ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
249705

การพัฒนาประสิทธิภาพการตูดกับก๊าซเฮทีนของกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่มีการดัดแปรด้วยอินเทนีลวนโนและมีรูพรุน

ณัชพงษ์ ศิโพธ

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพอลิเมอร์และวัสดุ
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2554

b00254211

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
249705

การพัฒนาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทิลีนของกระดาษคราฟท์ที่มีการดัดแปรด้วยดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุน

นายพบสันต์ ติไชย ทล.บ. (เทคโนโลยีการพิมพ์)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

โครงงานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการพิมพ์
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2554

คณะกรรมการสอบโครงงานวิจัย

อนวัช สุวรรณกุล ..... ประธานกรรมการสอบโครงงานวิจัย
(ดร.อนวัช สุวรรณกุล)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานวิจัย
(ดร.นุชจรินทร์ เหลืองสะอาด)

หทัยกานต์ มนัสปิยะ ..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานวิจัย(ร่วม)
(ผศ.ดร.หทัยกานต์ มนัสปิยะ)

..... กรรมการ
(ผศ.ดร.จันทิรา โกมาสถิตย์)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อโครงงานวิจัย	การพัฒนาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทิลีนของกระดาษคราฟท์ที่มีการดัดแปรด้วยดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุน
หน่วยกิต	6
ผู้เขียน	นายพบสันต์ ติไชย
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.นุชจรินทร์ เหลืองสะอาด
	ผศ.ดร.หทัยกานต์ มนัสปิยะ
หลักสูตร	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการพิมพ์
ภาควิชา	เทคโนโลยีการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์
คณะ	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
พ.ศ.	2554

บทคัดย่อ

249705

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนที่ใส่ในการผลิตกระดาษคราฟท์เพื่อดูดซับก๊าซเอทิลีน โดยศึกษาความสามารถในการดูดซับก๊าซเอทิลีนของกระดาษที่มีส่วนผสมของดินเหนียวนาโนแบบรูพรุน 2 ชนิด คือ กระดาษที่มีการใส่ดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนในขั้นตอนการขึ้นแผ่นกับกระดาษที่เคลือบผิวหน้าด้วยดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุน แล้วเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับก๊าซเอทิลีนของกระดาษทั้งสองชนิด ซึ่งการทดลองจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ ศึกษาคุณสมบัติทางกล ทางทัศนศาสตร์ วัดประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทิลีนของกระดาษที่ใส่ดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนทั้งสองชนิดในปริมาณต่างๆ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทิลีนระหว่างกระดาษทั้งสองชนิดที่มีร้อยละของการใช้ดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนเดียวกันในระดับร้อยละต่างๆ ผลการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนเพิ่มมากขึ้น กระดาษคราฟท์ทั้งสองชนิดจะมี ค่าน้ำหนักมาตรฐาน ความหนา และค่าความทึบแสงเพิ่มมากขึ้น แต่ดัชนีต้านทานแรงดึงขาดและดัชนีต้านทานแรงฉีกขาดมีค่าลดลง ในการทดสอบการดูดซับก๊าซเอทิลีน พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณดินเหนียวนาโนและระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับมากขึ้นส่งผลให้กระดาษคราฟท์ทั้งสองชนิดสามารถดูดซับก๊าซเอทิลีนได้มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) และกระดาษคราฟท์ทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซเอทิลีนได้ที่แตกต่างกัน โดยที่ร้อยละของการใช้ดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนเดียวกัน กระดาษคราฟท์ที่มีการเคลือบผิวหน้าด้วยดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซเอทิลีนที่มากกว่าซึ่งกระดาษคราฟท์ที่มีการเคลือบผิวหน้า

249705

ด้วยดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนในปริมาณร้อยละ 60 ของน้ำหนักเยื่อแห้งสามารถดูดซับก๊าซเอทิลีนได้มากที่สุด

คำสำคัญ : กระดาษคราฟท์ / ดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุน / การดูดซับก๊าซเอทิลีน

Project Title	Improvement of Ethylene Absorbability of Kraft Paper Modified by Porous Clay Heterostructure (PCH)
Credits	6
Candidate	Mr. Phobson Tichai
Project Advisors	Dr. Nucharin Luangsa-Ard
	Asst. Prof. Dr. Hathaikarn Manuspiya
Program	Master of Science
Field of Study	Printing Technology
Department	Printing and Packaging Technology
Faculty	Industrial Educational and Technology
B.E.	2554

Abstract

249705

The aim of this research was to study the optimum amount of Porous Clay Heterostructure (PCH) that was added into kraft paper in order to absorb ethylene gas effectively. In this experiment, two types of kraft paper were studied with respect to their ethylene absorbability : kraft paper with PCH added during paper forming process and the one coated with PCH. The experiment was divided into 3 parts : to examine mechanical and optical properties of both types of kraft paper, to measure ethylene absorbability , and lastly to compare ethylene absorbability between both types of kraft paper at different percentages of PCH usage. The results revealed that when the amount of added PCH increased, basis weight, thickness, and opacity of both types of kraft paper also increased but tensile index and tear resistance index of both types of kraft paper decreased. It was also found that when the amount of added PCH and the period of ethylene gas absorption increased, the ethylene absorbability of both types of kraft paper increased significantly ($P>0.05$). In addition, both types of kraft paper retained different levels of ethylene absorbability. At the same percentage of PCH usage, coated kraft paper had better ethylene absorbability. Furthermore, the PCH coated kraft paper at 60% of PCH usage (on OD. weight) yielded the highest ethylene absorbability.

Keywords: Kraft Paper/ Porous Clay Heterostructure / Ethylene Absorption

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือของดร.นุชจรินทร์ เหลืองสะอาด อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้แนวความคิดและชี้แนวทางแก้ปัญหา อีกทั้งยังตรวจแก้ไขโครงงานวิจัยฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.อนวัช สุวรรณกุล ฝ่ายเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) กรุณาเป็นประธานสอบวิทยานิพนธ์และให้คำปรึกษาแนวทางการดำเนินงานวิจัยรวมถึงให้ความอนุเคราะห์สำหรับสถานที่ในการทดลองอีกด้วย ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.หทัยกานต์ มนัสปิยะ วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุณาเป็นที่ปรึกษาร่วมงานวิจัยนี้และให้ความอนุเคราะห์ดินเหนียวนาโนสำหรับงานวิจัยอีกทั้งให้คำแนะนำปรึกษา ขอขอบพระคุณผศ.ดร.จันทิรา โกมาสถิตย์ ภาควิชาเทคโนโลยีการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรรมการสอบโครงงานวิจัย ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์สำหรับการใช้เครื่องมือและสถานที่ในการทดสอบอีกทั้งยังให้คำปรึกษา แนะแนวทางในการดำเนินงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วย ขอขอบพระคุณคุณสุชาติ จันทร์เที่ยง จากสถาบันเอไอทีที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัยรวมถึงให้คำแนะนำและดูแลเป็นอย่างดีมาโดยตลอด ขอบคุณเพื่อนๆ ระดับปริญญาโททุกคนที่น้ำใจดีช่วยเหลือและคอยให้คำปรึกษาหรือแนะนำ ตลอดจนความเป็นห่วงเป็นใย สุดท้ายนี้กราบขอบพระคุณบิดามารดาที่คอยให้กำลังแรงกายและกำลังแรงใจ สนับสนุนช่วยเหลือจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
รายการตาราง	ฌ
รายการรูปประกอบ	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 สมมุติฐานของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.6 ข้อตกลงเบื้องต้น	3
1.7 นิยามศัพท์	3
2. ทฤษฎีสัมพันธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 องค์ประกอบของเส้นใย	5
2.2 กระบวนการผลิตกระดาษในอุตสาหกรรม	8
2.3 องค์ประกอบของกระดาษ	17
2.4 ลักษณะโครงสร้างและสมบัติของกระดาษคราฟท์	21
2.5 ก๊าซเอทิลีน	33
2.6 ดินเหนียวนาโน	35
2.7 คุณสมบัติกล่องกระดาษลูกฟูก	39
2.8 สารยึดติด	40
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	49

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3. การดำเนินงานวิจัย 53

3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย 53

3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย 54

4. ผลการทดลอง 60

4.1 กราฟแสดงคุณสมบัติกระดาษที่มีการผสมในขั้นตอนการขึ้นแผ่นและกระดาษคราฟท์ที่มีการเคลือบผิวหน้าด้วยดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุน 60

4.2 ทดสอบความทนทานต่อการขัดถู 65

4.3 ผลการศึกษากระดาษคราฟท์ที่มีส่วนผสมของดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนในขั้นตอนการขึ้นแผ่น 66

4.4 ผลการศึกษากระดาษคราฟท์ที่มีการเคลือบผิวหน้าด้วยดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุน 67

4.5 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทิลีนของกระดาษคราฟท์ที่มีการผสมดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนในขั้นตอนการขึ้นแผ่น 68

4.6 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทิลีนของกระดาษคราฟท์ที่มีการเคลือบผิวหน้าด้วยดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุน 75

4.7 การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างของดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนและกระดาษคราฟท์ที่มีการผสมในขั้นตอนการขึ้นแผ่นและกระดาษคราฟท์ที่มีการเคลือบผิวหน้าด้วยดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน 83

5. สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ 87

5.1 ผลการศึกษาสมบัติกระดาษคราฟท์ที่มีการผสมดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนในขั้นตอนการขึ้นแผ่น 87

5.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติกระดาษคราฟท์ที่มีการเคลือบผิวหน้าด้วยดินเหนียวนาโนแบบแบบมีรูพรุน 88

5.3 ผลการศึกษากระดาษคราฟท์ที่มีส่วนผสมของดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนในขั้นตอนการขึ้นแผ่น 88

5.4 ผลการศึกษากระดาษคราฟท์ที่มีการเคลือบผิวหน้าด้วยดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุน 89

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.5 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทิลีนของกระดาษคราฟท์ที่มีการผสมดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนในขั้นตอนการขึ้นแผ่น 89

5.6 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทิลีนของกระดาษคราฟท์ที่มีการเคลือบผิวหน้าด้วยดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุน 90

5.7 ข้อเสนอแนะ 91

เอกสารอ้างอิง 92

ภาคผนวก 97

ก. ตารางบันทึกผลการทดลอง 97

ข. สูตรที่ใช้ในการคำนวณ 112

ค. วิธีการดำเนินงาน 114

ง. ลักษณะโครงสร้างของดินเหนียวนาโนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน(SEM) 121

จ. ตัวอย่างกระดาษ 124

ประวัติผู้วิจัย 128

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	องค์ประกอบทางเคมีของไม้ใบแคบและไม้ใบกว้างคิดเป็นร้อยละต่อน้ำหนัก	6
2.2	การฟอกสีซึ่งมีชื่อเรียกตามสารเคมีที่ใช้ฟองโดยเรียงตามลำดับตัวอักษร	13
2.3	เปรียบเทียบสมบัติของกระดาษที่ได้	32
2.4	อัตราการสังเคราะห์เอทีลีนในผักและผลไม้	35
2.5	ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนของพืชที่พบขนาดเม็ดแป้งและปริมาณร้อยละของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินของแป้งข้าวโพดและมันสำปะหลัง	41
2.6	ตัวทำละลายประเภทที่เข้ากับน้ำและไม่เข้ากับน้ำ	46
4.1	ร้อยละการดูดซับก๊าซเอทิลีนของกระดาษคราฟท์ที่มีการผสมดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนในขั้นตอนการขึ้นแผ่นปริมาณร้อยละ 20, 40 และ 60 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง	68
4.2	ตาราง ANOVA ของตัวแปรตอบสนองต่ออัตราการดูดซับก๊าซเอทิลีนของกระดาษคราฟท์	70
4.3	ความแตกต่างของร้อยละดินเหนียวนาโนที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทิลีนของกระดาษคราฟท์ที่มีการผสมดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนในขั้นตอนการขึ้นแผ่น	71
4.4	สรุปผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของร้อยละดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนที่ระดับต่างๆต่อประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทิลีนกระดาษคราฟท์ที่มีการผสมดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนในขั้นตอนการขึ้นแผ่น	72
4.5	ความแตกต่างของระยะเวลาที่ใช้การดูดซับที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทิลีนของกระดาษคราฟท์ที่มีการผสมดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนในขั้นตอนการขึ้นแผ่น	73
4.6	สรุปผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของระยะเวลาที่ระดับต่างๆต่อประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทิลีนกระดาษคราฟท์ที่มีการผสมดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนในขั้นตอนการขึ้นแผ่น	74
4.7	ร้อยละการดูดซับก๊าซเอทิลีนของกระดาษคราฟท์ที่มีการเคลือบผิวหน้าด้วยดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนปริมาณร้อยละ 20, 40 และ 60 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง	75
4.8	ตาราง ANOVA ของตัวแปรตอบสนองต่ออัตราการดูดซับก๊าซเอทิลีนของกระดาษคราฟท์	78
4.9	ความแตกต่างของร้อยละดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทิลีนของกระดาษคราฟท์ที่มีการเคลือบผิวหน้าด้วยดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุน	79
4.10	สรุปผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของร้อยละดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนที่ระดับต่างๆต่อประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทิลีนกระดาษคราฟท์ที่มีการเคลือบผิวหน้าด้วยดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุน	79

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง **หน้า**

4.11 ความแตกต่างของระยะเวลาที่ใช้การดูดซับที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทิลีนของกระดาษคราฟท์ที่มีการเคลือบผิวหน้าด้วยดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุน 81

4.12 สรุปผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของระยะเวลาที่ระดับต่างๆต่อประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทิลีนกระดาษคราฟท์ที่มีการเคลือบผิวหน้าด้วยดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุน 82

ก.1 แสดงค่าน้ำหนักมาตรฐาน(Grammage) ของกระดาษคราฟท์ที่มีดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนส่วนประกอบชนิดต่างๆ 96

ก.2 แสดงค่าความหนา (Thickness) ของกระดาษคราฟท์ที่มีดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนส่วนประกอบชนิดต่างๆ 97

ก.3 แสดงค่าความทึบแสง(Opacity) ของกระดาษคราฟท์ที่มีดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนส่วนประกอบชนิดต่างๆ 98

ก.4 แสดงค่าดัชนีต้านทานแรงดึงขาด(Tensile Index) ของกระดาษคราฟท์ที่มีดินเหนียวนาโนแบบรูพรุนส่วนประกอบชนิดต่างๆ 99

ก.5 แสดงค่าดัชนีต้านทานแรงดึงขาด(Tear Index) ของกระดาษคราฟท์ที่มีดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนส่วนประกอบชนิดต่างๆ 100

ก.6 แสดงค่าความพรุน(Air Permeability) ของกระดาษคราฟท์ที่มีดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนส่วนประกอบชนิดต่างๆ 101

ก.7 แสดงร้อยละการดูดซับก๊าซเอทิลีนของกระดาษคราฟท์ที่มีส่วนผสมของดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนขั้นตอนการขึ้นแผ่น 102

ก.8 แสดงร้อยละการดูดซับก๊าซเอทิลีนของกระดาษคราฟท์ที่มีการเคลือบผิวหน้าด้วยดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุน 103

ก.9 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระดาษคราฟท์ที่มีส่วนผสมของดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนในขั้นตอนการขึ้นแผ่น 104

ก.10 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระดาษคราฟท์ที่มีการเคลือบผิวหน้าด้วยดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุน 108

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส	6
2.2	โครงสร้างโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลส	7
2.3	โครงสร้างโมเลกุลของลิกนิน	7
2.4	กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมกระดาษ	8
2.5	การผลิตเยื่อเชิงกล	9
2.6	ส่วนละเอียดของเยื่อไม้บดหรือเส้นใยฝอย	10
2.7	เส้นใยของเยื่อไม้บด	10
2.8	หม้อต้มเยื่อแบบเดี่ยว	11
2.9	หม้อต้มเยื่อแบบต่อเนื่อง	11
2.10	เส้นใยของเยื่อเคมี	12
2.11	ส่วนของเส้นใยของเยื่อหมุนเวียนทำใหม่	12
2.12	ตัวอย่างการฟอกแบบ ceded	13
2.13	ขั้นตอนการเตรียมน้ำเยื่อ	14
2.14	เครื่องไฮดราพัลเลอร์	15
2.15	การคัดขนาดโดยตะแกรงราบ	15
2.16	การคัดขนาดโดยการใช้ระบบปั่นแยก	16
2.17	การแปรรูปกระดาษเป็นแผ่น	17
2.18	รูปร่างของเซลล์ชนิดต่างๆในไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง	18
2.19	เครื่องมือที่ใช้น้ำหนักพื้นฐานของกระดาษ	21
2.20	ความหนาของกระดาษหนึ่งแผ่น	22
2.21	เครื่องวัดความหนาของกระดาษ	22
2.22	วิธีการตรวจสอบความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ	23
2.23	แนวการเรียงตัวของเส้นใยในม้วนกระดาษบนเครื่องจักรผลิตกระดาษ	23
2.24	การตรวจสอบแนวการเรียงตัวของเส้นใยโดยการโก่งงอ	24
2.25	การตรวจสอบแนวการเรียงตัวของเส้นใยโดยการฉีกกระดาษ	24
2.26	การตรวจสอบแนวการเรียงตัวของเส้นใยโดยการพับกระดาษ	24

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป		หน้า
2.27	การตรวจสอบแนวการเรียงตัวของเส้นใยโดยการดูความทรงรูป	25
2.28	ความแตกต่างของผิวกระดาษสองด้าน	26
2.29	รอยตะแกรงของผิวกระดาษด้านตะแกรง	26
2.30	ผลการตรวจสอบความต่างของผิวกระดาษโดยการฉีกลอกเส้นใย	26
2.31	วิธีการสังเคราะห์ก๊าซเอทิลีน	34
2.32	โครงสร้างผลึกของแร่ดินเหนียว	36
2.33	แร่ดินเหนียวที่มีชั้นซิลิเกตและประจุบวก	37
2.34	ลักษณะโครงสร้างอะไมเลสและอะไมโลแพคติน	42
3.1	ขั้นตอนการทำกระดาษคราฟท์ที่มีส่วนผสมดินเหนียวนาโนในขั้นตอนการขึ้นแผ่น	56
3.2	ขั้นตอนการทำกระดาษคราฟท์ที่มีการเคลือบบริเวณผิวหน้าด้วยดินเหนียวนาโน	58
4.1	น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษคราฟท์	60
4.2	ความหนาของกระดาษคราฟท์	61
4.3	ความทึบแสงของกระดาษคราฟท์	62
4.4	ดัชนีต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษคราฟท์	63
4.5	ดัชนีต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษคราฟท์	64
4.6	ความพรุนของกระดาษคราฟท์	65
4.7	กระดาษคราฟท์ 80 แกรมที่มีส่วนผสมของดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนอัตราส่วนร้อยละ 20, 40 และ 60 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง	66
4.8	กระดาษคราฟท์ 80 แกรมที่มีการเคลือบผิวหน้าด้วยดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุน อัตราส่วนร้อย 20, 40 และ 60 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง	67
4.9	กราฟแสดงร้อยละการดูดซับก๊าซเอทิลีนของกระดาษคราฟท์ที่มีการผสมดินเหนียวนาโน แบบมีรูพรุนปริมาณร้อยละ 20, 40 และ 60 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง	68
4.10	แสดงการทดสอบการแจกแจงปกติของร้อยละการดูดซับก๊าซ	69

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป		หน้า
4.11	กราฟแสดงความแตกต่างของร้อยละดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทิลีนกระดาษคราฟท์ที่มีการผสมดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนในขั้นตอนการขึ้นแผ่น	72
4.12	กราฟแสดงความแตกต่างของร้อยละดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทิลีนกระดาษคราฟท์ที่มีการผสมดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนในขั้นตอนการขึ้นแผ่น	74
4.13	กราฟแสดงร้อยละการดูดซับเอทิลีนของกระดาษคราฟท์ที่มีการเคลือบผิวหน้าด้วยดินเหนียวผิวหน้าด้วยดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนปริมาณร้อยละ20, 40 และ 60 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง	75
4.14	แสดงการทดสอบการแจกแจงปกติของร้อยละการดูดซับก๊าซ	77
4.15	กราฟแสดงความแตกต่างของร้อยละดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทิลีนกระดาษคราฟท์ที่มีการผสมดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนในขั้นตอนการขึ้นแผ่น	80
4.16	กราฟแสดงความแตกต่างของร้อยละดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทิลีนกระดาษคราฟท์ที่มีการเคลือบผิวหน้าด้วยดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุน	82
4.17	ภาพถ่ายโครงสร้างจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 100 เท่า	83
4.18	ภาพถ่ายโครงสร้างจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 100 เท่า	85
ก.1	แสดงกราฟการดูดซับก๊าซเอทิลีนของร้อยละดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนในกระดาษคราฟท์ที่มีส่วนผสมของดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนในขั้นตอนการขึ้นแผ่น	105
ก.2	แสดงกราฟการดูดซับก๊าซเอทิลีนของระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับในกระดาษคราฟท์ที่มีส่วนผสมของดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนในขั้นตอนการขึ้นแผ่น	106
ก.3	แสดงกราฟปัจจัยร้อยละดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนและระยะเวลาที่มีผลต่อการดูดซับก๊าซเอทิลีนของกระดาษคราฟท์ที่มีส่วนผสมของดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนในขั้นตอนการขึ้นแผ่น	107
ก.4	แสดงกราฟการดูดซับก๊าซเอทิลีนของร้อยละดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนในกระดาษคราฟท์ที่มีการเคลือบผิวหน้าด้วยดินเหนียวนาดนแบบมีรูพรุน	109

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป		หน้า
ก.5	แสดงกราฟการดูดซับก๊าซเอทิลีนของระยะเวลที่ใช้การดูดซับของกระดาษคราฟท์ที่มีการเคลือบผิวหน้าด้วยดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุน	110
ก.6	แสดงปัจจัยร้อยละดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนและระยะเวลาที่มีผลต่อการดูดซับก๊าซเอทิลีนของกระดาษคราฟท์ที่มีการเคลือบผิวหน้าด้วยดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุน	111
ค.1	เตรียมดินเหนียวชนิดเบนโทไนต์ 600 กรัม, สาร hexadecyltrimethylammonium bromide, CTAB 99+%) 1000 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 5000 มิลลิลิตร	115
ค.2	นำไปผสมในเครื่องตีกวนด้วยอุณหภูมิ 65-70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง	115
ค.3	หลังจากนั้นจะได้ดินเหนียวในสถานะเป็นของเหลวที่ส่วนผสมของ Surfactant (CTAB)	116
ค.4	นำดินเหนียวที่ได้นั้นไปทำการ suction เพื่อให้สาร Surfactant ที่อยู่ภายในชั้นดินเหนียวให้ได้มากที่สุด	116
ค.5	ใช้ METHANOL ในการล้างดินเหนียวและดูดจนกว่าฟองจะหายหมด	116
ค.6	นำดินเหนียวที่ได้ไปทำการอบให้แห้งเป็นเวลา 48 ชั่วโมงด้วยอุณหภูมิ 70 องศา	117
ค.7	นำดินเหนียวที่ได้ไปทำการบดละเอียดด้วยเครื่อง Ball mill เป็นเวลา 20 นาที	117
ค.8	เยื่อคราฟท์	118
ค.9	เยื่อคราฟท์ที่ได้จากการปั่นกระจายเยื่อ	118
ค.10	ดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุน	118
ค.11	เครื่องปั่นกระจายเยื่อ (disintegrator)	118
ค.12	เครื่องทำแผ่นกระดาษ (Form sheet)	118
ค.13	สารยึดติดพอลิไวนิลอะซิเตต	118
ค.14	เคลือบสารยึดติดด้วยเครื่องอัตโนมัติ	119
ค.15	เคลือบสารยึดติดบนกระดาษคราฟท์	119
ค.16	ภาชนะปิดขนาด 1 ลิตรที่ใช้ทดสอบ	119
ค.17	เครื่อง Gas Chromatography	119
ค.18	ใช้เข็มฉีดยาดูดก๊าซเอทิลีนความเข้มข้น 1% ปริมาตร 0.5 มิลลิตร	119
ค.19	ฉีดก๊าซเอทิลีนเข้าภายในขวด	120
ค.20	เขย่าขวดเพื่อให้ก๊าซกระจายตัว	120
ค.21	วัดปริมาณเอทิลีนที่เหลืออยู่ภายในขวดที่เวลา 5. 20, 30 นาที 1, 24 ชั่วโมง	120

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป		หน้า
ง.1	ภาพถ่ายโครงสร้างจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 2,500	122
ง.2	ภาพถ่ายโครงสร้างจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 2,500	122
จ.1	กระดาษคราฟท์ที่มีการผสมดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนในขั้นตอนการขึ้นแผ่นร้อยละ 20 กรัมต่อน้ำหนักเยื่อแห้ง	125
จ.2	กระดาษคราฟท์ที่มีการผสมดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนในขั้นตอนการขึ้นแผ่นร้อยละ 40 กรัมต่อน้ำหนักเยื่อแห้ง	125
จ.3	กระดาษคราฟท์ที่มีการผสมดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนในขั้นตอนการขึ้นแผ่นร้อยละ 60 กรัมต่อน้ำหนักเยื่อแห้ง	126
จ.4	กระดาษคราฟท์ที่มีการเคลือบผิวหน้าด้วยดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนร้อยละ 20 กรัมต่อน้ำหนักเยื่อแห้ง	126
จ.5	กระดาษคราฟท์ที่มีการเคลือบผิวหน้าด้วยดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนร้อยละ 40 กรัมต่อน้ำหนักเยื่อแห้ง	127
จ.6	กระดาษคราฟท์ที่มีการเคลือบผิวหน้าด้วยดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนร้อยละ 60 กรัมต่อน้ำหนักเยื่อแห้ง	127