดอายุการเก็บรักษาแตงหอมได้ดี ดังนั้นกระดาษจากใบสับปะรดที่มีถ่านกัมมันต์มีศักยภาพที่จะพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์แอกทีฟได้

ศิริพร เต็งรัง และคณะ (2013) ศึกษาและพัฒนากระดาษดูดซับเอทิลีนจากเปลือกทุเรียน ซึ่งผลจากการนำเปลือกทุเรียนมาเตรียมกระดาษด้วยเครื่องขึ้นรูปกระดาษ พบว่าได้กระดาษค่อนข้างเรียบ มีความสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น โดยกระดาษจากเส้นใยไม่ฟอกมีสีน้ำตาลอ่อน ส่วนกระดาษจากเส้นใยฟอกมีสีขาว และเมื่อนำกระดาษไปทดสอบคุณสมบัติ พบว่ากระดาษไม่ฟอกมีคุณสมบัติโดยรวมดีกว่ากระดาษฟอก เนื่องจากกระดาษไม่ฟอกยังมีลิกนินที่ทำหน้าที่คล้ายกาวเป็นตัวยึดเหนี่ยวให้เส้นใยติดกัน ทำให้มีความแข็งแรงสูงกว่า โดยผลการเตรียมกระดาษดูดซับเอทิลีนจากเส้นใยเปลือกทุเรียนไม่ฟอกผสมกับถ่านกัมมันต์ พบว่ากระดาษที่ได้มีสีเทาทั่วทั้งแผ่น เนื่องจากถ่านกัมมันต์กระจายตัวได้ดี ซึ่งกระดาษที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดและชนิดแท่งมีการหลุดร่วงของถ่านกัมมันต์เนื่องจากถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดและชนิดแท่งมีขนาดอนุภาคใหญ่ทำให้การแทรกตัวอยู่ระหว่างเส้นใยในเนื้อกระดาษเกิดได้ไม่ดี และเมื่อนำกระดาษมาทดสอบการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงเป็นเวลา 10 วัน พบว่ามะม่วงที่ห่อด้วยกระดาษเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด อาจเนื่องจากถ่านกัมมันต์ชนิดผงมีสัดส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากที่สุดเมื่อเทียบกับชนิดแท่ง และชนิดเม็ด ทำให้สามารถดูดซับก๊าซได้มากกว่า รองลงมาคือกระดาษเติมถ่านกัมมันต์ชนิดแท่ง กระดาษเติมสารกัมมันต์ชนิดเม็ดและกระดาษไม่เติมสารกัมมันต์ ตามลำดับ ดังนั้นเปลือกทุเรียนสามารถนำมาผลิตกระดาษดูดซับเอทิลีนได้และใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับก๊าซเอทิลีนเนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นตัวดูดซับที่ดี ปลอดภัยต่อผู้บริโภคเพราะมีการใช้งานอย่างกว้างขวางทางการแพทย์และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพราะสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ด้วยการนำไปผ่านการกระตุ้นซ้ำ (re-activated) เพื่อกำจัดสารต่างๆที่ถ่านดูดซับเอาไว้ออกไป

วาริช ศรีระออง และคณะ (2014) ศึกษาผลของการใช้กระดาษเคลือบสารดูดซับเอทิลีนและบรรจุภัณฑ์ปลดปล่อยเอทิลีนต่อคุณภาพกล้วยไข่ภายหลังการขนส่ง โดยสุ่มผลกล้วยไข่บรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ขนส่งปกติและบรรจุภัณฑ์ขนส่งที่มีแผ่นดูดซับเอทิลีนร่วมกับถุงปลดปล่อยเอทิลีน จากนั้นจำลองการขนส่งนาน 1 ชั่วโมงแล้วทำการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน แล้วจึงย้ายกล้วยไข่ไปไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อทำการบ่ม โดยชุดควบคุมบ่มภายนอกบรรจุภัณฑ์โดยจำลองสภาวะการบ่มทั่วไป และชุดทดลองที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ขนส่งที่มีแผ่นดูดซับเอทิลีน และถุงปลดปล่อยเอทิลีนทำการบ่มในบรรจุภัณฑ์ พบว่ากล้วยไข่ที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ที่มีแผ่นดูดซับเอทิลีน มีการสูญเสียน้ำหนักในช่วงที่ยอมรับได้โดยไม่

แสดงการเหี่ยวของเปลือก แสดงให้เห็นว่าในบรรยากาศที่มีเอทิลีนจะเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยาของผลไม้เกิดได้เร็วขึ้น ทั้งการเปลี่ยนแปลงสีผิวและการอ่อนตัวของผลไม้ ซึ่งเกิดจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในพืช ดังนั้นการใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีแผ่นดูดซับเอทิลีนร่วมกับถุงพลาสติกย่อยเอทิลีนสามารถชะลอการสุกของกล้วยไข่ได้ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำหรือระหว่างการขนส่ง และสามารถปลดปล่อยก๊าซเอทิลีนเพื่อกระตุ้นการสุกภายหลังการขนส่งได้

แพรวดาว โสภา และคณะ (2017) ศึกษาประสิทธิภาพของกระดาษเคลือบสารดูดซับเอทิลีนเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยเคลือบผิวกระดาษกราฟด้วยสารเคลือบคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากฟางข้าวผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เติมสารดูดซับเอทิลีน 2 ชนิด ได้แก่ ถ่านกัมมันต์และซีโอไลต์ที่ระดับการเติม 2-4% ทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธี Gas Chromatography ตัดกระดาษตัวอย่างขนาด 5x5 cm บรรจุในโถแก้วทดสอบขนาด 500 ml จากนั้นฉีดก๊าซเอทิลีนมาตรฐานระดับความเข้มข้น 1 ppm โดยเพิ่มฉีดก๊าซขนาด 1 ml วิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซเอทิลีนที่เหลือทุก ๆ 30 นาที จนครบ 7 ชั่วโมง ทำการบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ลงในกล่องกระดาษลูกฟูกแบ่งเป็น 3 ชุด คือ ชุดควบคุม (ไม่เคลือบสารดูดซับก๊าซเอทิลีน) และกล่องที่เคลือบด้วยสารเคลือบผงถ่านกัมมันต์และสารเคลือบผงซีโอไลต์ จากนั้นทำการเก็บรักษามะม่วงที่อุณหภูมิ $13\pm 1^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ $90\pm 5\% \text{RH}$ เป็นเวลา 24 วัน และหลังจากนั้นนำมะม่วงมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ $50\pm 5\% \text{RH}$ ตามลำดับ ผลการวัดอัตราการดูดซับก๊าซเอทิลีนของกระดาษเคลือบผิวด้วยสารดูดซับก๊าซเอทิลีนทั้ง 2 ชนิด พบว่าความสามารถในการดูดซับก๊าซเอทิลีนของกระดาษมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นแปรผันตรงตามปริมาณการเติมสารดูดซับก๊าซเอทิลีน และมีค่าอัตราการดูดซับก๊าซเอทิลีนสูงที่สุดที่ระดับการเติมผงถ่าน กัมมันต์และผงซีโอไลต์เท่ากับ 3.5% (w/v) มีค่าอัตราการดูดซับก๊าซเอทิลีนเท่ากับ 0.96 และ 1.24 ppm/hr ตามลำดับ โดยพบว่ากระดาษไม่เคลือบผิวมีค่าอัตราการดูดซับก๊าซเอทิลีนได้น้อยมีค่าเท่ากับ 0.03 ppm/hr ภายหลังจากทดสอบคุณสมบัติของสารเคลือบคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเยื่อฟางข้าวผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผู้วิจัยได้คัดเลือกสูตรสารเคลือบผิวกระดาษที่เติมผงถ่านกัมมันต์และผงซีโอไลต์ที่ระดับ 3.5% (w/v) มาประยุกต์ใช้เคลือบผิวกล่องกระดาษลูกฟูกเพื่อประเมินผลการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ เนื่องจากที่ระดับการเติมสารดูดซับก๊าซเอทิลีนดังกล่าว มีอัตราการดูดซับก๊าซเอทิลีนสูงที่สุด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสารเคลือบผิวกระดาษที่เติมสารดูดซับก๊าซเอทิลีนทั้ง 2 ชนิด เมื่อนำไปเคลือบผิวกล่องกระดาษลูกฟูกสามารถยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงภายในห้องเย็นอุณหภูมิ $13\pm 1^{\circ}\text{C}$ ได้นาน 24 วัน และสามารถนำมะม่วงมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ได้เพิ่มขึ้น 3 วัน รวมทั้งสิ้น 27 วัน การพัฒนาคุณสมบัติกระดาษให้มีคุณสมบัติในการดูดซับเอทิลีน โดยอาศัยเทคนิคเคลือบผิวกระดาษด้วยสารเคลือบคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากฟางข้าวผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เติมผงถ่านกัมมันต์และผงซีโอไลต์ พบว่าผงซีโอไลต์มีอัตราการดูดซับก๊าซเอทิลีนมากกว่าผงถ่านกัมมันต์ในทุกะดับการเติม เป็นผลมาจากผงซีโอไลต์มีขนาดรูพรุนใหญ่สามารถดูดซับโมเลกุลของก๊าซเอทิลีนที่ผิวด้านนอกได้ดีกว่าผงถ่านกัมมันต์ ในขณะที่ผงถ่านกัมมันต์สามารถยืดเหนี่ยวโมเลกุลของก๊าซเอทิลีนด้วยแรงวานเดอร์วาลส์มีความแข็งแรงน้อย ส่งผลทำให้ดูดซับก๊าซเอทิลีนที่ผิวด้านนอกของผงถ่านกัมมันต์ลดลง

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุและสารเคมี

- 3.1.1.1 เยื่อยูคาลิปตัสฟอกขาวทางการค้า (เยื่อใยสั้น) บริษัทเอสซีจี แพคเกจจิ้ง จำกัด (มหาชน)
- 3.1.1.2 เยื่อสนผสมฟอกขาวทางการค้า (เยื่อใยยาว) บริษัท ทรอปตัน ประเทศแคนาดา
- 3.1.1.3 สารซีโอไลต์สังเคราะห์ 4A บริษัท ไทยซิลิเกตเคมีคัล จำกัด
- 3.1.1.4 สารซีโอไลต์สังเคราะห์ 5A บริษัท ไทยซิลิเกตเคมีคัล จำกัด
- 3.1.1.5 สารซีโอไลต์สังเคราะห์ 13X
- 3.1.1.6 Cationic Polyacrylamide (CPAM) Fennopol K 4230 Tบริษัท เคมิรา ประเทศฟินแลนด์
- 3.1.1.7 Silica Gel
- 3.1.1.8 กล้วยหอม
- 3.1.1.9 กล่องพลาสติก
- 3.1.1.10 ฟ้าดำ

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 3.1.2.1 เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 3 ตำแหน่ง
- 3.1.2.2 ปีกเกอร์
- 3.1.2.3 ซ้อนตักสารเคมี
- 3.1.2.4 ตู้อบ
- 3.1.2.5 ครูชีเบิล
- 3.1.2.6 เดซิกเคเตอร์
- 3.1.2.7 เครื่องบดเยื่อ (Valley beater)
- 3.1.2.8 เครื่องหาค่าสภาพระบายน้ำ (freeness tester)
- 3.1.2.9 เครื่องตีกระจายเยื่อ (disintegrator)
- 3.1.2.10 เทอร์โมมิเตอร์
- 3.1.2.11 เครื่องขึ้นแผ่น (ISO Rapid-Kothen (RK))
- 3.1.2.12 ปืนสูญญากาศ
- 3.1.2.13 กระดาษกรอง

- 3.1.2.14 เครื่องวัดความหนา
- 3.1.2.15 เครื่องวัดความขาว (Technidyne)
- 3.1.2.16 เครื่องวัดความเรียบ (Smoothness Tester (Bekk Method))
- 3.1.2.17 เครื่องวัดความต้านทานการไหลของอากาศ (Air Leak Tester)
- 3.1.2.18 เครื่องวัดความต้านทานแรงดึง (Strograph Model E-S)
- 3.1.2.19 เครื่องวัดความต้านทานแรงฉีก (Elmendorf Tear test)
- 3.1.2.20 เครื่องวัดสี (Spectrophotometer)

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การหาปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ที่เหมาะสม

3.2.1.1 การเตรียมเยื่อ

หาความชื้นของเยื่อทางการค้า เพื่อหาน้ำหนักเยื่อแห้ง และเตรียมเยื่อทางการค้าใยสั้นและใยยาวในอัตราส่วน 70 : 30 (โดยน้ำหนัก) โดยในการทดลองนี้ใช้เยื่อแห้งทั้งหมด 360 กรัม นั่นคือ เยื่อใยสั้น 252 กรัม และเยื่อใยยาว 108 กรัม

3.2.1.2 การตีกระจายและบดเยื่อ

บดเยื่อด้วยเครื่อง Valley beater โดยใช้เยื่อแห้ง 360 กรัม และเติมน้ำจืดมีปริมาตรรวม 23 ลิตร ซึ่งจะมีความเข้มข้นของเยื่อเท่ากับร้อยละ 1.57 ตีกระจายเยื่อ 10 นาที แล้วจึงแขวนตุ้มน้ำหนักเพื่อเริ่มบดเยื่อ ขณะบดเยื่อให้สุ่มเยื่อขึ้นมาเพื่อหาค่าสภาพระบาย (Freeness) โดยบดเยื่อจนมีสภาพระบาย (Freeness) เท่ากับ 350 ± 30 มิลลิลิตร

3.2.1.3 หาค่าสภาพระบายได้ (Freeness) ของเยื่อ

ใช้น้ำเยื่อความเข้มข้นร้อยละ 0.3 ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร เมื่อปรับความเข้มข้นของเยื่อแล้วเทน้ำเยื่อลงในเครื่องหาค่าสภาพระบาย นำกระบอกตวงมาวางไว้ใต้เครื่องวัดค่าสภาพระบายได้ที่ตำแหน่งท่อระบายทางด้านข้าง เพื่อหาปริมาณน้ำที่ไหลออกมา และนำปิเกตอร์มาวางไว้ใต้ท่อระบายทางตรงพร้อมกับเทอร์โมมิเตอร์เพื่อวัดอุณหภูมิ ทำการวัดค่าปริมาตรของน้ำจากท่อระบายทางด้านข้างและค่าอุณหภูมิของน้ำ หากอุณหภูมิไม่เท่ากับ 20 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นไม่เท่ากับร้อยละ 0.3 ให้ทำการปรับแก้ค่าสภาพระบาย

3.2.1.4 การเติมสารเคมี

นำเยื่อที่ได้มาเติมซีโอไลต์ 4A ร้อยละ 30 และ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ในปริมาณต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- (1) ซีโอไลต์ 4A ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง
- (2) ซีโอไลต์ 4A ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง + CPAM ร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง
- (3) ซีโอไลต์ 4A ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง + CPAM ร้อยละ 0.6 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

(4) ซีโอไลต์ 4A ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง + CPAM ร้อยละ 0.9 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

(5) ซีโอไลต์ 4A ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง + CPAM ร้อยละ 1.2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

3.2.1.5 การตีกระจายเยื่อ

นำเยื่อที่เติมสารเคมีทั้ง 5 ชุดไปตีกระจายเยื่อด้วยเครื่อง disintegrator

3.2.1.6 การขึ้นแผ่นกระดาษ

ขึ้นแผ่นกระดาษด้วยเครื่อง ISO Rapid-Kothen (RK) โดยใช้ น้ำเยื่อความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และขึ้นแผ่นในแต่ละกลุ่ม 10 แผ่น เปิดเครื่องขึ้นแผ่นอัตโนมัติ ซึ่งปริมาณน้ำเยื่อ จากนั้นให้น้ำเยื่อลงไปในส่วนขึ้นแผ่น โดยเยื่อที่ต้องการจะติดอยู่บนตะแกรงขึ้นแผ่น ยกตะแกรงขึ้นแผ่นออกมา นำแผ่น Rapid-Kothen Board Carrier มาวางบนเยื่อที่ได้ และมีวนลูกกลิ้งมารีดทับ จากนั้นนำแผ่น Paper coat sheet มาวางทับบนเยื่ออีกด้านหนึ่ง และนำเข้าเครื่องอบแห้ง 8 นาที นำแผ่นกระดาษที่ได้ออกมา ลอกแผ่น Paper coat sheet และ Rapid-Kothen Board Carrier ออก นำแผ่นกระดาษที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก โดยค่าน้ำหนักควรมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ ± 10 หรืออยู่ในช่วง 2.261 – 2.763 กรัม เพื่อผลิตกระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐาน 80 กรัมต่อตารางเมตร

3.2.1.7 ทดสอบคุณสมบัติกระดาษ

ทดสอบคุณสมบัติกระดาษ ได้แก่ น้ำหนักมาตรฐาน ความหนา ความขาว ความเรียบ ความต้านทานการไหลของอากาศ ความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อแรงฉีกขาด และหาปริมาณเถ้า (Ash content)

3.2.1.8 วิเคราะห์สมบัติกระดาษที่ผลิตได้เพื่อหาปริมาณ CPAM ที่เหมาะสม

3.2.2 หาความสัมพันธ์ของชนิดและปริมาณซีโอไลต์ต่อการยึดอายุการเก็บรักษากล้วยหอม

3.2.2.1 การขึ้นแผ่นกระดาษ

ขึ้นแผ่นกระดาษทั้งหมด 10 ชุด ดังขั้นตอนในข้อ 3.2.1.1 – 3.2.1.6 โดยนำเยื่อที่ได้มาเติม Cationic Polyacrylamide (CPAM) ปริมาณที่เหมาะสมที่หาได้จากขั้นตอน 3.2.1 และเติมซีโอไลต์ในปริมาณต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

(1) ชุดควบคุม

(2) CPAM ปริมาณที่เหมาะสม + ซีโอไลต์ 4A ร้อยละ 20 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

(3) CPAM ปริมาณที่เหมาะสม + ซีโอไลต์ 4A ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

(4) CPAM ปริมาณที่เหมาะสม + ซีโอไลต์ 4A ร้อยละ 40 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

(5) CPAM ปริมาณที่เหมาะสม + ซีโอไลต์ 5A ร้อยละ 20 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

(6) CPAM ปริมาณที่เหมาะสม + ซีโอไลต์ 5A ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

(7) CPAM ปริมาณที่เหมาะสม + ซีโอไลต์ 5A ร้อยละ 40 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

(8) CPAM ปริมาณที่เหมาะสม + ซีโอไลต์ 13X ร้อยละ 20 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

- (9) CPAM ปริมาณที่เหมาะสม + ซีโอไลต์ 13X ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง
- (10) CPAM ปริมาณที่เหมาะสม + ซีโอไลต์ 13X ร้อยละ 40 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

3.2.2.2 คัดเลือกกล้วยหอม

คัดเลือกกล้วยหอมที่มีน้ำหนัก และสีใกล้เคียงกัน และวัดค่าสีของเปลือกกล้วยหอมก่อนการทดลอง โดยวัดค่า L^* , a^* และ b^*

3.2.2.3 ทดสอบประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอม

โดยบรรจุกล้วยหอมลงในกล่องพลาสติกกล่องละ 1 ลูก จำนวน 11 กล่อง และนำกระดาษที่ขึ้นแผ่นแล้วมาบรรจุในกล่องพลาสติกกล่องละ 1 แผ่น จำนวน 11 กล่อง จากนั้นนำผ้าดำมาคลุมกล่องพลาสติกเมื่อครบ 7 วันจึงนำกล้วยหอมในแต่ละกล่องมาวัดค่าสีที่เปลี่ยนไปของเปลือกกล้วยหอม

3.2.2.4 ทดสอบคุณสมบัติกระดาษ

ทดสอบคุณสมบัติกระดาษ ได้แก่ น้ำหนักมาตรฐาน ความหนา ความขาว ความเรียบ ความต้านทานการไหลของอากาศ ความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อแรงฉีกขาด และหาปริมาณเถ้า (Ash content)

3.2.2.5 วิเคราะห์คุณสมบัติกระดาษและค่าสีที่เปลี่ยนไปของเปลือกกล้วยหอม

3.3 การดำเนินการวิจัย

- 3.3.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 3.3.2 เตรียมวัสดุ อุปกรณ์ สารเคมีและสถานที่ที่ใช้ในการทดลอง
- 3.3.3 ศึกษาชนิดและปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง
- 3.3.4 ขึ้นแผ่นกระดาษเพื่อหาปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ที่เหมาะสม
- 3.3.5 ขึ้นแผ่นกระดาษเพื่อหาความสัมพันธ์ของชนิดและปริมาณซีโอไลต์ต่อการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอม
- 3.3.6 จัดรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผล
- 3.3.7 สรุปผลการทดลองและจัดทำรูปเล่ม

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การหาปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ที่เหมาะสม

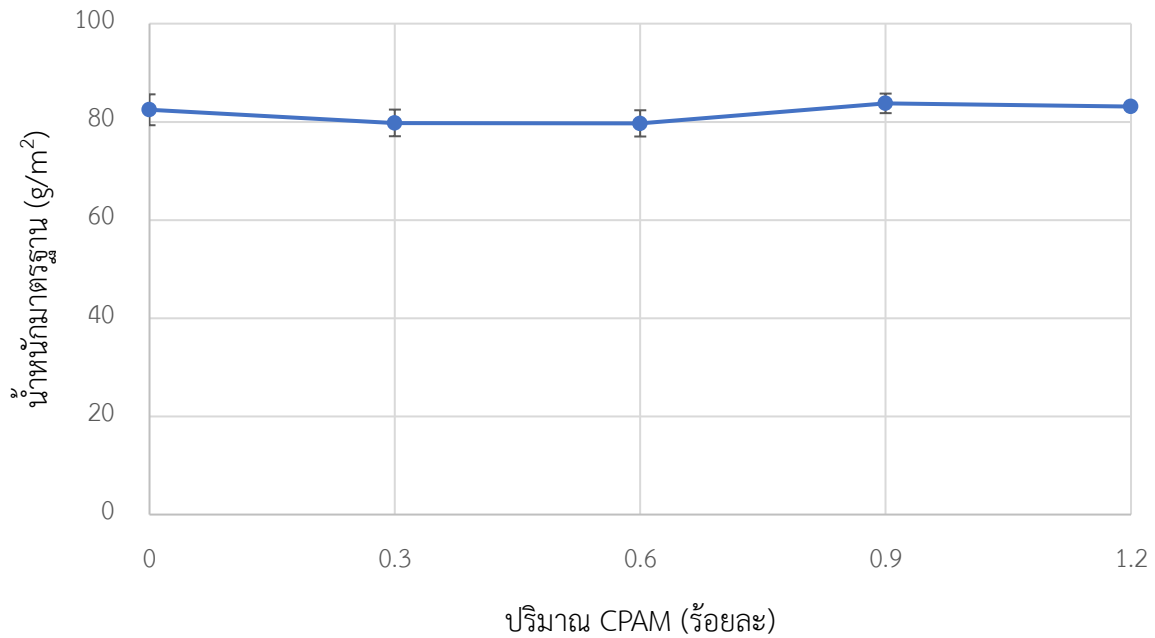
จากการทดลองผลิตกระดาษจากเยื่อการค้าที่มีอัตราส่วนระหว่างเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาว 70 : 30 โดยน้ำหนัก ที่มีน้ำหนักมาตรฐาน 80 กรัมต่อตารางเมตร โดยนำมาเติมซีโอไลต์ชนิด 4A ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ที่ปริมาณต่าง ๆ ได้แก่ ร้อยละ 0.3, 0.6, 0.9 และ 1.2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง แล้วทำการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของกระดาษ รวมทั้งหาปริมาณซีโอไลต์ที่เหลืออยู่ในกระดาษ ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1.1 น้ำหนักมาตรฐาน (Basis Weight)

จากการหาน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษที่ปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่าง ๆ กันพบว่า น้ำหนักมาตรฐานมีค่าใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1 ตามลำดับ ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อน้ำหนักกระดาษ ได้แก่ ปริมาณเส้นใย สารเติมแต่ง และความชื้น รวมถึงขั้นตอนในการผลิตกระดาษ เช่น การเตรียมน้ำเยื่อ และการขึ้นแผ่น ดังนั้นน้ำหนักมาตรฐานขึ้นอยู่กับการผลิตกระดาษ

ตารางที่ 4.1 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อน้ำหนักมาตรฐาน

ปริมาณ CPAM (ร้อยละ)	น้ำหนักกระดาษ (g) \pm SD	น้ำหนักมาตรฐาน (g/m ²)
0	2.589 \pm 0.099	82.452 \pm 3.147
0.3	2.505 \pm 0.085	79.777 \pm 2.712
0.6	2.502 \pm 0.084	79.682 \pm 2.674
0.9	2.630 \pm 0.062	83.758 \pm 1.990
1.2	2.610 \pm 0.017	83.121 \pm 0.530



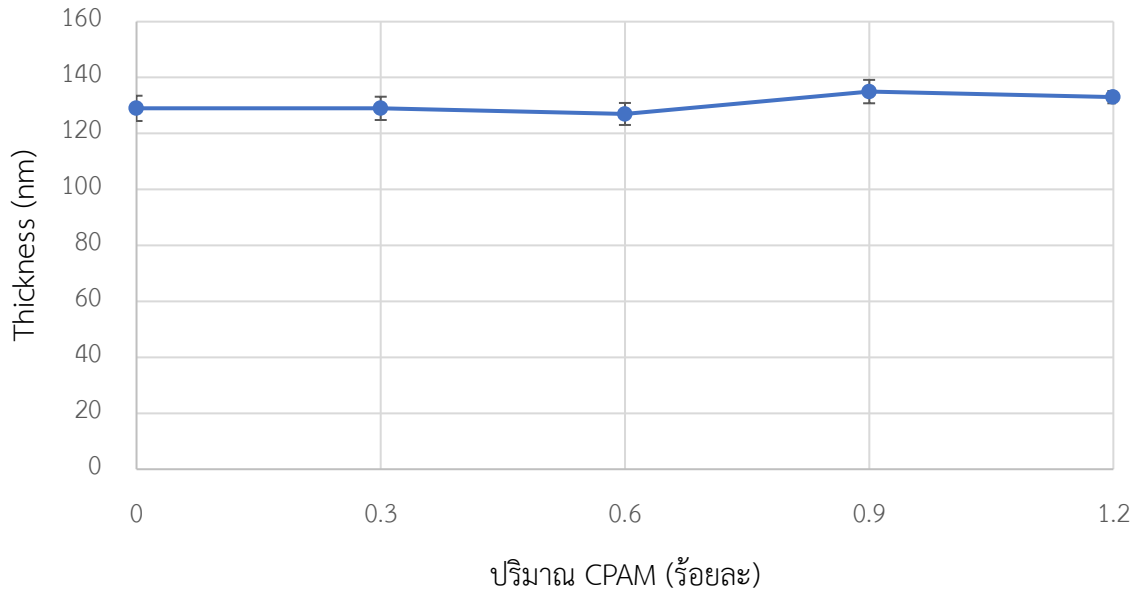
ภาพที่ 4.1 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อน้ำหนักรักษา

4.1.2 ความหนา (Thickness)

จากการวัดความหนาของกระดาษที่ปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่าง ๆ กัน พบว่าความหนาของกระดาษมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักรักษา ดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.2 ตามลำดับ เนื่องจากปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนา คือ น้ำหนักรักษา ความหนาแน่น และความชื้น ดังนั้นเมื่อน้ำหนักรักษาเพิ่มขึ้นความหนาจึงเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.2 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อความหนาของกระดาษ

ปริมาณ CPAM (ร้อยละ)	Thickness (μm)	$\pm\text{SD}$
0	129	± 4.515
0.3	129	± 4.160
0.6	127	± 3.932
0.9	135	± 4.180
1.2	133	± 2.192



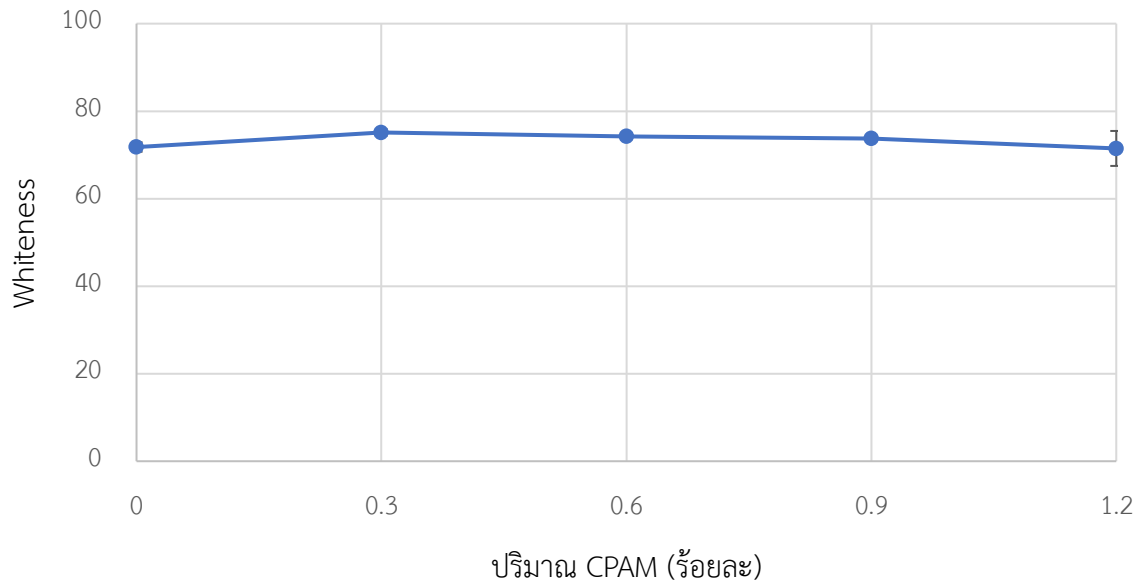
ภาพที่ 4.2 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อความหนาของกระดาษ

4.1.3 ความขาว (Whiteness)

จากการวัดความขาวของกระดาษที่ปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่าง ๆ กัน พบว่ากระดาษที่ไม่มีการใส่ Cationic Polyacrylamide (CPAM) มีค่าความขาวน้อยกว่ากระดาษที่ใส่ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ร้อยละ 0.3 และเมื่อใส่ Cationic Polyacrylamide (CPAM) มากขึ้น ค่าความขาวมีค่าน้อยลง ดังตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.3 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าค่าความขาวมีความสัมพันธ์กับปริมาณซีโอไลต์ที่เหลืออยู่ในกระดาษซึ่งสามารถทดสอบด้วยการหาปริมาณเถ้า (Ash content) ดังนั้นเมื่อปริมาณซีโอไลต์มากขึ้นจะส่งผลให้กระดาษมีค่าความขาวมากขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.3 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อความขาวของกระดาษ

ปริมาณ CPAM (ร้อยละ)	Whiteness	±SD
0	71.81	±1.083
0.3	75.13	±0.761
0.6	74.25	±0.645
0.9	73.73	±0.455
1.2	71.48	±3.997



ภาพที่ 4.3 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อความขาวของกระดาษ

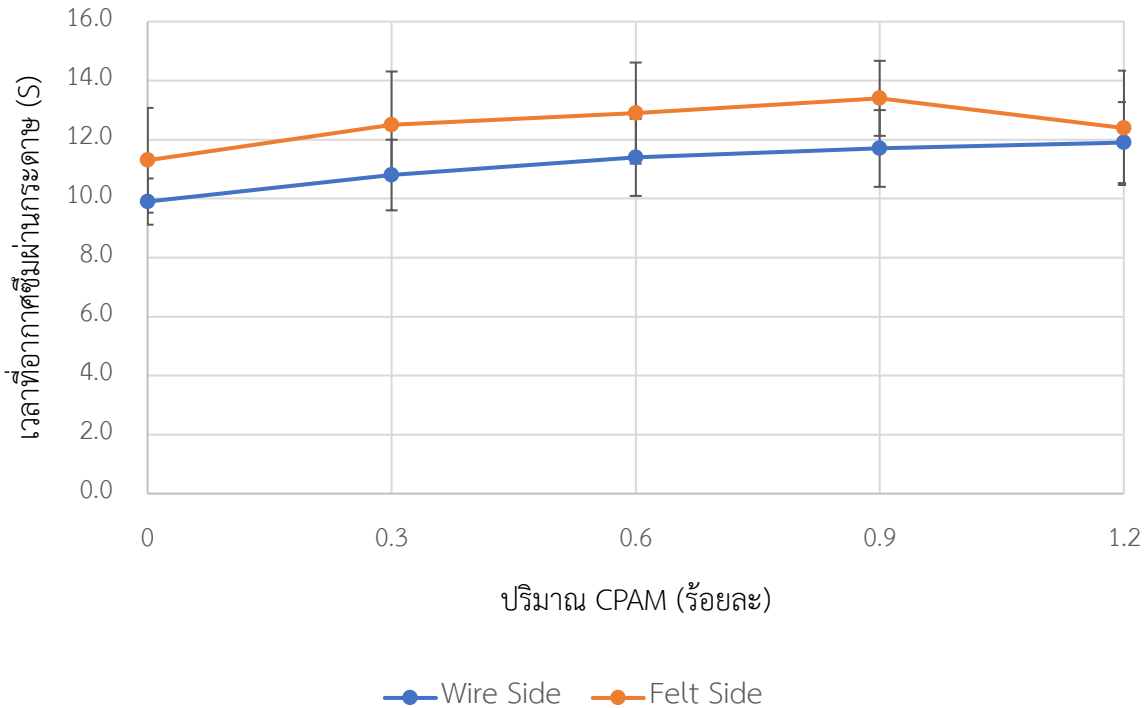
4.1.4 ความเรียบ (Smoothness)

การทดสอบหาความเรียบของกระดาษที่ปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่าง ๆ กัน จากการทดลองหาเวลาที่อากาศไหลผ่านผิวหน้ากระดาษ พบว่า เมื่อปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) เพิ่มขึ้น เวลาที่อากาศไหลผ่านผิวหน้ากระดาษมีค่ามากขึ้น ดังตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.4 ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) มากขึ้นจะส่งผลให้กระดาษมีความเรียบมากขึ้น

เมื่อพิจารณากระดาษด้าน Wire Side และ Felt Side พบว่าเวลาที่อากาศไหลผ่านผิวหน้ากระดาษด้าน Felt Side มีค่ามากกว่า Wire Side เนื่องจากในขั้นตอนการผลิตกระดาษ ด้าน Wire Side จะมีเส้นใยขนาดใหญ่มากกว่าในขณะที่เส้นใยขนาดเล็กและสารเติมแต่งจะอยู่ด้าน Felt Side มากกว่า ดังนั้นผิวหน้าด้าน Felt Side จึงมีความเรียบกว่าด้าน Wire Side

ตารางที่ 4.4 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อความเรียบของกระดาษ

ปริมาณ CPAM (ร้อยละ)	เวลาที่อากาศซึมผ่านกระดาษ (S)	
	Wire Side \pm SD	Felt Side \pm SD
0	9.9 \pm 0.784	11.3 \pm 1.776
0.3	10.8 \pm 1.197	12.5 \pm 1.810
0.6	11.4 \pm 1.307	12.9 \pm 1.713
0.9	11.7 \pm 1.301	13.4 \pm 1.272
1.2	11.9 \pm 1.373	12.4 \pm 1.938



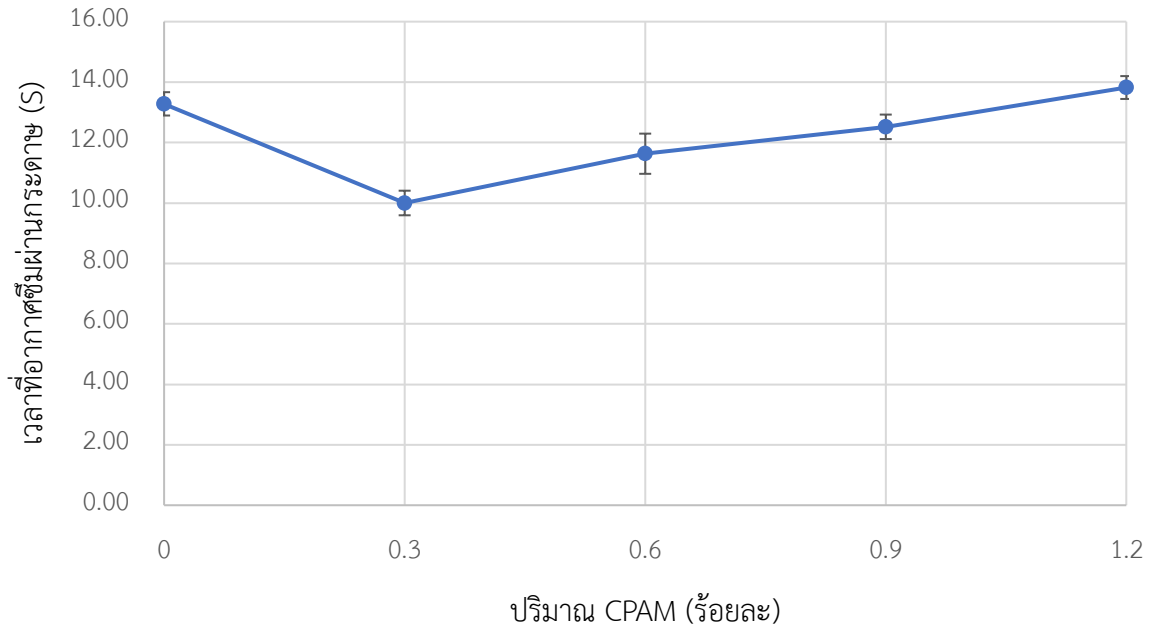
ภาพที่ 4.4 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อความเร็วของกระดาษ

4.1.5 ความต้านทานการไหลของอากาศ (Air resistance)

การทดสอบหาความต้านทานการไหลของอากาศของกระดาษที่ปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่าง ๆ กัน จากการทดลองจับเวลาที่อากาศซึมผ่าน พบว่า กระดาษที่ได้ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ร้อยละ 0.3 ใช้เวลาที่อากาศซึมผ่านรูพรุนน้อยกว่ากระดาษที่ไม่ได้ Cationic Polyacrylamide (CPAM) และเมื่อปริมาณ CPAM เพิ่มขึ้น เวลาที่อากาศซึมผ่านรูพรุนมีค่ามากขึ้น ดังตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.5 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าเวลาที่อากาศซึมผ่านรูพรุนมีความสัมพันธ์กับปริมาณซีโอไลต์ที่เหลืออยู่ในกระดาษ ซึ่งสามารถทดสอบด้วยการหาปริมาณเถ้า (Ash content) ดังนั้นเมื่อปริมาณซีโอไลต์มากขึ้นจะส่งผลให้เวลาที่อากาศซึมผ่านรูพรุนมีค่าลดลงหรือมีความพรุนมากขึ้น เนื่องจากซีโอไลต์จะไปแทรกอยู่ระหว่างเส้นใย ทำให้เส้นใยไม่แนบชิดกัน จึงเกิดรูพรุนภายในเนื้อกระดาษมากขึ้น

ตารางที่ 4.5 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อความต้านทานการไหลของอากาศของกระดาษ

ปริมาณ CPAM (ร้อยละ)	เวลาที่อากาศซึมผ่านกระดาษ (S)	±SD
0	13.28	±0.386
0.3	10.00	±0.407
0.6	11.63	±0.665
0.9	12.52	±0.405
1.2	13.82	±0.378



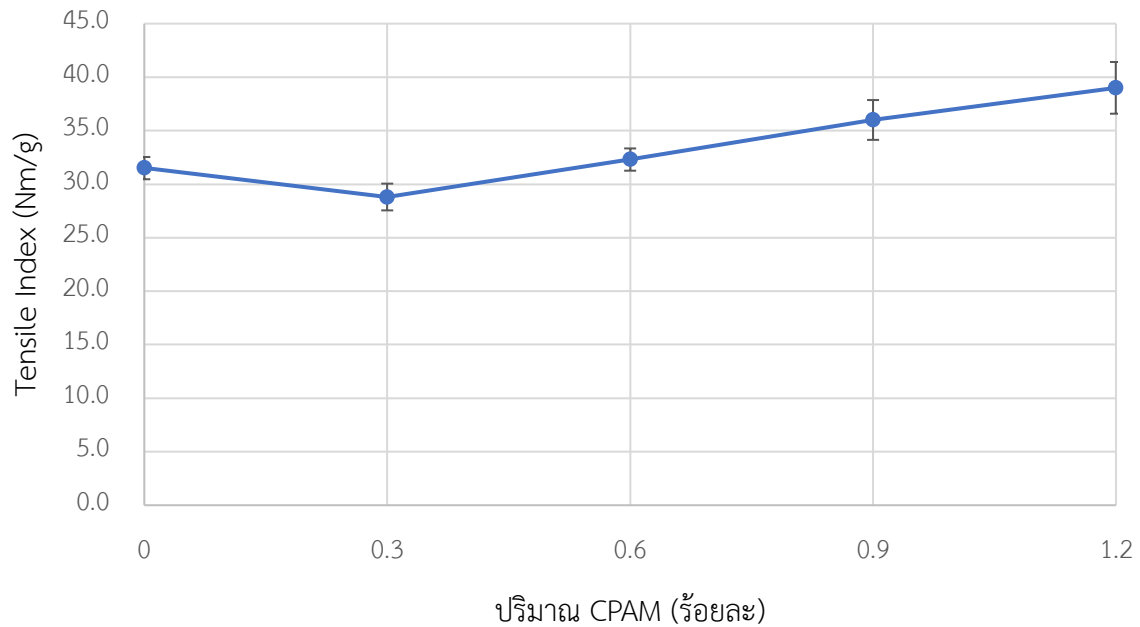
ภาพที่ 4.5 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อความต้านทานการไหลของอากาศของกระดาษ

4.1.6 ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength)

การทดสอบหาความต้านทานต่อแรงดึงของกระดาษที่ปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่าง ๆ กัน พบว่า กระดาษที่ไม่มีการใส่ Cationic Polyacrylamide (CPAM) มีความต้านทานต่อแรงดึงมากกว่ากระดาษที่ใส่ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ร้อยละ 0.3 ดังตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.6 ตามลำดับ เนื่องจากกระดาษที่ใส่ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ร้อยละ 0.3 ซึ่งมีปริมาณซีโอล์ตเหลืออยู่ในกระดาษมากที่สุด ซีโอล์ตจะขวางการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างเส้นใย ซึ่งส่งผลให้ความต้านทานต่อแรงดึงมีค่าลดลง แต่เมื่อปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) เพิ่มขึ้น ความต้านทานต่อแรงดึงจะมีค่ามากขึ้น เนื่องจากปริมาณซีโอล์ตที่เหลืออยู่ในกระดาษจะน้อยลง นอกจากนี้ Cationic Polyacrylamide (CPAM) เป็นสารช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกระดาษ ส่งผลให้ความต้านทานต่อแรงดึงมีค่ามากขึ้น

ตารางที่ 4.6 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อ Tensile Index ของกระดาษ

ปริมาณ CPAM (ร้อยละ)	Tensile Index (Nm/g)	±SD
0	31.5	±1.040
0.3	28.8	±1.250
0.6	32.3	±1.040
0.9	36.0	±1.861
1.2	39.0	±2.415



ภาพที่ 4.6 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อ Tensile Index ของกระดาษ

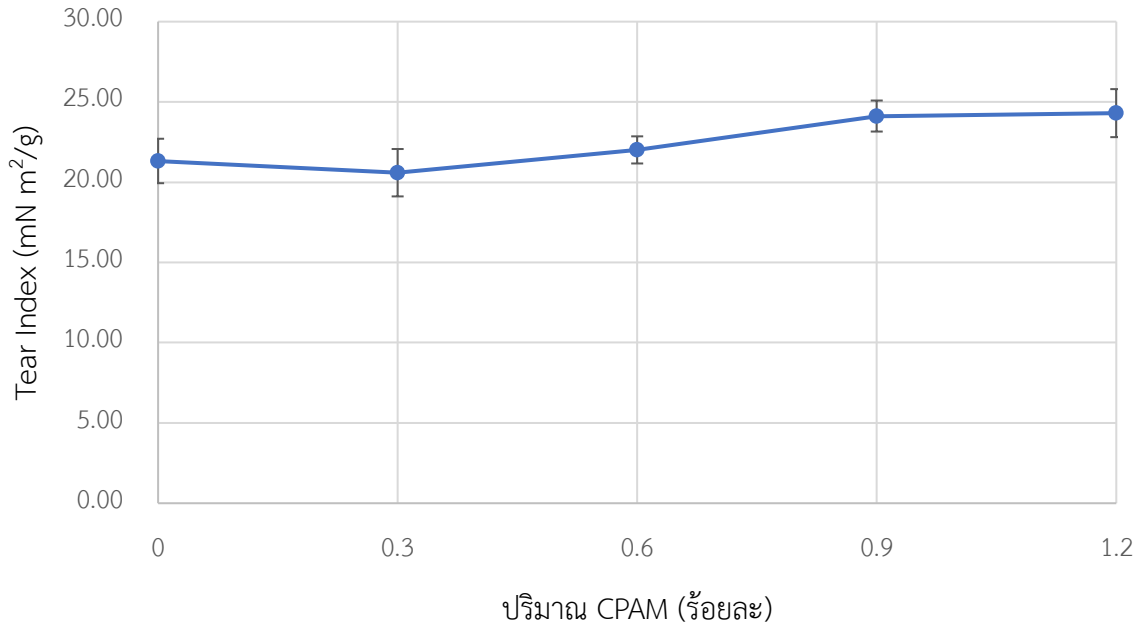
4.1.7 ความต้านทานต่อแรงฉีก (Tear Resistance)

การทดสอบหาความต้านทานต่อแรงฉีกของกระดาษที่ปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่าง ๆ กัน พบว่า กระดาษที่ไม่มีการใส่ Cationic Polyacrylamide (CPAM) มีความต้านทานต่อแรงฉีกมากกว่า กระดาษที่ใส่ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ร้อยละ 0.3 ดังตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.7 ตามลำดับ เนื่องจากกระดาษที่ใส่ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ร้อยละ 0.3 ซึ่งมีปริมาณซีโอไลต์เหลืออยู่ในกระดาษมากที่สุด ซีโอไลต์จะขวางการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างเส้นใย ซึ่งส่งผลให้ความต้านทานต่อแรงฉีกมีค่าลดลง

แต่เมื่อปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) เพิ่มขึ้น ความต้านทานต่อแรงฉีกจะมีค่ามากขึ้น เนื่องจากปริมาณซีโอไลต์ที่เหลืออยู่ในกระดาษจะน้อยลง นอกจากนี้ Cationic Polyacrylamide (CPAM) เป็นสารช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกระดาษ ส่งผลให้ความต้านทานต่อแรงฉีกมีค่ามากขึ้น

ตารางที่ 4.7 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อ Tear Index ของกระดาษ

ปริมาณ CPAM (ร้อยละ)	Tear Index (mN m ² /g)	±SD
0	21.32	±1.385
0.3	20.59	±1.476
0.6	22.01	±0.845
0.9	24.12	±0.966
1.2	24.30	±1.496



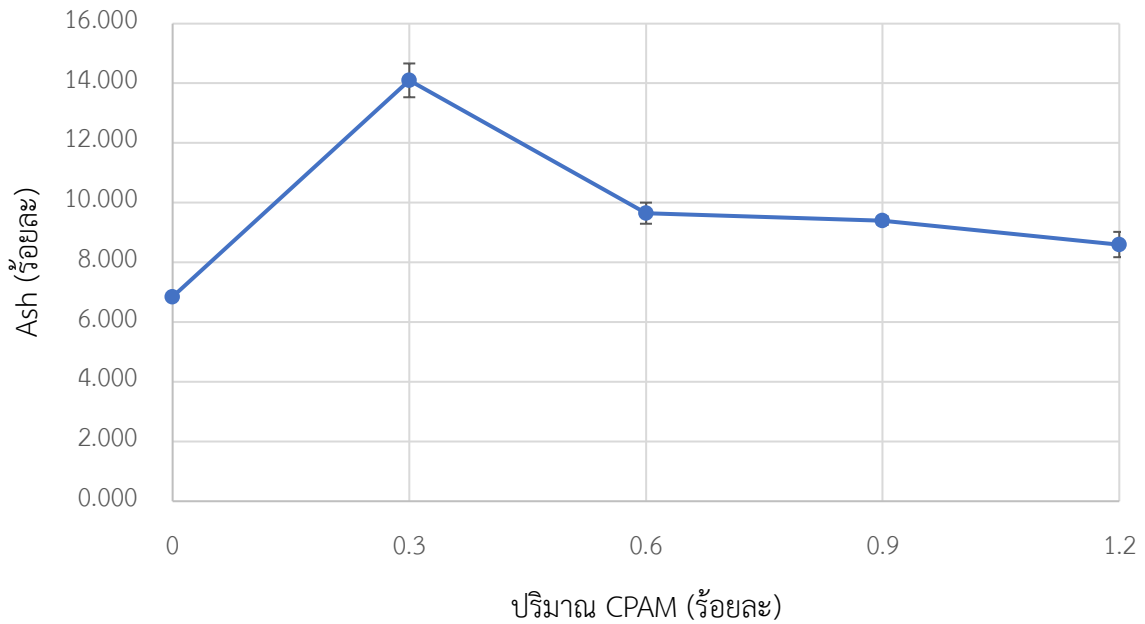
ภาพที่ 4.7 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อ Tear Index ของกระดาษ

4.1.8 การหาปริมาณเถ้า (Ash Content)

จากการหาปริมาณเถ้าโดยเผากระดาษที่อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส เพื่อหาปริมาณซีโอไลท์ที่เหลืออยู่ในกระดาษ ที่ปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่าง ๆ กัน พบว่า เมื่อใช้ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ร้อยละ 0.3 ปริมาณเถ้าที่เหลืออยู่ในกระดาษมีปริมาณมากที่สุด นั่นคือ ร้อยละ 14.100 ดังนั้นปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษคือร้อยละ 0.3

ตารางที่ 4.8 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อ Ash (%)

ปริมาณ CPAM (ร้อยละ)	Ash (ร้อยละ)	±SD
0	6.850	±0.071
0.3	14.100	±0.566
0.6	9.650	±0.354
0.9	9.400	±0.141
1.2	8.600	±0.424



ภาพที่ 4.8 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อ Ash (%)

4.2 การหาความสัมพันธ์ของชนิดและปริมาณซีโอไลต์ต่อการยึดอายุกล้วยหอม

สำหรับการทดลองส่วนนี้ ไม่สามารถดำเนินการได้เนื่องจากสถานการณ์การระบาดของโรคไวรัส COVID -19

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองใช้ซีโอไลต์เพื่อเป็นตัวเติมในการผลิตกระดาษเพื่อดูดซับเอทิลีนจากผลไม้ สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 การหาปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ที่เหมาะสม

Cationic Polyacrylamide (CPAM) ร้อยละ 0.3 มีความเหมาะสมมากที่สุดในการผลิตกระดาษที่มีซีโอไลต์ เนื่องจากสามารถทำให้ปริมาณซีโอไลต์เหลืออยู่ในกระดาษมากที่สุด

5.1.2 การทดสอบคุณสมบัติกระดาษ

จากการทดสอบคุณสมบัติทั่วไปของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อการค้ำที่มีน้ำหนักมาตรฐาน 80 แกรม โดยใช้ซีโอไลต์ชนิด 4A และใส่ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ร้อยละ 0.3 เทียบกับกระดาษที่ไม่ใส่ Cationic Polyacrylamide (CPAM) พบว่ากระดาษที่ใส่ Cationic Polyacrylamide (CPAM) มีน้ำหนักมาตรฐานลดลง เป็นผลมาจากขั้นตอนการผลิตกระดาษ ความหนาของกระดาษมีค่าเท่าเดิม ความขาว และความเรียบมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณซีโอไลต์ที่มากขึ้น ความต้านทานการไหลของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากกระดาษมีความพรุนลดลง ส่วนความต้านทานต่อแรงดึงและความต้านทานต่อแรงฉีกมีค่าลดลง เนื่องจากซีโอไลต์จะขวางการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างเส้นใย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ศึกษารูปแบบการใช้ซีโอไลต์เพื่อการดูดซับก๊าซเอทิลีนไปใช้งานในรูปแบบอื่น ๆ เช่น เจลอัดเม็ด เป็นต้น เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดีขึ้น

5.2.2 ศึกษาการใช้งานกระดาษที่มีซีโอไลต์กับผลไม้แต่ละชนิดซึ่งมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซเอทิลีนไม่เท่ากัน

5.2.3 ศึกษาประสิทธิภาพการนำกระดาษที่มีซีโอไลต์ไปพัฒนาต่อเป็นบรรจุภัณฑ์

5.2.4 ศึกษาการใช้กระดาษที่มีซีโอไลต์กับภาวะการเก็บที่ต่างกัน เช่น ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

เพราะอาจส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับก๊าซเอทิลีน

เอกสารอ้างอิง

จอม. 2558. กล้วยหอม[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.thai-thaifood.com/th/กล้วยหอม/>
[28 มีนาคม 2562]

เบญจมาศ ศิลาอ้อย. 2548. กล้วย. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. 30.

ปาริชาติ รัตนภูมิ. 2556. การสังเคราะห์ซีโอไลต์จากตระกรันเหล็กจากโรงงานหล่อหลอมโลหะโดยการ
กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ใช้แล้ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ.
ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

พีชยา ตันติเตมิท. การผลิตกระดาษจากใบสับประรดที่มีถ่านกัมมันต์เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บแตงหอม Cucumis
melo L. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2549.

แพรวดาว โสภา และคณะ. 2560. ประสิทธิภาพของกระดาษเคลือบสารดูดซับเอทิลีนเพื่อยืดอายุการเก็บ
รักษาของมะม่วงน้ำดอกไม้. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 48(3): 339 - 342.

วรัญญา ไพจิตร. 2549. การสังเคราะห์ซีโอไลต์จากสารละลายอลูมิเนียมคีนกลับจากตะกอนโรงกรองน้ำ.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วาริช ศรีละออง, “ผลของการใช้กระดาษเคลือบสารดูดซับเอทิลีน และบรรจุภัณฑ์ปลดปล่อยเอทิลีนต่อ
คุณภาพกล้วยไข่ภายหลังการขนส่ง,” วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 45 (พฤษภาคม 2557): 733-736.

ศิริพร เต็งรัง และคณะ. วิจัยและพัฒนากระดาษดูดซับเอทิลีนจากเปลือกทุเรียน. ภาควิชาเกษตรศาสตร์และ
ชีววิทยา กรมวิชาการเกษตร. 2559.

สังคม เตชะวงศ์เสถียร. 2547. สรีรวิทยาของพืชสวน. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 173 หน้า.

สุพัฒน์สิน คู่อรุณ และคณะ. 2540. การวิจัยใช้แร่ในประเทศทดแทนแร่นำเข้าซีโอไลต์ (ZEOLITE).
กรมทรัพยากรธรณี. 106 หน้า.

ธเรศ ศรีสถิตย์. 2549. การสังเคราะห์ซีโอไลต์จากเถ้าลอยถ่านหินและจากเถ้าลอยขานอ้อยเพื่อการกำจัด
ตะกั่วในน้ำเสียอุตสาหกรรมจากโรงงานผลิตตะกั่วแท่ง. กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

Ivanov, K. 1997. Adsorption of Cation Polyelectrolites on Natural Zeolites Paper Fillers.
sofia 95. 121-126.

Thinkplus. 2551. ซีโอไลต์ แร่ธาตุสารพัดประโยชน์ในชีวิตประจำวัน[ออนไลน์]. แหล่งที่มา:
<http://oknation.nationtv.tv/blog/print.php?id=305253> [28 มีนาคม 2562]

Ozdemir, M., & Floros, J. D. 2004. Active food packaging technologies. Critical reviews in
food science and nutrition. 44(3): 185-193.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการดำเนินการวิจัย

1 การคำนวณหาปริมาณเยื่อแห้ง

ในการผลิตกระดาษต้องการเยื่อใยสั้นที่มีน้ำหนักเยื่อแห้ง 252 กรัม โดยเยื่อใยสั้นที่ใช้มีความชื้น 6.4% ดังนั้นหากต้องการเยื่อแห้ง 252 กรัม สามารถคำนวณได้ดังนี้

เยื่อแห้งน้ำหนัก 100 - 6.4 กรัม จากน้ำหนักทั้งหมด 100 กรัม

เยื่อแห้งน้ำหนัก 252 กรัม จากน้ำหนักทั้งหมด $100/(100 - 6.4) \times 252 = 269.2$ กรัม

2 การคำนวณความเข้มข้นน้ำเยื่อ

$$\begin{aligned} \text{Consistency (\%)} &= \frac{\text{น้ำหนักเยื่อแห้ง (g)} \times 100}{\text{น้ำหนักเยื่อรวม (g)}} \\ &= \frac{360 \times 100}{23,000} \\ &= 1.57 \quad \% \end{aligned}$$

3 การหาค่าสภาพระบายได้ (Freeness)

ปรับความเข้มข้นของเยื่อให้เท่ากับร้อยละ 0.3 โดยใช้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร เนื่องจากเยื่อที่บดมีความเข้มข้นร้อยละ 1.57 ซึ่งสามารถคำนวณปริมาณน้ำเยื่อที่ต้องใช้ได้ดังสูตรต่อไปนี้

$$\begin{aligned} C_1V_1 &= C_2V_2 \\ 1.57 \times V_1 &= 0.3 \times 1,000 \\ V_1 &= 191.08 \quad \text{มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

ดังนั้นจึงตวงน้ำเยื่อที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1.57 ปริมาตร 191.08 มิลลิลิตร แล้วจึงเติมน้ำจนมีปริมาตรรวม 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน

4 การคำนวณน้ำเยื่อสำหรับการขึ้นแผ่นกระดาษ

การคำนวณปริมาณเยื่อแห้ง

การขึ้นแผ่นกระดาษ 80 กรัมต่อตารางเมตร และกระดาษมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร หรือ 0.2 เมตร ดังนั้นจึงมีพื้นที่ $(3.14)(0.1)^2 = 0.0314$ ตารางเมตร

กระดาษพื้นที่ 1 ตารางเมตร ใช้เยื่อแห้ง 80 กรัม

กระดาษพื้นที่ 0.0314 ตารางเมตร ใช้เยื่อแห้ง $80 \times 0.0314 = 2.512$ กรัม

การคำนวณปริมาณน้ำเยื่อ

$$\begin{aligned} C_1V_1 &= C_2V_2 \\ 0.5 \times V_1 &= 0.3 \times 1,000 \\ V_1 &= 191.08 \quad \text{มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

ภาคผนวก ข
การวัดคุณสมบัติของกระดาษ

1 น้ำหนักมาตรฐาน (Basis Weight)

ตารางที่ ข.1 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อน้ำหนักมาตรฐาน

ปริมาณ CPAM (ร้อยละ)	น้ำหนักกระดาษ (g)					ค่าเฉลี่ย	±SD
	แผ่นที่ 1	แผ่นที่ 2	แผ่นที่ 3	แผ่นที่ 4	แผ่นที่ 5		
0	2.528	2.596	2.654	2.708	2.459	2.589	±0.099
0.3	2.395	2.630	2.474	2.505	2.523	2.505	±0.085
0.6	2.370	2.602	2.504	2.503	2.530	2.502	±0.084
0.9	2.534	2.644	2.618	2.705	2.651	2.630	±0.062
1.2	2.595	2.595	2.609	2.619	2.634	2.610	±0.017

การคำนวณหาน้ำหนักมาตรฐาน

เนื่องจากกระดาษมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร หรือ 0.2 เมตร ดังนั้นจึงมีพื้นที่ $(3.14)(0.1)^2 = 0.0314$ ตารางเมตร

พื้นที่	0.0314	ตารางเมตร	ชั่งน้ำหนักเยื่อแห้งได้	2.589	g
พื้นที่	1	ตารางเมตร	ชั่งน้ำหนักเยื่อแห้งได้	$(2.589 \times 1)/0.0314 = 82.452 \text{ g/m}^2$	

2 ความหนา (Thickness)

ตารางที่ ข.2 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อความหนาของกระดาษ

ปริมาณ CPAM (ร้อยละ)	แผ่น ที่	Thickness (nm)										ค่าเฉลี่ย	±SD
0	1	124	126	126	125	126	127	124	124	126	125	125	±1.059
	2	128	130	128	130	128	130	129	133	129	128	129	±1.567
	3	132	132	132	133	132	133	132	130	132	131	132	±0.876
	4	138	135	136	134	135	136	134	136	135	137	136	±1.265
	5	123	125	124	123	124	123	124	124	122	125	124	±0.949
0.3	1	125	124	125	121	123	121	122	123	121	126	123	±1.853
	2	132	136	136	135	134	135	134	139	133	134	135	±1.932
	3	128	128	125	128	128	128	126	130	127	125	127	±1.567
	4	130	130	130	131	131	129	130	130	132	128	130	±1.101
	5	131	131	128	128	131	131	128	130	130	127	130	±1.581
0.6	1	120	123	125	121	120	125	124	122	117	121	122	±2.530
	2	131	132	131	132	132	133	129	129	134	131	131	±1.578
	3	124	125	126	127	127	128	126	126	129	127	127	±1.434
	4	125	125	127	130	126	126	126	125	126	127	126	±1.494
	5	136	129	134	128	129	128	130	129	130	130	130	±2.627
0.9	1	132	125	125	129	130	131	128	126	129	130	129	±2.461
	2	134	137	137	133	135	136	137	135	134	136	135	±1.430
	3	133	133	133	134	131	134	133	134	134	133	133	±0.919
	4	138	138	139	142	141	145	140	137	137	139	140	±2.503
	5	137	133	139	138	131	133	135	134	137	138	136	±2.677
1.2	1	136	135	133	136	131	132	136	132	134	128	133	±2.627
	2	130	133	132	130	134	132	132	133	134	129	132	±1.729
	3	135	129	134	131	135	134	134	132	134	135	133	±2.003
	4	135	134	134	131	131	135	129	132	132	134	133	±2.003
	5	128	136	135	135	134	132	133	133	129	134	133	±2.601

3 ความขาว (Whiteness)

ตารางที่ ข.3 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อความขาวของกระดาษ

ปริมาณ CPAM (ร้อยละ)	แผ่นที่		Whiteness		ค่าเฉลี่ย	±SD
0	1	70.50	70.24	70.19	70.31	±0.166
	2	71.75	71.52	71.55	71.61	±0.125
	3	71.86	71.90	71.98	71.91	±0.061
	4	71.48	72.52	71.27	71.76	±0.669
	5	72.92	73.99	73.40	73.44	±0.536
0.3	1	75.81	75.54	74.88	75.41	±0.478
	2	74.68	74.45	74.26	74.46	±0.210
	3	75.58	74.99	76.33	75.63	±0.672
	4	76.04	75.68	75.90	75.87	±0.181
	5	74.74	74.01	74.03	74.26	±0.416
0.6	1	74.02	74.43	74.89	74.45	±0.435
	2	73.83	73.55	74.13	73.84	±0.290
	3	74.96	74.79	73.92	74.56	±0.558
	4	74.22	75.51	74.89	74.87	±0.645
	5	73.20	73.88	73.54	73.54	±0.340
0.9	1	74.12	73.87	74.58	74.19	±0.360
	2	73.57	74.41	73.70	73.89	±0.452
	3	73.11	73.96	73.57	73.55	±0.425
	4	74.06	73.26	73.16	73.49	±0.493
	5	73.25	73.37	73.91	73.51	±0.352
1.2	1	64.19	63.83	64.63	64.22	±0.401
	2	71.44	70.96	70.89	71.10	±0.299
	3	72.51	72.90	73.30	72.90	±0.395
	4	74.74	74.99	74.67	74.80	±0.168
	5	74.60	74.12	74.35	74.36	±0.240

4 ความเรียบ (Smoothness)

ตารางที่ ข.4 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อความเรียบของกระดาษ

ปริมาณ CPAM (ร้อยละ)	แผ่นที่	ด้าน	เวลาที่อากาศซึมผ่านกระดาษ (S)			ค่าเฉลี่ย	±SD
0	1	Wire	9.8	9.2	9.5	9.5	±0.300
		Felt	10.2	9.8	9.8	9.9	±0.231
	2	Wire	9.2	9.5	9.7	9.5	±0.252
		Felt	11.8	9.5	9.5	10.3	±1.328
	3	Wire	9.7	10.4	11.3	10.5	±0.802
		Felt	12.7	13.9	12.0	12.9	±0.961
	4	Wire	8.5	10.6	10.6	9.9	±1.212
		Felt	9.0	11.3	9.7	10.0	±1.179
	5	Wire	9.2	9.5	11.1	9.9	±1.021
		Felt	11.6	13.9	14.1	13.2	±1.389
0.3	1	Wire	11.3	12.7	11.8	11.9	±0.709
		Felt	12.7	12.3	15.0	13.3	±1.457
	2	Wire	10.9	9.5	9.7	10.0	±0.757
		Felt	10.6	12.0	8.5	10.4	±1.762
	3	Wire	10.4	11.3	11.3	11.0	±0.520
		Felt	13.2	12.3	15.5	13.7	±1.650
	4	Wire	9.9	11.6	10.6	10.7	±0.854
		Felt	12.5	11.8	10.6	11.6	±0.961
	5	Wire	9.0	13.2	9.7	10.6	±2.250
		Felt	14.9	13.0	12.7	13.5	±1.193

ปริมาณ CPAM	แผ่นที่	ด้าน	เวลาที่อากาศซึมผ่านกระดาษ (S)			ค่าเฉลี่ย	±SD
0.6	1	Wire	8.3	10.2	10.6	9.7	±1.229
		Felt	10.2	12.7	12.3	11.7	±1.343
	2	Wire	12.3	13.7	12.5	12.8	±0.757
		Felt	14.4	15.0	16.7	15.4	±1.193
	3	Wire	11.1	11.3	12.5	11.6	±0.757
		Felt	12.5	11.6	12.7	12.3	±0.586
	4	Wire	10.4	10.9	12.0	11.1	±0.819
		Felt	12.5	15.0	13.2	13.6	±1.290
	5	Wire	12.7	11.1	10.9	11.6	±0.987
		Felt	11.6	11.1	12.0	11.6	±0.451
0.9	1	Wire	11.6	13.4	11.1	12.0	±1.210
		Felt	13.2	14.1	14.8	14.0	±0.802
	2	Wire	13.0	10.2	12.7	12.0	±1.537
		Felt	12.3	12.3	12.0	12.2	±0.173
	3	Wire	10.6	13.4	12.3	12.1	±1.411
		Felt	12.7	11.8	11.8	12.1	±0.520
	4	Wire	11.2	9.9	10.6	10.6	±0.651
		Felt	14.8	15.3	12.5	14.2	±1.493
	5	Wire	10.2	13.7	12.0	12.0	±1.750
		Felt	14.9	14.6	13.7	14.4	±0.624
1.2	1	Wire	10.6	12.0	11.3	11.3	±0.700
		Felt	13.2	13.2	13.2	13.2	±0.000
	2	Wire	14.9	13.9	12.5	13.8	±1.206
		Felt	13.4	11.6	14.1	13.0	±1.290
	3	Wire	11.8	9.5	12.7	11.3	±1.650
		Felt	9.0	9.9	9.0	9.3	±0.520
	4	Wire	12.7	11.3	10.2	11.4	±1.253
		Felt	13.7	12.3	11.8	12.6	±0.985
	5	Wire	12.0	11.8	11.1	11.6	±0.473
		Felt	16.0	12.7	13.7	14.1	±1.692

5 ความต้านทานการไหลของอากาศ (Air resistance)

ตารางที่ ข.5 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อความต้านทานการไหลของอากาศของกระดาษ

ปริมาณ CPAM (ร้อยละ)	แผ่นที่	เวลาที่อากาศซึมผ่านกระดาษ (S)		ค่าเฉลี่ย	±SD
		Wire Side	Felt Side		
0	1	13.58	13.50	13.54	±0.057
	2	13.25	13.01	13.13	±0.170
	3	13.16	14.00	13.58	±0.594
	4	13.30	13.50	13.40	±0.141
	5	12.85	12.68	12.77	±0.120
0.3	1	9.25	9.57	9.41	±0.226
	2	10.55	10.55	10.55	±0.000
	3	9.97	10.10	10.04	±0.092
	4	9.94	9.81	9.88	±0.092
	5	9.98	10.30	10.14	±0.226
0.6	1	10.57	10.42	10.50	±0.106
	2	12.33	12.28	12.31	±0.035
	3	11.39	11.79	11.59	±0.283
	4	11.95	11.53	11.74	±0.297
	5	12.00	12.01	12.01	±0.007
0.9	1	11.76	12.00	11.88	±0.170
	2	12.36	12.77	12.57	±0.290
	3	12.63	12.59	12.61	±0.028
	4	12.80	12.85	12.83	±0.035
	5	12.34	13.07	12.71	±0.516
1.2	1	13.30	13.85	13.58	±0.389
	2	13.60	13.90	13.75	±0.212
	3	13.39	13.40	13.40	±0.007
	4	13.96	14.30	14.13	±0.240
	5	14.34	14.10	14.22	±0.170

6 ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength)

ตารางที่ ข.6 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อ Tensile Index

แผ่นที่	แรง (N)	Tensile Strength (kN/m)	Tensile Index (Nm/g)
1	37.2	2.5	31.3
2	38.6	2.6	32.5
3	36.8	2.5	31.3
4	39.0	2.6	32.5
5	36.6	2.4	30.0
1	32.6	2.2	27.5
2	36.0	2.4	30.0
3	33.8	2.3	28.8
4	33.6	2.2	27.5
5	35.6	2.4	30.0
1	38.2	2.5	31.3
2	41.2	2.7	33.8
3	39.2	2.6	32.5
4	39.6	2.6	32.5
5	38.2	2.5	31.3
1	44.2	2.9	36.3
2	43.2	2.9	36.3
3	40.4	2.7	33.8
4	42.2	2.8	35.0
5	46.4	3.1	38.8
1	47.2	3.1	38.8
2	49.2	3.3	41.3
3	48.4	3.2	40.0
4	42.6	2.8	35.0
5	48.0	3.2	40.0

การคำนวณหา Tensile Strength

$$\begin{aligned}\text{Tensile Strength} &= \frac{\text{Force (kN)}}{\text{Width (m)}} \\ &= \frac{37.2 \times 10^{-3}}{1.5 \times 10^{-2}} \\ &= 2.5 \quad \text{kN/m}\end{aligned}$$

การคำนวณหา Tensile Index

$$\begin{aligned}\text{Tensile Index} &= \frac{\text{Tensile Strength}}{\text{Basic Weight}} \\ &= \frac{2.5 \times 10^3}{80} \\ &= 31.3 \quad \text{Nm/g}\end{aligned}$$

7 ความต้านทานต่อแรงฉีก (Tear Resistance)

ตารางที่ ข.7 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อ Tear Index ของกระดาษ

ปริมาณ CPAM (ร้อยละ)	แผ่นที่	Tear Resistance (mN)	Tear Index (mN m ² /g)
0	1	1542.20	19.28
	2	1659.81	20.75
	3	1732.35	21.65
	4	1835.80	22.95
	5	1757.35	21.97
0.3	1	1482.77	18.54
	2	1757.35	21.97
	3	1569.06	19.61
	4	1686.74	21.08
	5	1741.66	21.77
0.6	1	1647.52	20.59
	2	1820.11	22.75
	3	1765.20	22.07
	4	1804.42	22.56
	5	1765.20	22.07
0.9	1	1812.27	22.65
	2	1890.72	23.63
	3	1984.87	24.81
	4	1992.71	24.91
	5	1969.18	24.62
1.2	1	1804.42	22.56
	2	2031.94	25.40
	3	1859.34	23.24
	4	2094.70	26.18
	5	1929.95	24.12

การคำนวณหา Tear Index

$$\begin{aligned} \text{Tear Index} &= \frac{\text{Tear Resistance}}{\text{Basic Weight}} \\ &= \frac{1542.20}{80} \\ &= 19.28 \quad \text{mN m}^2/\text{g} \end{aligned}$$

8 การหาปริมาณเถ้า (Ash content)

ตารางที่ ข.8 ผลของปริมาณ Cationic Polyacrylamide (CPAM) ต่อ Ash (%)

ปริมาณ CPAM (ร้อยละ)	แผ่นที่	Weight of specimen (g)	Weight of Ash and specimen (g)	Weight of ash (g)	Weight of test specimen (g)	Ash (ร้อยละ)
0	1	35.693	35.761	0.068	1.000	6.800
	2	38.210	38.279	0.069	1.000	6.900
0.3	1	37.097	37.234	0.137	1.000	13.700
	2	36.933	37.078	0.145	1.000	14.500
0.6	1	40.044	40.138	0.094	1.000	9.400
	2	38.862	38.961	0.099	1.000	9.900
0.9	1	37.558	37.651	0.093	1.000	9.300
	2	37.425	37.520	0.095	1.000	9.500
1.2	1	37.563	37.652	0.089	1.000	8.900
	2	35.829	35.912	0.083	1.000	8.300

การทดสอบการเผากระดาษ เพื่อหาปริมาณซีไอโกลด์เหลืออยู่ในกระดาษ สามารถทดสอบกระดาษ น้ำหนักอย่างน้อย 1 g ที่ไม่มีความชื้น เนื่องจากกระดาษมีความชื้น 8.4% จึงมีน้ำหนักเยื่อแห้งเท่ากับ $100 - 8.4 = 91.6$ g

ต้องการน้ำหนักเยื่อแห้ง	91.6 g	กระดาษน้ำหนักรวม	100 g
ต้องการน้ำหนักเยื่อแห้ง	1 g	กระดาษน้ำหนักรวม	$100/91.6 = 1.092$ g

การคำนวณหา Weight of ash

$$\begin{aligned}\text{Weight of ash} &= \text{Weight of Ash and specimen} - \text{Weight of specimen} \\ &= 35.761 - 35.693 \\ &= 0.068 \quad \text{g}\end{aligned}$$

การคำนวณหา %Ash

$$\begin{aligned}\text{Ash} &= \frac{\text{Weight of ash} \times 100}{\text{Weight of test specimen}} \\ &= \frac{0.068 \times 100}{1.000} \\ &= 6.800 \quad \%\end{aligned}$$