สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

วิจัยและพัฒนาดินวิทยาศาสตร์เพื่องานหัตถกรรม

นาย กิตติพงศ์ วงศ์วารี
นายโฆษิต สิมมา
นายชูพงศ์ เลิศสกุลบรรลือ

ปพ.
ก6730
2548

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 107728
วัน,เดือน,ปี 10 พ.ค. 2553

b 12210869
i.....

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา พ.ศ.2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF CLAY FOR HANDMADE PRODUCT

KITTIPONG WONGWAREE
KHOSIT SIMMA
CHOOPONG LERTSKULBANLUE

A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE
OF BACHELOR OF SCIENCE
DEPARTMENT OF CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง	วิจัยและพัฒนาดินวิทยาศาสตร์เพื่องานหัตถกรรม	
นักศึกษา	นาย กิตติพงศ์	วงศ์วารี
	นาย โฆษิต	สิมมา
	นาย ชูพงศ์	เลิศสกุลบรรลือ
ภาควิชา	เคมี	
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2548	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์	

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ	
กรรมการ	อ.สุจินต์ ตันติพิสิฐกุล	
กรรมการ	รศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์	

.....

(ผศ.ดร. ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาพิเศษเรื่อง	วิจัยและพัฒนาดินวิทยาศาสตร์เพื่องานหัตถกรรม			
นักศึกษา	นาย กิตติพงศ์	วงศ์วารี	**รหัส**	45050075
	นาย โฆษิต	สิมมา	**รหัส**	45050080
	นาย ชูพงศ์	เลิศสกุลบรรลือ	**รหัส**	45050091
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต			
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม			
ภาควิชา	เคมี			
พ.ศ.	2548			
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์			

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อวิจัยและพัฒนาดินวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในงานหัตถกรรม ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในกลุ่มอาชีพหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ และ กลุ่มผู้ที่สนใจ เพื่อที่จะทดแทนและลดการนำเข้าดินวิทยาศาสตร์จากต่างประเทศ รวมไปถึงการใช้วัสดุที่มีอยู่ในประเทศไทยเป็นองค์ประกอบเพิ่มเติม

ในการทดลองจะนำดินวิทยาศาสตร์ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดมาทำการตรวจวิเคราะห์ย้อนหลัง เพื่อตรวจสอบหาองค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของดินวิทยาศาสตร์ ได้แก่ ดินญี่ปุ่น และ ดินไทย โดยใช้เทคนิค การทดสอบการละลาย การหาปริมาณน้ำในดินวิทยาศาสตร์ การตรวจวิเคราะห์ทางความร้อน การตรวจวิเคราะห์ทางอินฟาเรดสเปกโตรสโคปี สมบัติเชิงกล และเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน จากผลการทดลองการตรวจวิเคราะห์ย้อนหลังพบว่าองค์ประกอบที่สำคัญของดินวิทยาศาสตร์คือ พอลิไวนิลอะซิเตต แป้ง และ น้ำ ตามลำดับ การทดลองลำดับต่อมาเป็นการผสมองค์ประกอบที่ได้จากการตรวจวิเคราะห์ย้อนหลังมาทำการศึกษาปัจจัยดังนี้คือ อัตราส่วนของแป้งต่อกาว ชนิดของแป้ง ขนาดอนุภาคของแป้ง ชนิดของกาว และชนิดของสารเติมแต่ง การทดลองสรุปได้ว่า ดินสูตรผสมจะมีค่าการละลาย ความเป็นกรดด่างที่คล้ายกับดินวิทยาศาสตร์ตามท้องตลาด แต่ดินไทยและดินญี่ปุ่นจะมีการใช้แป้งที่เหมือนกัน และดินสูตรผสมจะมีลักษณะของกาวคล้ายกับดินไทยแต่ต่างกับดินญี่ปุ่น ซึ่งดินสูตรผสมเหมาะกับการนำไปใช้งานปั้นตุ๊กตา แต่ไม่เหมาะที่จะใช้ในงานที่ต้องการความอ่อนนุ่มดัดโค้งได้ อย่างไรก็ตามราคาต้นทุนต่อหน่วยดินสูตรผสมจะมีราคาที่ต่ำกว่าดินญี่ปุ่นและดินไทยซึ่งเป็นดินวิทยาศาสตร์ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project title	Research and development of clay for handmade product		
Student	Mr. Kittipong Wongwaree	Student ID	45050075
	Mr. Khosit Simma	Student ID	45050080
	Mr. Choopong Lertskulbanlue	Student ID	45050091
Degree	Bachelor of Science		
Major	Industrial Chemistry		
Department	Chemistry		
Year	2004		
Project Advisor	Assoc.Prof.Dr. Malinee Chaisupakitsin		

Abstract

This research aims to developed clay which used for OTOP handmade products. The objective this research is to replace and reduce of imported clay from foreign country including use the raw material in Thailand for clay production.

The reengineering process is used for examination the composition and structure of commercial clay. Solubility test, water content, thermal analysis, infrared spectroscopy, mechanical properties and X-ray diffraction of commercial clay were investigated. The results suggested that Poly (vinyl acetate), starch and water are the three main components of commercial clays. Therefore, the ratio of starch and adhesive, type of starch, particle size of starch, type of adhesive and type of additives were studied under this project. It was concluded that the mixture clay from this project showed the solubility behavior and pH value similar to commercial clay. But Thai clay and Japanese clay showed the similar starch content. The mixture clay and Thai clay has the similar adhesives but different from Japanese clay. The mixture clay is suitable for doll making product but not good for flexible product.

However, the unit cost of the mixture clay is lower than commercial clay. Both Japanese clay and Thai clay.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ.ดร. มาลินี ชัยภุภกิจสินธ์ อาจารย์ผู้ควบคุมปัญหาพิเศษเป็นอย่างสูงที่ให้คำปรึกษา ช่วยแก้ไขปัญหาและเอาใจใส่ในการทำงานของผู้วิจัย จนปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ดร. วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ และ อาจารย์ สุจินต์ ตันติพิสิฐกุล คณะกรรมการตรวจสอบปัญหาพิเศษรวมทั้ง อาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษา และแนะนำถึงจุดที่บกพร่องต่าง ๆ ที่ยังต้องแก้ไข จนปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการภาควิชาเคมี เจ้าหน้าที่สถานปฏิบัติการ โรงฝึกงานอุตสาหกรรมเคมีและพอลิเมอร์เทคโนโลยีที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือในปัญหาพิเศษฉบับนี้

ขอขอบคุณ คุณสิริญา บุญใจ ที่เอื้อเฟื้อเครื่องรีดดิน และดินญี่ปุ่น ดินไทย

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาที่เคารพอย่างสูง ที่ค่อยให้กำลังใจและค่อยสนับสนุนการทำปัญหาพิเศษนี้มาตลอด ขอบคุณพี่ ๆ น้อง ๆ เพื่อน ๆ สาขาเคมีอุตสาหกรรมทุกคน สำหรับคำแนะนำดี ๆ และเป็นกำลังใจให้เสมอ

นาย กิตติพงศ์ วงศ์วารี
นาย โฆษิต สิมมา
นาย ชูพงศ์ เลิศสกุลบรรลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... 3
Abstract..... 4
กิตติกรรมประกาศ..... 5
สารบัญ..... 6
สารบัญตาราง..... 9
สารบัญรูป..... 11
บทที่ 1 บทนำ..... 13
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 13
1.2. จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา..... 13
1.3. ขอบเขตของการศึกษา..... 13
บทที่ 2 ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 14
2.1 ความรู้เบื้องต้นและความสำคัญของแป้ง..... 14
2.2 การสังเคราะห์ของแป้ง..... 14
2.3 องค์ประกอบภายในแป้ง..... 15
2.4 กระบวนการผลิตแป้งข้าวจ้าว..... 21
2.5 กระบวนการผลิตแป้งท้าวยายม่อม..... 24
2.6 การนำแป้งไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ..... 27
2.7 พอลีไวนิลอะซิเทต (Polyvinyl acetate, PVAc)..... 28
2.8 กระบวนการผลิตไวนิลอะซิเทต..... 29
2.9 สารตัวเติม..... 29
บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน..... 32
3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง..... 32
3.2 เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์..... 34
3.3 ขั้นตอนการทดลอง..... 34
3.3.1. การตรวจวิเคราะห์ย้อนหลัง (Reengineering)..... 35
3.3.1.1 การทดสอบการละลาย (Soluble Analysis)..... 35
3.3.1.2 การทดสอบความเป็นกรดด่าง (pH Testing)..... 35
3.3.1.3 การทดสอบความชื้น..... 36
3.3.1.4 การทดสอบอัตราการระเหย..... 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.1.5 การตรวจวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Dry Solid Content..... 36
3.3.16 ตรวจวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Thermal Analysis 36
3.3.1.7 การตรวจวิเคราะห์โดยการใช้เทคนิค Infrared Spectroscopy.. 38
3.3.1.8 การทดสอบความหนืด (Mooney viscosity)..... 39
3.3.1.9 การทดสอบความแข็งกด (Hardness Testing)..... 39
3.3.1.10 การทดสอบการกระแทก (Izod impact testing).....39
3.3.1.11 การทดสอบ เอ็ซ-เรย์ ดิฟแฟรคชั่น (XRD)..... 40
3.3.2. การผสมและปรับปรุง (Blending and Modification)..... 40
3.3.2.1 การเตรียมสารตัวอย่าง (Sample Preparation)..... 40
3.3.2.2 การผสมและปรับปรุง (Blending and Modification)..... 40
3.3.3 การทดสอบ (Testing)..... 48
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง..... 49
4.1 ศึกษาผลการผสมดินวิทยาศาสตร์.....49
4.2 การตรวจวิเคราะห์และทดสอบ (Analysis and Testing).....55
4.2.1 การทดสอบการละลาย (Soluble Analysis)..... 55
4.2.2 การทดสอบความเป็นกรดด่าง (pH Testing)..... 57
4.2.3 การทดสอบความชื้น..... 58
4.2.4 การทดสอบอัตราการระเหย..... 59
4.2.5 การตรวจวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Dry Solid Content..... 59
4.2.6 ตรวจวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Thermal Analysis 60
4.2.7 การตรวจวิเคราะห์โดยการใช้เทคนิค Infrared Spectroscopy.....62
4.2.8 การทดสอบความหนืด (Mooney viscosity).....64
4.2.9 การทดสอบความแข็งกด (Hardness Testing)..... 65
4.2.10 การทดสอบการกระแทก (Izod impact testing).....66
4.2.11 การทดสอบ เอ็ซ-เรย์ ดิฟแฟคชั่น (XRD)..... 67
4.3 การเปรียบเทียบราคาต่อหน่วย..... 68
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง..... 69
ข้อเสนอแนะและปรับปรุง..... 70
เอกสารอ้างอิง..... 71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ก.....74
ก.1 ข้อมูลดิบของค่าความชื้น..... 75
ก.2 ข้อมูลดิบของการวัดอัตราการระเหย..... 78
ก.3 ข้อมูลดิบของการวัด Dry Solid Content.....79.
ก.4 ข้อมูลดิบของค่าความหนืดมูนนี่..... 79
ก.5 ข้อมูลดิบของการทดสอบ TGA..... 80
ก.6 ข้อมูลดิบของการทดสอบ IR..... 85
ก.7 ข้อมูลดิบของการทดสอบความแข็งกด..... 95
ก.8 ข้อมูลดิบของการทดสอบการกระแทก..... 99
ก.9 ข้อมูลดิบของการความหนืดและลักษณะของกาวลาเท็กซ์..... 103
ภาคผนวก ข.....104
ข.1 ส่วนประกอบอื่นๆ ภายในแป้ง.....104
ภาคผนวก ค.....106
ค.1 หลักการคำนวณต้นทุนของดินทั้งสามสูตร..... 106
ภาคผนวก ง.....108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงสมบัติที่สำคัญของอะมิโลสและอะมิโลเพกติน..... 17
2.2 แสดงคุณสมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลส..... 19
2.3 แสดงองค์ประกอบภายในเมล็ดข้าวหัก 22
2.4 แสดงคุณสมบัติของแป้งข้าวจ้าว 24
2.5 แสดงคุณสมบัติของแป้งท้าวยายม่อม..... 26
2.6 แสดงลักษณะของเม็ดแป้งแต่ละชนิด 26
2.7 แสดงขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งชนิดต่างๆ 27
2.8 แสดงคุณสมบัติในการพองตัวและความสามารถในการละลายของแป้งแต่ละชนิด ที่ 95 °C..... 27
2.9 เปรียบเทียบสมบัติเด่นและข้อด้อยของพอลิไวนิลอะซิเทต..... 28
3.1 แสดงการการผสมสูตรดินวิทยาศาสตร์..... 44
4.1 แสดงผลการการผสมสูตรดินวิทยาศาสตร์..... 50
4.2แสดงผลการผสมสูตรดินวิทยาศาสตร์ที่มีลักษณะผ่านเกณฑ์..... 54
4.3 แสดงผลการละลายของตัวอย่างดินวิทยาศาสตร์ในน้ำ..... 55
4.4 แสดงผลการละลายของตัวอย่างดินวิทยาศาสตร์ในกรดไฮโดรคลอริก 0.5 โมลาร์..... 55
4.5 แสดงผลการละลายของตัวอย่างดินวิทยาศาสตร์ในกรดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 5 56
4.6 แสดงผลการละลายของตัวอย่างดินวิทยาศาสตร์ในสารละลายอะซิโตน..... 56
4.7 แสดงผลการละลายของตัวอย่างดินวิทยาศาสตร์ในสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์..... 57
4.8 แสดงผลค่าความเป็นกรดด่างของดินวิทยาศาสตร์ 57
4.9 แสดงคำอธิบายหมู่ฟังก์ชัน..... 63
4.10 แสดงราคาต่อน้ำหนัก250กรัมของดินวิทยาศาสตร์..... 68
ก.1.1 แสดงปริมาณความชื้นในดินญี่ปุ่นที่อุณหภูมิ 100°C 75
ก.1.2 แสดงปริมาณความชื้นในดินไทยที่อุณหภูมิ 100°C 75
ก.1.3 แสดงปริมาณความชื้นในดินสูตร 3 ที่อุณหภูมิ 100°C 76
ก.1.4 แสดงปริมาณความชื้นในดินสูตร 4 ที่อุณหภูมิ 100°C 76
ก.1.5 แสดงปริมาณความชื้นในดินสูตร 5 ที่อุณหภูมิ 100°C 76
ก.1.6 แสดงปริมาณความชื้นในดินวิทยาศาสตร์ ที่อุณหภูมิ 77
ก.2.1แสดงอัตราการระเหยของน้ำในดินวิทยาศาสตร์ที่อุณหภูมิ 35 เป็นเวลาสามชั่วโมง.....78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ก.3.1 แสดงการวัด Dry Soild Content ที่มีอยู่ในดินวิทยาศาสตร์..... 79
ก 4.1 แสดงการวัดหนืดมูนนี่ของดินวิทยาศาสตร์.....79
ก.7.1 แสดงการทดสอบความแข็งกดของดินญี่ปุ่นชุดที่ 1 95
ก.7.2. แสดงการทดสอบความแข็งกดของดินญี่ปุ่น ชุดที่ 2..... 95
ก.7.3. แสดงการทดสอบความแข็งกดของดินไทยชุดที่ 1.....96
ก.7.4. แสดงการทดสอบความแข็งกดของดินไทย ชุดที่ 2.....96
ก.7.5 แสดงการทดสอบความแข็งกดของดินสูตร 3.....97
ก.7.6 แสดงการทดสอบความแข็งกดของดินสูตร 4.....97
ก.7.7 แสดงการทดสอบความแข็งกดของดินสูตร 5..... 98
ก.7.8 แสดงค่าที่อ่านได้ทั้งหมดจากการทดสอบความแข็งกด..... 98
ก.8.1 แสดงค่าที่อ่านได้จากการทดสอบการกระแทกของดินญี่ปุ่น ชุดที่ 1..... 99
ก.8.2 แสดงค่าที่อ่านได้จากการทดสอบการกระแทกของดินญี่ปุ่น ชุดที่ 2..... .99
ก.8.3 แสดงค่าที่อ่านได้จากการทดสอบการกระแทกของดินไทย ชุดที่ 1..... 100
ก.8.4 แสดงค่าที่อ่านได้จากการทดสอบการกระแทกของดินไทย ชุดที่ 2..... 100
ก.8.5 แสดงค่าที่อ่านได้จากการทดสอบการกระแทกของดินวิทยาศาสตร์ สูตร 3..... 101
ก.8.6 แสดงค่าที่อ่านได้จากการทดสอบการกระแทกของดินวิทยาศาสตร์ สูตร 4..... 101
ก.8.7 แสดงค่าที่อ่านได้จากการทดสอบการกระแทกของดินวิทยาศาสตร์ สูตร 5..... 102
ก.8.8 แสดงค่าที่อ่านได้จากการทดสอบการกระแทกทั้งหมดของดินวิทยาศาสตร์ 102
ก.9 แสดงค่าความหนืดและลักษณะของกาวลาเทกซ์..... 103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงวัฏจักรแคลวิน (Calvin cycle)..... 15

2.2 แสดงวัฏจักรการสังเคราะห์อะมิโลสและอะมิโลเพกติน..... 16

2.3 แสดงระดับโครงสร้างในเม็ดแป้งมันฝรั่ง..... 17

2.4 แสดงโครงสร้างของอะมิโลส..... 18

2.5 แสดงลักษณะเกลียวของอะมิโลส..... 19

2.6 แสดงโครงสร้างอะมิโลเพกติน..... 20

2.7 แสดงแบบจำลองโครงสร้างอะมิโลสที่อยู่ร่วมกับอะมิโลเพกตินและไขมัน..... 21

2.8 แสดงองค์ประกอบภายในเม็ดข้าวจ้าว..... 22

2.9 แสดงแผนภาพกระบวนการผลิตแป้งข้าวจ้าว 23

2.10 แสดงต้นของท้าวยายม่อม 25

2.11 แสดงรากของต้นท้าวยายม่อม..... 25

3.1 ลำดับขั้นตอนการทดลอง (Flow Chart)..... 41

4.1 แสดงลักษณะการขึ้นกลีบรูปดอกไม้ของดินญี่ปุ่นและดินไทย..... 49

4.2 แสดงลักษณพการขึ้นกลีบดอกไม้และการปั้นสิ่งประดิษฐ์ขนาดเล็กของดินผสมสูตร..... 49

4.3 แสดงปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดินวิทยาศาสตร์ 100°C..... 58

4.4 แสดงอัตราการระเหยของดินวิทยาศาสตร์ที่สัมพันธ์กับเวลาและน้ำหนัก..... 59

4.5 แสดงร้อยละของความชื้นและน้ำหนักกากของตัวอย่างดินวิทยาศาสตร์..... 59

4.6 แสดงเทอร์โมแกรมของดินวิทยาศาสตร์ แป้งมันสำปะหลัง กาวTOA และ PVAc..... 60

4.7 แสดงค่า Derivative ของดินวิทยาศาสตร์ แป้งมันสำปะหลัง กาวTOA และ PVAc..... 61

4.8 แสดงค่าการเปรียบเทียบผล Infared Spectrocopy ของดินวิทยาศาสตร์ แป้งมันสำปะหลัง....62

4.9 แสดงค่าความหนืดมูนนี่ของดินวิทยาศาสตร์..... 64

4.10 แสดงค่าที่อ่านได้จากการทดสอบความแข็งกดของดินวิทยาศาสตร์..... 65

4.11 แสดงค่าการทดสอบการกระแทกของดินวิทยาศาสตร์..... 66

4.12 แสดงค่ากราฟ XRD ของดินวิทยาศาสตร์..... 67

ก.5.1.1 แสดงการทดสอบ TGAของดินญี่ปุ่น..... 80

ก.5.1.2 แสดงการทดสอบ TGAของดินไทย..... 80

ก.5.1.3 แสดงการทดสอบ TGAของดินสูตร 3.....81

ก.5.1.4 แสดงการทดสอบ TGAของดินสูตร 4.....81

ก.5.1.5 แสดงการทดสอบ TGAของดินสูตร 5.....82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.5.2 แสดงการทดสอบ TGAของแป้งมันสำปะหลัง	83
ก.5.3 แสดงการทดสอบ TGAของกาว TOA	83
ก.5.4แสดงการทดสอบ TGAของPolyvinyl Acetate	84
ก.5.5แสดงการทดสอบ TGAของ Borax	84
ก.6.1.1 แสดงการทดสอบ IR ของดินญี่ปุ่น	85
ก.6.1.2แสดงการทดสอบ IR ของดินไทย	85
ก.6.1.3 แสดงการทดสอบ IR ของดินสูตร 3	86
ก.6.1.4 แสดงการทดสอบ IR ของดินสูตร 4	86
ก.6.1.5 แสดงการทดสอบ IR ของดินสูตร 5	87
ก.6.2.1 แสดงการทดสอบ IR ของแป้งมันสำปะหลัง	87
ก.6.2.2แสดงการทดสอบ IR ของแป้งข้าวจ้าว	88
ก.6.2.3แสดงการทดสอบ IR ของแป้งข้าวโพด	88
ก.6.2.4แสดงการทดสอบ IR ของแป้งข้าวเหนียว	89
ก.6.2.5แสดงการทดสอบ IR ของแป้งท้าวยายม่อม	89
ก.6.2.6แสดงการทดสอบ IR ของแป้งสาลี	90
ก.6.2.7แสดงการทดสอบ IR ของแป้งดินสอพอง	90
ก.6.3.1แสดงการทดสอบ IR ของกาว TOA	91
ก.6.3.2แสดงการทดสอบ IR ของกาว Starbond	91
ก.6.3.3แสดงการทดสอบ IR ของกาว King	92
ก.6.3.4แสดงการทดสอบ IR ของกาว Robin	92
ก.6.4.1แสดงการทดสอบ IR ของBorax	93
ก.6.4.2แสดงการทดสอบ IR ของCleansing cream	93
ก.6.5.1แสดงการทดสอบ IR ของPolyvinyl Acetate	94
ง. 1 แสดงลักษณะของแป้งที่มีปริมาณมากกว่ากาวลาเท็กซ์ในการผสม	108
ง.2 แสดงลักษณะของกาวลาเท็กซ์ที่มีปริมาณมากกว่าแป้งในการผสม	108
ง.3 แสดงลักษณะของดินที่ทำการทดลองในอัตราส่วนที่เหมาะสม	108
ง.4 แสดงภาพของดินญี่ปุ่นเกรดการค้า	109
ง.5 แสดงภาพของเครื่องรีดที่ปรับขนาดได้และแม่แบบ	109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

เนื่องจากในปัจจุบันนี้ มีชุมชนและกลุ่มแม่บ้านต่างๆเป็นจำนวนมากได้ทำการประดิษฐ์งานศิลปะในรูปแบบของผลิตภัณฑ์ที่จำลองแบบธรรมชาติโดยใช้ภูมิปัญญาชาวบ้านยกตัวอย่างเช่นการผลิตดอกไม้ประดิษฐ์และงานปั้นแต่งจากดินวิทยาศาสตร์หรือชื่อทางการค้าคือดินวิทยาศาสตร์ ซึ่งงานประดิษฐ์ที่ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่กำลังเป็นที่นิยมของผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศเป็นอย่างมากเพราะมีความสวยงามเหมือนจริงและมีคุณค่าเหมาะแก่การสะสมและสามารถใช้ประดับเพื่อความสวยงามตามสถานที่ต่างๆอาทิเช่นตามอาคารบ้านเรือน โรงแรม ร้านอาหาร และสถานที่อื่นๆ สร้างรายได้ให้ชุมชนและกลุ่มแม่บ้านเป็นจำนวนมากโดยเฉพาะในช่วงนี้ที่ทางรัฐบาลได้มีการสนับสนุนกลุ่มหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ เพื่อการส่งออก

สาเหตุสืบเนื่องมาจากดินวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการประดิษฐ์ของชุมชนและกลุ่มแม่บ้านนั้นจำเป็นจะต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศและมีราคาค่อนข้างแพง ซึ่งเป็นการทำให้ประเทศไทยต้องเสียดุลทางการค้า แต่ในปัจจุบันคนไทยสามารถที่จะผลิตดินวิทยาศาสตร์ขึ้นใช้เองได้ ซึ่งราคาถูกกว่าการนำเข้าอย่างมาก แต่คุณภาพยังเทียบกับดินวิทยาศาสตร์ที่นำเข้ามาไม่ได้ กล่าวคือดินวิทยาศาสตร์ที่ผลิตโดยคนไทยเมื่อใช้งานจะขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้ค่อนข้างลำบาก และเมื่อขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แล้วผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความคงทนน้อยกว่า ผลิตภัณฑ์จะเกิดรอยแตกร้าว

ด้วยเหตุผลดังกล่าวมาข้างต้นจึงเป็นเหตุให้เกิดการวิจัยเรื่องดินวิทยาศาสตร์นี้ขึ้นเพื่อปรับปรุงสมบัติของดินวิทยาศาสตร์ที่ผลิตขึ้นในเมืองไทยให้มีคุณภาพที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับดินวิทยาศาสตร์ที่นำเข้ามาได้ และเป็นการสร้างรายได้ให้กับชุมชนและกลุ่มแม่บ้านและลดการนำเข้าดินวิทยาศาสตร์จากต่างประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. สามารถผลิตดินวิทยาศาสตร์ที่มีคุณสมบัติที่ดีและราคาถูกขึ้นใช้ได้เองในประเทศเพื่อเป็นการลดการนำเข้า
2. ปรับปรุง วิจัยและพัฒนาดินวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในงานหัตถกรรมให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น
3. เพื่อนำความรู้ไปเผยแพร่ให้กับชุมชน และ ให้เกิดการพึ่งพาตนเองอย่างยั่งยืน

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ทำการศึกษาและตรวจวิเคราะห์ย้อนหลัง (Reengineering) เพื่อศึกษาหาโครงสร้างและองค์ประกอบของดินวิทยาศาสตร์
2. ทำการผลิตดินวิทยาศาสตร์จากวัตถุดิบที่หาได้ในประเทศ
3. ทำการปรับปรุงคุณภาพของดินวิทยาศาสตร์ที่ผลิตได้เพื่อให้มีสมบัติที่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและเอกสารวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้เบื้องต้นและความสำคัญของแป้ง [1]

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง พบว่าคลอโรพลาสต์ (ในใบ) และในส่วนที่พืชใช้เป็นแหล่งเก็บอาหาร เช่น เมล็ดและหัว มนุษย์ได้รับแป้งจากพืชแตกต่างกันตามภูมิประเทศในโลก ทางด้านทวีปอเมริกาเหนือหรือกลางจะมีข้าวโพด ข้าวสาลีเป็นแหล่งให้แป้งที่สำคัญ ทางยุโรปมีมันฝรั่ง และแถบเอเชีย แอฟริกามีข้าวและมันสำปะหลังเป็นต้น แต่ที่สำคัญที่มีการใช้กันทั่วโลก คือ แป้งข้าวโพด, แป้งข้าวสาลีและแป้งมันสำปะหลัง แป้งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในโภชนาการของมนุษย์ องค์ประกอบหลักของอาหารทุกชนชาติส่วนใหญ่จะมีแป้ง เช่น ข้าว ขนมปัง ก๋วยเตี๋ยว และพาสต้า

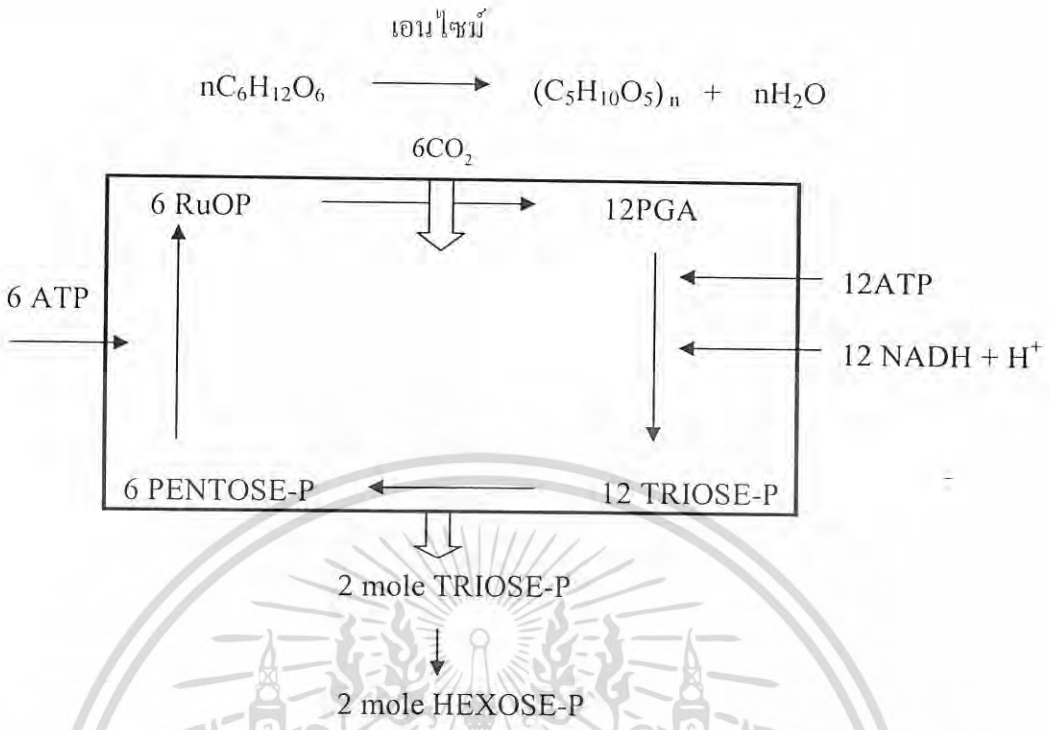
2.2 การสังเคราะห์แป้ง

การสังเคราะห์แป้งเกิดขึ้นในส่วนของพืชที่มีสีเขียว ซึ่งมีคลอโรฟิลล์ในการจับพลังงานจากแสงอาทิตย์ ใช้คาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศและน้ำในการสร้างกลูโคสและออกซิเจน กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthesis) สามารถแสดงปฏิกิริยาได้ดังนี้

$$6H_2O + 6CO_2 \xrightarrow[\text{คลอโรฟิลล์}]{\text{แสงสว่าง}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง พืชสามารถตรึงคาร์บอนไดออกไซด์และสร้างกรดฟอสโฟกลีเซอริก (phosphoglyceric acid , PGA) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอน 3 อะตอม PGA จะผ่านวัฏจักรแคลวิน (calvin cycle) ได้เป็นน้ำตาลคาร์บอน 6 อะตอม (hexose) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 เมื่อผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง จะมีการสร้างพอลิเมอร์ของกลูโคสขึ้นมาจากการทำงานของเอนไซม์ พอลิเมอร์ของกลูโคสนี้เรียกในขั้นตอนว่า "แป้ง" แสดงปฏิกิริยาการสังเคราะห์อย่างง่าย ๆ ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



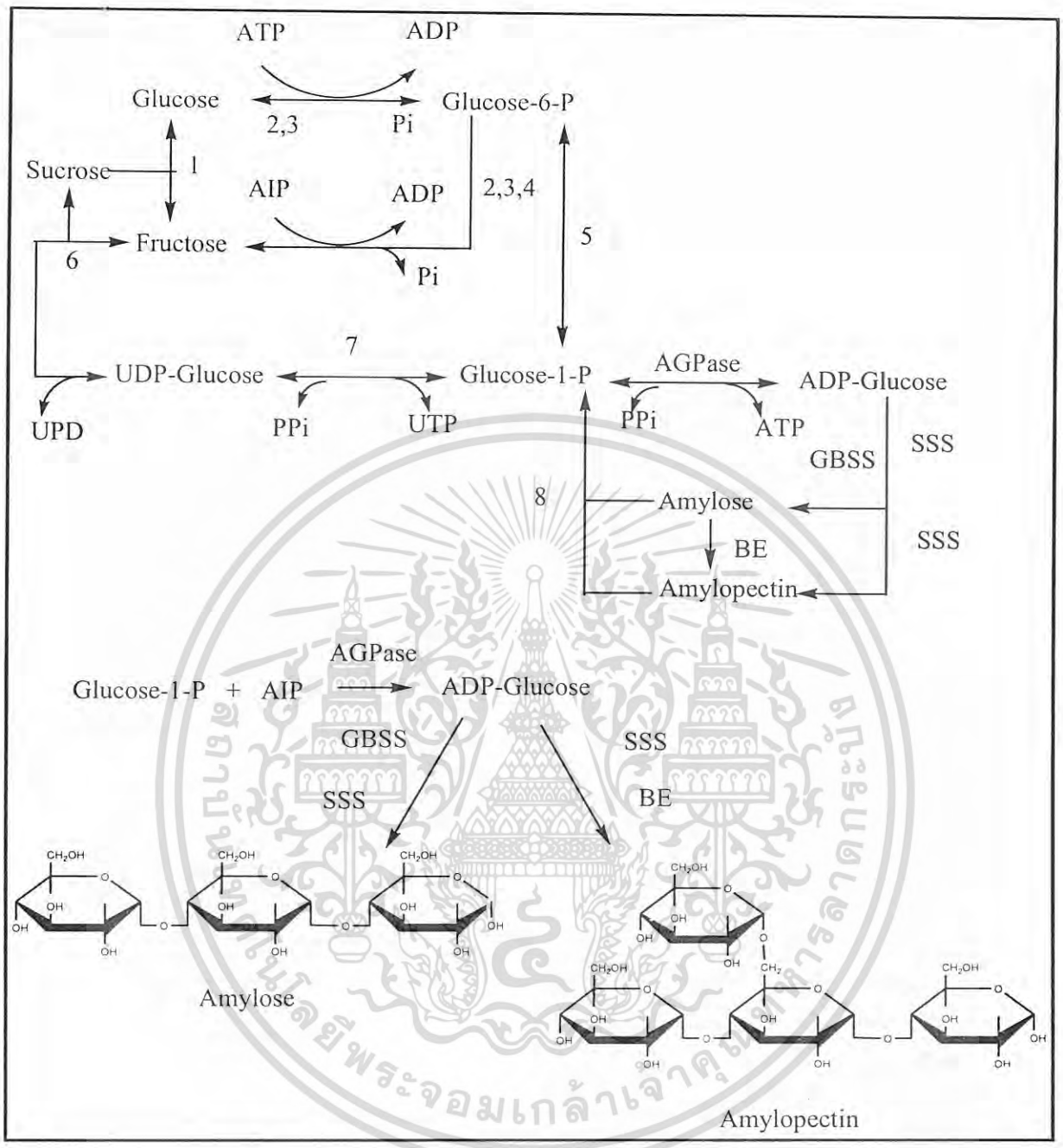
รูปที่ 2.1 แสดงวัฏจักรแคลวิน (Calvin cycle) [1]

ระหว่างการสังเคราะห์ด้วยแสงในเวลากลางวัน แป้งจะถูกเก็บไว้ที่ใบในรูปของเม็ดแป้งขนาด 1 ไมครอน ในช่วงเวลากลางคืนแป้งจะถูกย่อยโดยเอนไซม์ได้เป็นน้ำตาลซูโครส และถูกส่งไปเก็บสะสมอยู่ในรูปของแป้งที่ส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น เก็บไว้ในเมล็ด (ข้าวสาลี ข้าวจ้าว ข้าวโพดข้าวฟ่าง) เก็บไว้ในราก (มันสำปะหลัง) เก็บไว้ในส่วนหัว (มันฝรั่ง มันเทศ ท้าวยายม่อม) เก็บไว้ในลำต้น (สาคู สับปะรด)

2.3 องค์ประกอบภายในแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรเคมีโดยทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งประกอบด้วย Anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ glucosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านปลายสายของพอลิเมอร์มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (aldehyde group) เรียกว่า reducing end group แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (อะมิโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะมิโลเพกติน) วางตัวในแนวรัศมี แสดงระดับโครงสร้างของเม็ดแป้งดังรูปที่ 2.2 แป้งจากแหล่งที่ต่างกันจะมีอัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินแตกต่างกัน (ดังตารางที่ 2.1) ทำให้คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



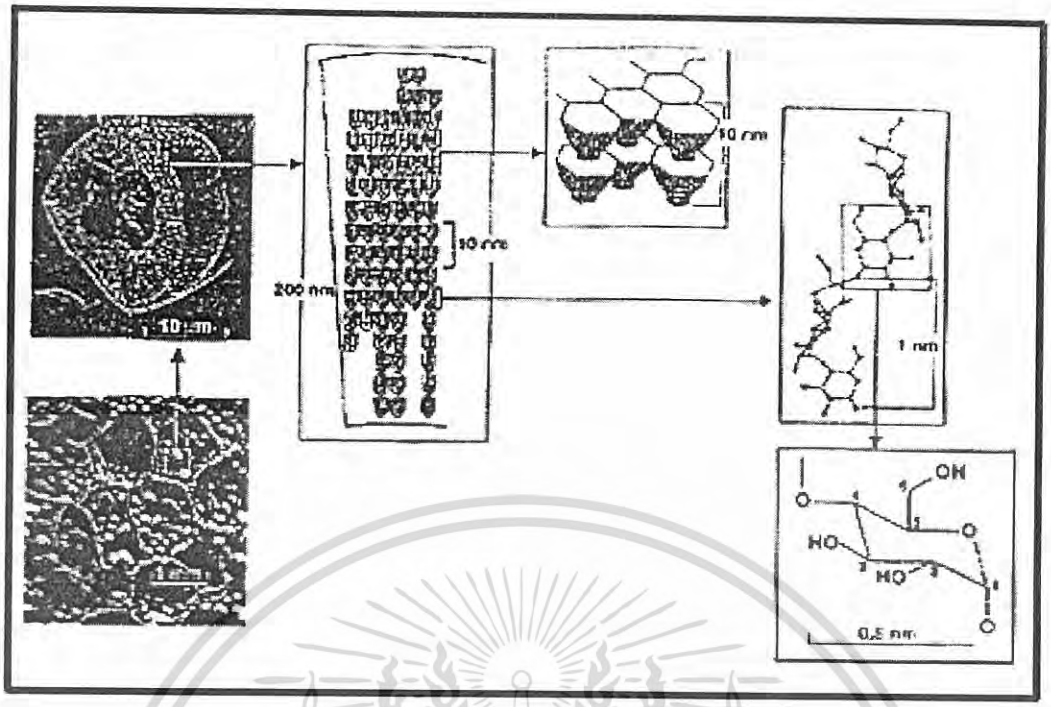
รูปที่ 2.2 แสดงวัฏจักรการสังเคราะห์อะมิโลสและอะมิโลเพกติน [2]

คำย่อ : AGPase : ADP-glucose pyrophosphorylase ; G-1-P : glucose-1 –phosphate ; GBSS : granule-bound starch synthesis ; BE : branching enzyme

เอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง ; 1. invertase 2. hexokinase 3. hexose-6-phosphatase 4. glucose-phosphate isomerase 5. phosphoglucomutase 6. sucrose synthase 7. UDP-glucosepyropnosphorylase 8.starch phosphorylase

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.3 แสดงระดับโครงสร้างในเม็ดแป้งมันฝรั่ง [3]

องค์ประกอบหลักภายในเม็ดแป้ง ได้แก่

1. อะมิโลส (amylose)
2. อะมิโลเพกติน (amylopectin)
3. สารตัวกลาง (intermediate material)

ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติที่สำคัญของอะมิโลสและอะมิโลเพกติน [4]

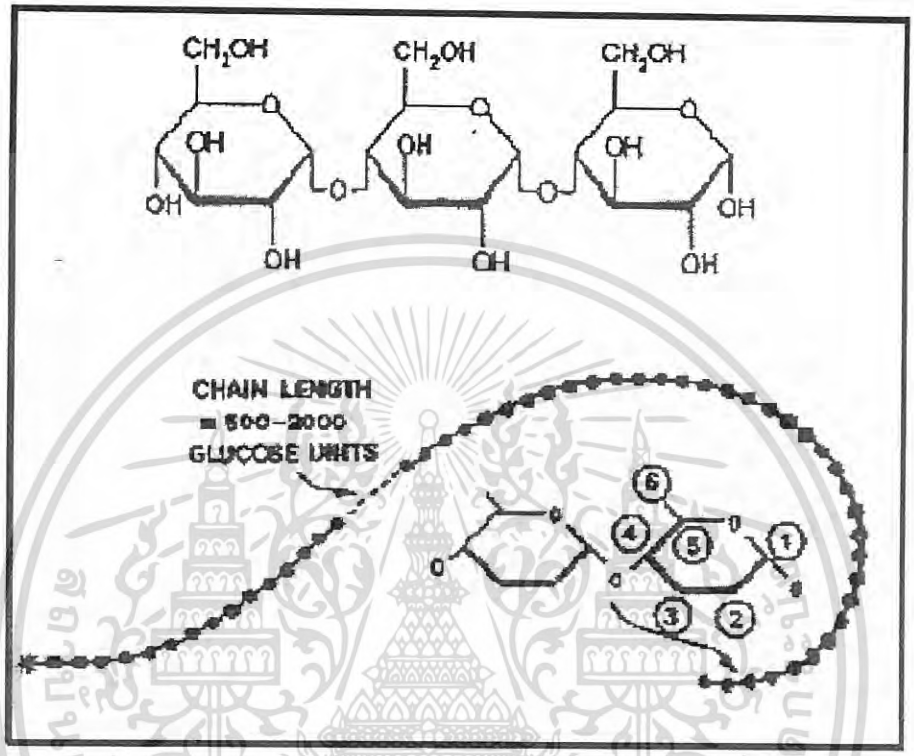
คุณสมบัติ	อะมิโลส	อะมิโลเพกติน
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาล กลูโคสเกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาล กลูโคสเกาะกันเป็นกิ่งก้าน
พันธะที่จับ	α- 1,4	α- 1,4 และ α- 1,6
ขนาด	200-2,000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า 10,000 หน่วยกลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีแดงม่วง
การจับตัว	เมื่อได้รับความร้อนแล้วทิ้งไว้ จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

107728

อะมิโลส (Amylase)

อะมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α- 1, 4-glucosidic linkage ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของอะมิโลส [5]

อะมิโลสมีหมู่ไฮดรอกซีปริมาณมากทำให้พอลิเมอร์มีสมบัติ ไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) สามารถดูดความชื้นและกระจายตัวในน้ำได้ โมเลกุลมีลักษณะเป็นเส้นตรง

แป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณอะมิโลสสูงปริมาณ 28% แป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาคู มีปริมาณอะมิโลสต่ำประมาณ 20 % Waxy starch ไม่มีอะมิโลสเลย และแป้งจาก amylomaize มีอะมิโลสสูงมากถึง 80% น้ำหนักโมเลกุลของอะมิโลสอยู่ในช่วง 105 ถึง 106 ดาลตัน ซึ่งอะมิโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป ในแป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมีน้ำหนักโมเลกุลสูงในแป้งข้าวจ้าวและแป้งสาลี แป้งแต่ละชนิดมี Degree of polymerization (DP) ของอะมิโลสแตกต่างกัน แป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมี DP ของอะมิโลสในช่วง 200 ถึง 1,200 แป้งที่มีโมเลกุลของอะมิโลสยาวขึ้นจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ลดลง ในธรรมชาติอะมิโลสมีกิ่งก้านอยู่บ้างแต่ไม่มาก คุณสมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลสของแป้งหลาย ๆ ชนิดดังตารางที่ 2.2

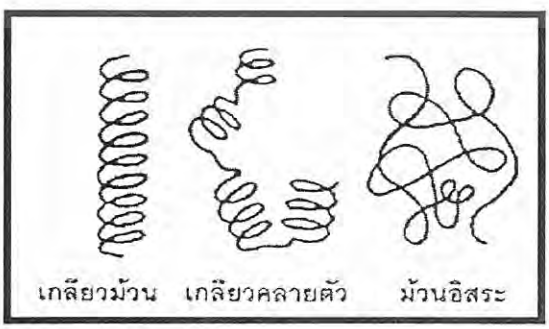
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลส [6]

แหล่งแป้ง	ปริมาณอะมิโลส (%)	β-Amylolysis limit (%)	DP เฉลี่ย	จำนวนสายเฉลี่ย (NC)	ความยาวสายเฉลี่ย (CL)	โมเลกุลกิ่ง (%)
แป้งสาลี	28	88	1,300	4.8	270	27
แป้งข้าวโพด	28	82	930	2.7	340	44
แป้งข้าวจ้าว	17	-	-	-	-	-
Indica	-	73	1,000	4.0	250	49
Japonica	-	81	1,100	3.4	320	31
แป้งมันสำปะหลัง	17	75	2,600	7.6	340	42
แป้งมันฝรั่ง	21	80	4,900	9.5	240	-

หมายเหตุ : β-amylolysis = % การย่อยแป้งโดย β-Amylase
DP = Degree of Polymerization
NC = Number of Chain
CL = Chain Length

โครงสร้างของอะมิโลสเมื่ออยู่ในสารละลายจะมีหลายรูปแบบ คือ ลักษณะเป็นเกลียวม้วน (helix) เกลียวที่คลายตัว (interrupted helix) หรือม้วนอิสระ (random coil) ดังรูปที่ 2.5 ในสารละลายที่อุณหภูมิห้อง อะมิโลสอยู่ในลักษณะเป็นเกลียวม้วนหรือเกลียวที่คลายตัว อะมิโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 6,500 ถึง 160,000 มีโมเลกุลเป็นม้วนอิสระและจะไม่ละลายในสารละลายสำหรับอะมิโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 6,500 อาจจะมีบางส่วนละลายได้ โมเลกุลจะอยู่ในลักษณะเกลียวคู่ที่แข็ง

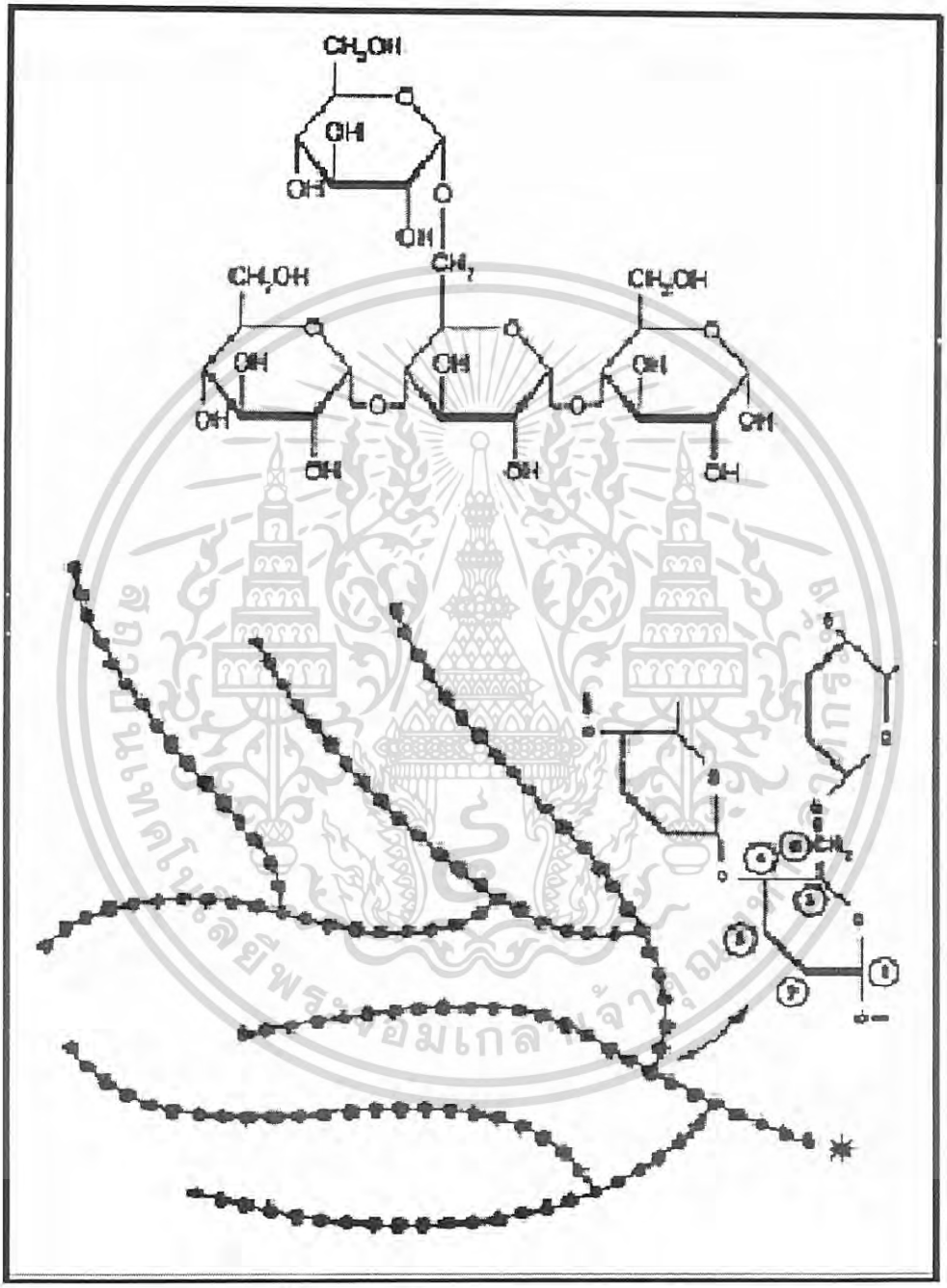


รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะเกลียวของอะมิโลส [7]

อะมิโลเพกติน (Amylopectin)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

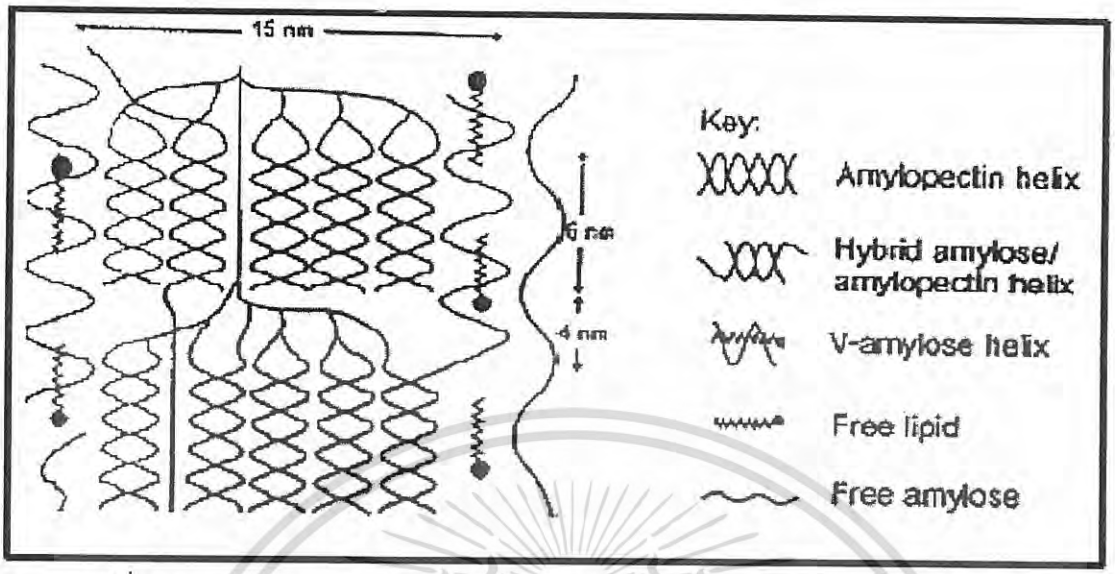
อะมิโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4 –glucosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นมี DP อยู่ในช่วง 10 ถึง 60/หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,6- glucosidic linkage ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างอะมิโลเพกติน [5]

แบบจำลองของโครงสร้างอะมิโลสที่อยู่ร่วมกับอะมิโลเพกติน และ monoacyl lipid ในส่วนผลึกของเม็ดแป้งดังรูปที่ 2.7 อะมิโลสภายในเม็ดแป้งมีทั้งอยู่ในสภาพอิสระ สภาพที่อยู่ร่วมกับไขมัน และร่วมกับอะมิโลเพกตินเป็นเกลียวคู่ (double helix)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงแบบจำลองโครงสร้างอะมิโลสที่อยู่ร่วมกับอะมิโลเพกตนและไขมัน [8]

2.4 กระบวนการผลิตแป้งข้าวจ้าว [9]

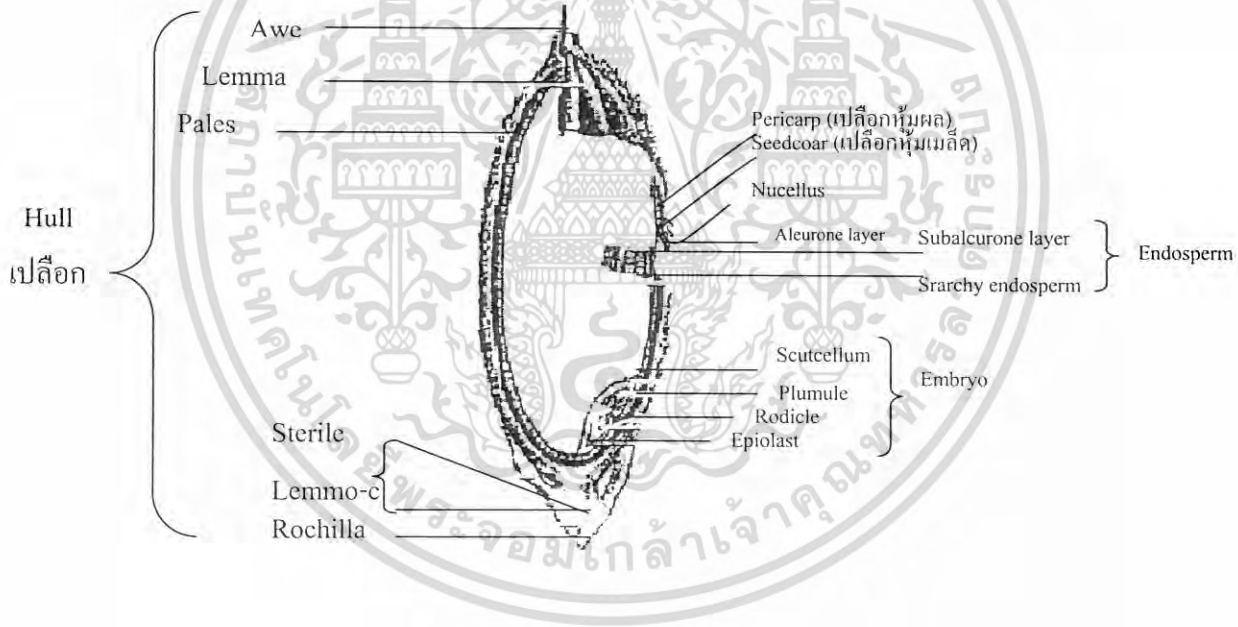
ข้าวจ้าวหรือ Oryza sativa L. มีกำเนิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีหลายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์อินดิคา *(O. sativa indica)* ปลูกมากในแถบมรสุม ซึ่งมีฝนตกชุกและแสงแดดเพียงพอ และพันธุ์จาปอนิคา *(O. Sativa japonica)* ปลูกในพื้นที่เขตอบอุ่น ข้าวที่ใช้ในกระบวนการผลิตจะเป็นข้าวหักหรือข้าวเกรดสองที่ไม่เหมาะสมต่อการบริโภคโดยตรง ข้าวหักมีองค์ประกอบต่าง ๆดังตารางที่ 2.5 และรูปที่ 2.9 แป้งข้าวจ้าวมีการใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่าง ๆ มากมาย ใช้เป็นส่วนประกอบของแป้งฝุ่นในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งแป้งฝุ่นสำหรับเด็กเนื่องจากแป้งข้าวไม่เป็นพิษและไม่มีสารระคายเคือง และใช้เป็นสารทำให้แข็ง (laundry stiffening agent) ในการซักรีด

ในการผลิตแป้งข้าวจ้าวในประเทศไทยนั้น ถึงจะเป็นการโม่เปียก แต่โปรตีนและสิ่งแปลกปลอมส่วนใหญ่ยังติดอยู่กับแป้ง ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้เป็นประเภทฟลาว์ (Rice flour) และนิยมใช้ข้าวประเภทที่มีอะมิโลสสูง ทั้งนี้เพราะเมื่อนำไปประกอบอาหาร เช่น ทอด จะให้ความกรอบแข็ง หรือ นำไปนึ่ง เมื่อเย็นลงจะเกิดแผ่นฟิล์ม (เช่น ก๋วยเตี๋ยว เส้นหมี่) ข้าวหอมมะลิที่บริโภคไม่เหมาะสมใช้ผลิต rice flour เพราะมีปริมาณอะมิโลสต่ำ ส่วนการผลิตแป้งสตาร์ช (rice starch) คือการสกัดเอาโปรตีนและสิ่งแปลกปลอมในแป้งฟลาว์ออกจนเกือบหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบภายในเมล็ดข้าวหัก [10]

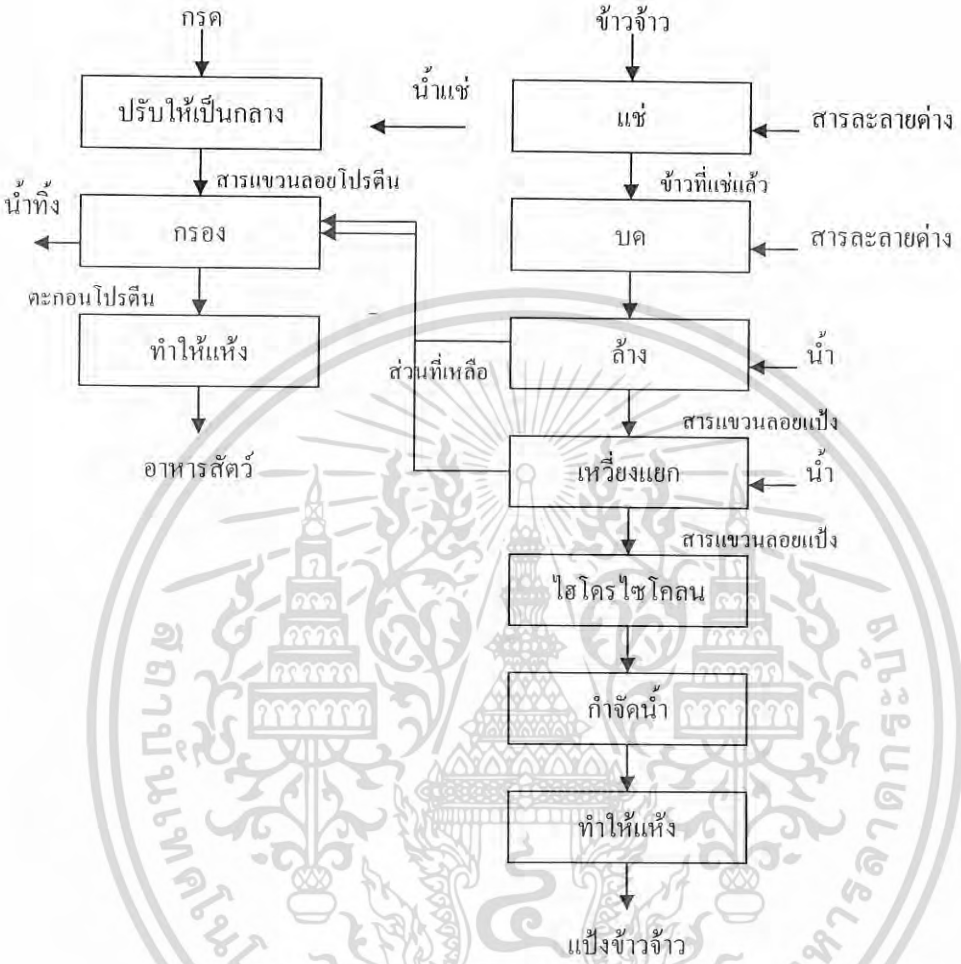
องค์ประกอบ	%
ความชื้น	12.0
แป้ง	79.2
โปรตีน	7.0
ไขมัน	0.4
เถ้า	0.5
ส่วนที่เหลือ	0.9



รูปที่ 2.8 แสดงองค์ประกอบภายในเม็ดข้าวจ้าว [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการผลิต เริ่มจากนำข้าวเปลือกมาล้างทำความสะอาด แยกสิ่งแปลกปลอม (ถ้าเป็นข้าวเปลือกต้องผ่านการสีก่อน) ดังแสดงกระบวนการผลิตแป้งข้าวจ้าวในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงแผนภาพกระบวนการผลิตแป้งข้าวจ้าว [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติของแป้งข้าวจ้าว [14]

คุณสมบัติ	แป้งข้าวจ้าว
ขนาดเม็ดแป้ง (ไมครอน)	6.8
ปริมาณอะมิโลส (%)	18-27
DP อะมิโลส	900-1,100
Onset temperature (T_o , ° C)	60
Peak temperature (T_p , ° C)	77

2.5 กระบวนการผลิตแป้งท้าวยายม่อม

แป้งท้าวยายม่อม Arrowroot (Maranta arundinacea) มีชื่อเรียกว่าต้นสาคู เป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดในอเมริกาใต้ arrowroot ในภาษาพื้นเมืองชื่อว่า zulu มีพืชอีกชนิดหนึ่งที่มีลักษณะใกล้เคียงกับ arrowroot คือ amaranth มีภาษาพื้นเมืองว่า sagu เนื่องจากพืชสองชนิดนี้มีลักษณะใกล้เคียงกันมาก เป็นไปได้ว่า เราเรียกชื่อ arrowroot สลับกับ sagu และไม่เกี่ยวข้องกันกับลำต้นปาล์มสาคู (Metroxylon sagu)

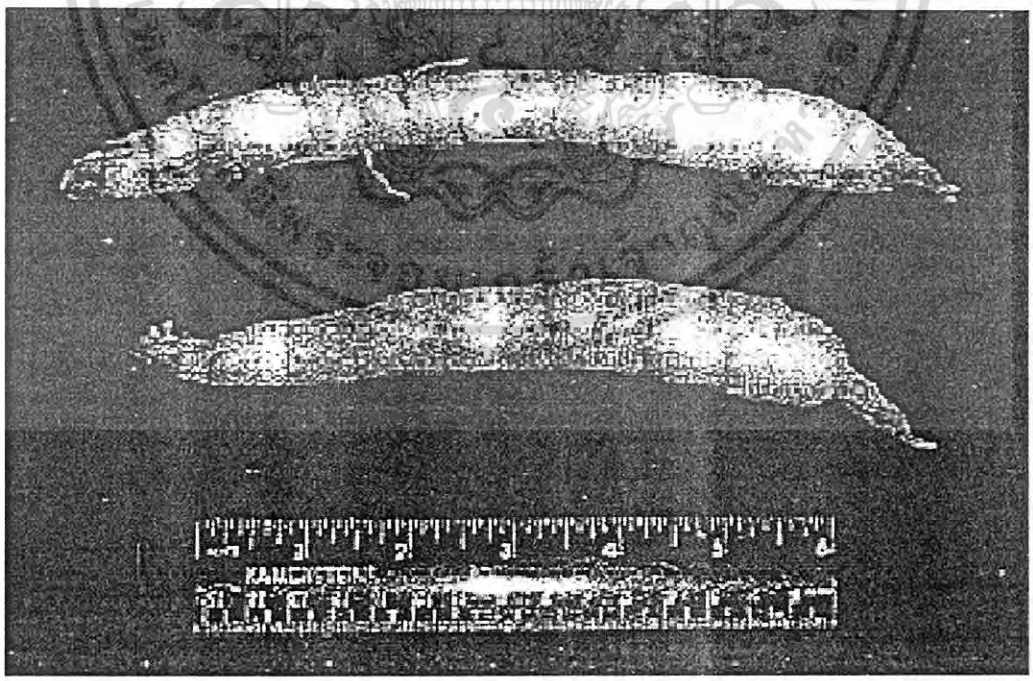
ส่วนของต้นท้าวยายม่อมที่เก็บแป้งเป็นส่วนราก (Rhizome) และเป็นส่วนที่ขยายพันธุ์ได้ ต้นท้าวยายม่อมเป็นพืชล้มลุก อายุ 1 ปีในฤดูร้อน ใบจะแห้ง หยุดการเจริญสามารถเก็บเกี่ยวได้ เมื่อฝนตกต้นใหม่ก็จะงอกเจริญเติบโตต่อไป ในกระบวนการผลิตแงเหมือนกับกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง แต่ต้องผ่านขั้นตอนการล้างมากกว่า เพื่อหลีกเลี่ยงรสขมจากเปลือกนอกของหัวเม็ดแป้งมีขนาด 13-70 ไมครอน ซึ่งใหญ่กว่าขนาดเม็ดแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งมีขนาด 5-35 ไมครอน สามารถสกัดแป้งได้ 25-30 %

เนื่องจากการผลิตในระดับอุตสาหกรรมมีในแถบหมู่เกาะ West Indies ส่วนในฟิลิปปินส์ และ จีนยังเป็นแบบอตุสาหกรรมขนาดเล็ก การแยกแป้งยังใช้วิธีการตกตะกอน และ การทำแห้งยังใช้วิธีการตากแดด หรือ ทำแห้งบนพื้นที่ให้ความร้อน (อังไฟ)

ในประเทศไทยมีการปลูกกันทั่วไป แต่ยังไม่ใช่พืชหลักและยังไม่มีการผลิตแป้งในระดับอุตสาหกรรมในท้องถิ่นมักเรียกกันว่ารากสาคู รูปที่ 2.11 และ รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะต้นและรากของท้าวยายม่อมตามลำดับ ลักษณะพิเศษของแป้งท้าวยายม่อม คือมีเม็ดแป้งที่ใหญ่และมีความแข็งแรงของเม็ดสูง ทำให่มีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสภาวะ (pasting temperature) สูง คุณสมบัติของแป้งท้าวยายม่อมแสดงไว้ในตารางที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.10 แสดงต้นของท้าวยายม่อม [9]



รูปที่ 2.11 แสดงรากของต้นท้าวยายม่อม [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติของแป้งท้าวยายม่อม [13]

คุณสมบัติ	แป้งท้าวยายม่อม
ขนาดเม็ดแป้ง (ไมครอน)	13-70
ปริมาณอะมิโลส (%)	18
DP อะมิโลส	3,430
Pasting temperature (°C)	76.20
Peak viscosity (RVU)	420
Final viscosity (RVU)	271
Trough viscosity (RVU)	188
Onset temperature (T_o, °C)	71.12
Peak temperature (T_p, °C)	76.06
Enthalpy (ΔH, J/g)	16.60

ตารางที่ 2.6 แสดงลักษณะของเม็ดแป้งแต่ละชนิด [14]

	แป้งมันฝรั่ง	แป้งข้าวโพด	แป้งสาลี	แป้งมันสำปะหลัง	แป้งข้าวโพดข้าวเหนียว
แหล่งของแป้ง	ส่วนหัว	เมล็ดธัญพืช	เมล็ดธัญพืช	ส่วนราก	เมล็ดธัญพืช
เส้นผ่านศูนย์กลาง(μm)	5-100	2-30	1-45	4-35	2-30
เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยโดยจำนวน	27	10	8	15	10
เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย โดยน้ำหนัก	40	15	25	25	15
จำนวนเม็ดแป้ง (x 10^6) ต่อแป้ง 1 กรัม	60	1300	2600	500	1300
โมเลกุลของแป้ง (x 10^{12}) ต่อเม็ดแป้ง 1 หน่วย	50	10	4	4	0.01
Specific area (m^2/kg)	100	300	500	200	300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 แสดงขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งชนิดต่างๆ [15]

แหล่งแป้ง	ขนาด (ไมครอน)	รูปร่าง
ข้าวโพด	5-25	กลม แบน มีหลายเหลี่ยม
ข้าวจ้าว	3-5	แบน มีหลายเหลี่ยม
มันสำปะหลัง	5-35	กลม คล้ายไข่ที่มีรอยตัด
ท้าวยายม่อม	13-70	รูปไข่

ตารางที่ 2.8 แสดงคุณสมบัติในการพองตัวและความสามารถในการละลายของแป้งแต่ละชนิดที่ 95 °C [16]

แป้ง	กำลังการพองตัว	การละลาย (%)
มันสำปะหลัง	71	48
ท้าวยายม่อม	54	28
ข้าวโพด	46	25
ข้าวจ้าว	19	18
ข้าวจ้าวข้าวเหนียว	56	23

2.6 การนำแป้งไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ [17]

แป้งสามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมและใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ อย่างมากมาย เช่น สารยึดติด สิ่งทอ กระดาษ อาหาร ยารักษาโรค และวัสดุก่อสร้างต่างๆ เป็นต้น การที่สามารถนำแป้งไปใช้ประโยชน์อย่างมากมาย เกิดจากสมบัติของแป้งในด้านความเหนียวข้น การเกิดเป็นเจล การยึดติด และการเกิดเป็นฟิล์ม แถมยังมีราคาถูกและหาได้ง่าย นอกจากนั้นแป้งยังสามารถใช้ผสมในพลาสติกเป็นสารตัวเติมเพื่อช่วยในการย่อยสลายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 พอลิไวนิลอะซิเทต (Polyvinyl acetate, PVAc) [20]

พอลิไวนิลอะซิเทต มี T_g = 29 ° C เตรียมจากเทคนิคอิมัลชั่น (Emulsion) หรือเทคนิคแขวนลอยผ่านกไกอนุมูลอิสระใช้เป็นกาว และสารตั้งต้นในการผลิตพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พอลิไวนิลแอลกฮอล์ (PVAl) เตรียมจากการไฮโดรไลซิส PVAc ด้วยเมทานอล ดังสมการ

PVAl ไม่อาจเตรียมได้โดยตรงเพราะมอนอเมอร์เป็นไอโซเมอร์ของแอลดีไฮด์ PVAl ละลายน้ำและในแอลกอฮอล์ ใช้เป็นสารช่วยให้เสถียรในเทคนิคอิมัลชั่น ใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อหรือ สารข้น เป็นกาวสำหรับกระดาษ เซรามิค เครื่องสำอางค์และสิ่งทอ ใช้เป็นสารช่วยในการถอดแบบจากพิมพ์ เมื่อนำ PVAl มาทำปฏิกิริยาบางส่วน (ประมาณ 75%) กับ butaraldehyde จะได้พลาสติกที่เรียกว่า PVB ซึ่งนำมาใช้เป็นชั้นในของกระจกนิรภัยได้ ส่วนของ PVAl ที่เหลืออีก 25 % จะทำหน้าที่คล้ายกาวยึดติดกระจกไว้ ปฏิกิริยาต่างๆ ของ PVAl แสดงได้ดังสมการ

ตารางที่ 2.9 เปรียบเทียบสมบัติเด่นและด้อยของพอลิไวนิลอะซิเทต

สมบัติเด่น	สมบัติด้อย
1. เตรียมฟิล์มได้ดีเยี่ยม 2. Heat sealable	1. ทนความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ 2. ไม่ทนต่อตัวทำละลาย 3. ไม่ทนต่อสารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 กระบวนการผลิตไวนิลอะซิเทต [18]

ในปัจจุบันกระบวนการผลิตไวนิลอะซิเทต จะใช้ Wacker Process ซึ่งจะใช้ acetic acid แทนที่ในส่วนของน้ำ

$$CH_2=CH_2 + \tfrac{1}{2} O_2 \xrightarrow[CH_3COOH]{PdCl_2/CuCl_2/HCl} CH_2=CH\text{-}O\text{-}COCH_3$$

-Cu (II) จะออกซิไดส์ (Oxidise) Pd ให้กลับเป็น Pd (II)

- Cu (I) สามารถถูกออกซิไดส์โดย O_2 ในกรด HClให้กลายไปเป็น Cu (II)

$$Pd + 2CuCl_2 \longrightarrow PdCl_2 + 2CuCl$$

$$2CuCl + 2HCl + 1/2O_2 \longrightarrow 2CuCl_2 + H_2O$$

ลักษณะจะเป็นการทำปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบริเวณ Gas phase ใส fixed bed reactor ที่อุณหภูมิในการผลิตที่ 200 °C ความดัน 10 atms

2.9 สารตัวเติม (Fillers) [19]

คำว่า "ฟิลเลอร์" ปกติจะใช้กับสารเติมแต่งซึ่งเป็นของแข็งที่ใส่เข้าไปในพอลิเมอร์เพื่อปรับเปลี่ยนสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล สารตัวเติมที่เป็นของแข็งอาจมีได้หลายลักษณะ ดังนี้

2.9.1 สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นผงหรือเป็นเม็ด (Particulate filler) ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) ไชนาเคลย์ (China clay) ผงเขม่าดำ หรือคาร์บอนแบล็ค (Carbon black) เป็นต้น ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

ก. สารตัวเติมไม่เสริมแรง (Inert filler) เป็นสารตัวเติมที่ใส่เข้าไปเพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติบางอย่าง ตัวอย่างเช่น ในสารประกอบของพลาสติไซด์พีวีซี การเติมสารตัวเติมไม่เสริมแรง ช่วยลดการบวมตัวที่หัวดาย (Die swell) เมื่อผ่านกระบวนการอัดรีด เพื่อมอดุลัสและความแข็งอาจทำให้มีพื้นขาวเพื่อการใส่สีต่อไป ปรับปรุงสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้า และลดการเยิ้มเหนียวติดกัน (Tackiness) โดยทั่ว ๆ ไปมักเป็นสารที่ช่วยลดต้นทุนของสารประกอบเพื่อลดต้นทุนการผลิตได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต ไชนาเคย์ ทัลค์ (Talc) แบเรียมซัลเฟต (Barium sulphate) โดยปกติสารตัวเติมนี้ไม่ละลายในของเหลวต่าง ๆ ที่สารประกอบพอลิเมอร์อาจจะต้องสัมผัส สารตัวเติมแต่ละชนิดมีได้หลายเกรด แตกต่างกัน เนื่องจาก

- ขนาดของอนุภาคโดยเฉลี่ย และการกระจายขนาดอนุภาค เมื่อใช้สารตัวเติมในพวกอิลาสโตเมอร์พบว่า สารตัวเติมที่มีอนุภาคละเอียดจะให้สมบัติต่าง ๆ เช่น ความแข็งแรงดึง (Tensile

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

strength) มอดุลัส ความแข็ง (Hardness) ที่สูงขึ้น สำหรับอนุภาคที่หยาบจะทำให้ความแข็งแรงของสารประกอบต่ำกว่าสารประกอบที่ไม่ได้ใส่สารตัวเติมแต่ถ้าขนาดอนุภาคละเอียดมาจนกระทั่งทำให้สมบัติที่กล่าวมาแล้วนี้สูงขึ้นมากปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการเสริมแรง(Reinforcement)

- รูปร่างของอนุภาคและความพรุน (Porosity) โดยรูปร่างของอนุภาคมีอิทธิพลต่อสมบัติต่าง ๆ ด้วย ตัวอย่างเช่น อนุภาคของไชนาเคลย์มีลักษณะเป็นแผ่น (Plate like) มีแนวโน้มที่จะจัดเรียงตัวในระหว่างกระบวนการผลิตทำให้ผลิตภัณฑ์มีสมบัติเป็น anisotropic ส่วนอนุภาคของสารตัวเติมที่มีรูพรุนจะดูดซับสารตัวเติมอื่น ๆ ไว้ทำให้สารตัวเติมที่ถูกดูดไว้ไร้ประสิทธิภาพ

- ธรรมชาติทางเคมีของผิวหน้า (Chemical nature of the surface) สารตัวเติมที่เป็นแร่ธาตุ (Mineral filler) มักมีหมู่ที่มีขั้วอยู่บนผิว เช่น หมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งทำให้เปียกน้ำได้ง่าย แต่ไม่เกาะติดกับพอลิเมอร์ การปรับปรุงให้สารตัวเติมเกาะตัวเติมเกาะติดกับพอลิเมอร์ได้ดีจำเป็นต้องบำบัด (Treat) ผิวของสารตัวเติมเสียก่อน เช่น แคลเซียมคาร์บอเนตอาจถูกบำบัดด้วยกรดสเตียริก (Stearic acid) เพื่อให้หมู่ของกรดยึดติดกับอนุภาคของสารตัวเติม ขณะที่สายโซ่อะลิฟาติกสามารถเข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์ได้

- สารปนเปื้อน (Impurity) เช่น กรวดทราย (Grit) และอิออนของพวกโลหะ (Metal ions) สารปนเปื้อนที่มีอยู่ในสารตัวเติมซึ่งมาจากแร่ธาตุจะมีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์อย่างมาก กรวดทรายขนาดใหญ่จะเป็นจุดอ่อนอยู่ในเนื้อพลาสติก ทำให้พลาสติกแตกหักภายใต้ความเค้นได้ง่าย หรือถ้ามีเศษทองแดง มังกานีส และเหล็กเพียงเล็กน้อยจะมีผลต่อการเกิดออกซิเดชัน ขณะที่ตะกั่วจะทำปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ที่อยู่ในสารเติมกแต่ง หรือ ไอของซัลเฟอร์ (Sulphorous fumes) ที่มีอยู่ในบรรยากาศ ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดสีขึ้น

ข. สารตัวเติมเสริมแรง (Reinforcing filler) ใช้ได้ผลมากกับพวกอิลาสโตเมอร์ (แต่อาจใช้กับพลาสติไซด์พีวีซีซึ่งทำให้มีค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มมากขึ้น) สำหรับยางสไตรีน- บิวตะไดอีน (SBR) ที่ผ่านการวัลคาไนซ์แล้ว เมื่อผสมคาร์บอนแบล็คเข้าไปช่วยเสริมแรง ค่าความต้านทางแรงดึงจะเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังเพิ่มค่ามอดุลัส ความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear resistance) และความต้านทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) อีกด้วย แต่เมื่อปริมาณคาร์บอนแบล็คมากเกินไป จะทำให้ปริมาตรของยางในคอมโพสิต (Composites) ลดลงจนไม่สามารถที่จะยึดอนุภาคของสารตัวเติมไว้ได้ ทำให้สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มลดลง สำหรับสารตัวเติมที่อนุภาคมีขนาดเท่าๆ กันคาร์บอนแบล็คจัดเป็นสารตัวเติมที่มีอำนาจในการเสริมแรงสูงสุด แต่ผงซิลิกา (Silica) สามารถใช้ประโยชน์ในสารประกอบที่ไม่มีสีดำ (Non-black compound) ส่วนสารตัวเติมอื่นๆ เช่น อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ซิงก์ออกไซด์ และ แคลเซียมซิลิเกต มีประสิทธิภาพในการเสริมแรงได้บ้าง

2.9.2 สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นยาง (Rubbery filler) มักใส่เข้าไปในเทอร์โมพลาสติก อสัณฐานที่แข็งเปราะ เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านความเหนียว (Toughness) ตัวอย่างที่รู้จักดีคือ การเติมยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SBR และ พอลิบิวตะไดอีน เข้าไปในพอลิสไตรีน ทำให้ได้พอลิสไตรีน ที่สามารถทนแรงกระแทกสูง ที่เรียกว่า HIPS (High impact polystyrene) หรือการใส่ยางบิวตะไดอีน- อะคริโลไนตริล ในพีวีซี และ ยางเอทิลีน- พรอพิลีน ในพอลีพรอพิลีน เป็นต้น

2.9.3 สารตัวเติมที่เป็นเรซินสังเคราะห์ (Synthetic resin) ในขณะที่ผู้พัฒนาพลาสติก (Plastics technologist) ได้ผสมยางเข้าไปในเรซินหรือวัสดุพลาสติก ผู้พัฒนายาง (Rubber technologis) ก็ได้ทำการผสมเรซินสังเคราะห์หรือพลาสติกเข้าไปในยาง ตัวอย่างเช่น สไตรีน- บิวตะไดอีนเรซินที่ประกอบด้วยอย่างน้อย 50% สไตรีน สามารถนำไปผสมกับยางเพื่อทำเป็นพื้นรองเท้า และแปรงล้างรถ ฟีนอลิกเรซินซึ่งมีความหนืดต่ำที่อุณหภูมิของการผลิตอาจช่วยเพิ่มการไหลและความสามารถในการแปรรูปของสารประกอบได้ ในระหว่างกระบวนการวัลคาไนเซชั่นพร้อมๆ กับเกิดการเชื่อมโยงโมเลกุล ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่แข็งขึ้น

2.9.4 สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นเส้นใย (Fibrous filler) สารตัวเติมชนิดนี้มีการนำมาใช้เป็นเวลานานแล้ว โดยใช้เส้นใยที่มีอยู่ในธรรมชาติและเส้นใยอินทรย์สังเคราะห์สั้นๆ เช่น ไนลอน ซึ่งสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติด้านความทนทานต่อแรงกระแทก ความเหนียวของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้เส้นใยอินทรีย์ เช่น ใยหิน (Asbestos) เส้นใยแก้ว (Glass fiber) มักใช้กับทั้งเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซต ซึ่งต้องการสมบัติด้านความคงทนต่อความร้อน และ ความแข็งแรง

สารตัวเติมถูกใช้ให้ได้ผลดีที่สุด เมื่อมีแรงยึดเกาะ (Adhesion) ระหว่างสารตัวเติมและ พอลิเมอร์ วิธีที่นิยมใช้กันมานาน ได้แก่ การเคลือบผิวสารตัวเติมด้วยสารเคมีที่มีส่วนซึ่งว่องไวต่อปฏิกิริยา 2 ส่วน โดยส่วนหนึ่งจะยึดกับสารตัวเติม อีกส่วนหนึ่งยึดกับพอลิเมอร์ ตัวอย่างที่รู้จักกันดี ได้แก่ การเคลือบแคลเซียมคาร์บอเนตด้วยกรดสเตียริก (เรียกแคลเซียมคาร์บอเนตที่เคลือบผิวนี้ว่า "Activated" ซึ่งมักใช้กับยางไฮโดรคาร์บอนชนิดต่างๆ หรือการเคลือบผิวไซนาเคลย์ด้วยสารพวกเอมีน

สารเคมีที่เพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างพอลิเมอร์กับสารตัวเติมนี้เรียกว่า สารคู่ควบ (Coupling agent) โดยหลักการ คือ ด้านหนึ่งของสารคู่ควบจะเข้าทำปฏิกิริยาเกิดพันธะโควาเลนท์กับสาร ตัวเติม และ เมื่อใส่สารตัวเติมซึ่งผ่านการเคลือยผิวแล้วเข้าไปในพอลิเมอร์ ปลายอีกด้านของ สารคู่ควบจะเกิดพันธะทางกายภาพหรือทางเคมีกับพอลิเมอร์ด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่น การใช้สารคู่ควบในผลิตภัณฑ์เส้นใยแก้วโดยการใช้ไวนิลไตรคลอโรไซเลน (Vinyltrichlorosilane) ซึ่งเชื่อมกับเรซินของพอลิเอสเทอร์ที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated polyester resin) ทางหมู่ไวนิลที่ไม่อิ่มตัวเป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินงาน

3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- **สารเคมี (Chemical agent)**

1.1 กาวลาเท็กซ์

1.1.1 กาวลาเท็กซ์ ตรา TOA

1.1.2 กาวลาเท็กซ์ ตรา Starbond

1.1.3 กาวลาเท็กซ์ ตรา King

1.1.4 กาวลาเท็กซ์ ตรา Robin

1.2 แป้ง

1.2.1 แป้งมันสำปะหลัง ตรา ตราปลามังกร

1.2.2 แป้งข้าวจ้าวชนิดโม่น้ำดีพิเศษ ตรา ทานตะวัน

1.2.3 แป้งข้าวโพด ตรา ปลาแฟนซีคราฟ

1.2.4 แป้งท้าวยายม่อม ตรา ปลามังกร

1.2.5 แป้งข้าวเหนียว ตรา ช้างเอราวัล และ ตรา ช้างทะเล

1.2.6 แป้งดินสอพอง สถานที่ ลพบุรี

1.2.7 แป้งสาลีอเนกประสงค์ ตราว่าว

1.3 Borax ($Na_2B_4O_7 \cdot 10\ H_2O$) (Sodium tetra borate decahydrate)

1.4 Glycerol

1.5 พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyetyleneglycol , PEG)

1.6 ดินวิทยาศาสตร์ (ชื่อทางการค้า Japan Clay, ดินญี่ปุ่น) ตรา ลูน่าเคลย์ (Lunar Clay)

1.7 ดินวิทยาศาสตร์ (ชื่อทางการค้า Thai Clay, ดินไทย) ไม่มีตรา

1.8 สารละลายโซเดียมไฮดรออกไซด์ร้อยละ 5 (NaOH 5 %)

1.9 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.5 โมลาร์ (0.5 M HCl)

1.10 สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ 80% (Ethyl Alcohol)

1.11 สารละลายอะซีโตน (Acetone)

1.12 Cleansing Cream (ครีมเพิ่มความชุ่มชื้น POND's)

1.13 น้ำส้มสายชู ตรา อสร.

1.14 น้ำมันถั่วเหลือง ตรา องุ่น

1.15 ไดออกทิลพทาเลต (Dioctylphthalate , DOP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **อุปกรณ์ และ เครื่องมือ (Apparatus)**

2.1 เครื่องคัดแยกขนาดอนุภาค (Molecular Sieve) ตรา Retsch

2.1.1 ขนาด 100 เมช

2.1.2 ขนาด 150 เมช

2.1.3 ขนาด 200 เมช

2.1.4 ขนาด 230 เมช

2.2 เครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA) รุ่น Pyris 1 TGA: Perkin Elmer.

2.3 เครื่องฟูริเออร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Radiation, FTIR) รุ่น Spectrum GX: Perkin Elmer.

2.4 เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Izod Impact tester ตรา Yasuda)

2.5 เครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction) บริษัท BRUKER AG รุ่น D 8 DVANCE

2.6 เครื่องทดสอบความหนืดบรูคฟิว บริษัท Brookfield Enterprice Co., Ltd(Brookfield Viscometer)

2.7 เครื่องทดสอบความหนืดมูนนี่ รุ่น SMV-207(Mooney Viscometer)

2.8 เครื่องทดสอบความแข็งกดชนิด Shore Dรุ่น N116-2004 (Durometer hardness)

2.9 เครื่องชั่งน้ำหนัก

2.10 ตู้อบ

2.11 บีกเกอร์

2.12 ถังพลาสติก

2.13 ไมโครมิเตอร์ (Micrometer)

2.14 เดซิเคเตอร์ (Desiccator)

2.15 ถาด

2.16 เวอร์เนีย (Vernia)

2.17 เครื่องกรองสุญญากาศ

2.18 พลาสติกห่ออาหารชนิด PVC

2.19 แม่แบบขึ้นรูปต่างๆ

2.20 pH Universal tester

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.1 การทดสอบการละลาย (Soluble Analysis)

3.2 การทดสอบความเป็นกรดด่าง (pH testing)

3.3 การทดสอบความชื้น **(Moisture Content Testing)**

3.3 การทดสอบอัตราการระเหย **(Water Retention Testing)**

3.5 การทดสอบโดยใช้เทคนิค Dry Solid Content

3.6 การตรวจวิเคราะห์ทางความร้อนโดยการใช้เทคนิค Thermal Analysis

3.7 การตรวจวิเคราะห์โครงสร้างโดยการใช้เทคนิค Infrared Spectroscopy

3.8 การทดสอบความหนืด (Mooney viscosity)

3.9 การทดสอบความแข็งกด (Hardness testing)

3.10 การทดสอบการกระแทก (Impact testing, (Izod))

3.11 การทดสอบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD)

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1. การตรวจวิเคราะห์ย้อนหลัง (Reengineering)

3.3.1.1 การทดสอบการละลาย (Soluble Analysis)

3.3.1.2 การทดสอบความเป็นกรดด่าง (pH testing)

3.3.3.3 การทดสอบความชื้น **(Moisture Content Testing)**

3.3.3.4 การทดสอบอัตราการระเหย **(Water Retention Testing)**

3.3.1.5 การทดสอบโดยใช้เทคนิค Dry Solid Content

3.3.1.6 การตรวจวิเคราะห์ทางความร้อนโดยการใช้เทคนิค Thermal Analysis

3.3.1.7 การตรวจวิเคราะห์โครงสร้างโดยการใช้เทคนิค Infrared Spectroscopy

3.3.1.8 การทดสอบความหนืด (Mooney viscosity)

3.3.1.9 การทดสอบความแข็งกด (Hardness testing)

3.3.1.10 การทดสอบการกระแทก (Impact testing, (Izod))

3.3.1.11 การทดสอบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD)

3.3.2. การผสมและปรับปรุง (Blending and Modification)

3.3.2.1 การเตรียมสารตัวอย่าง (Sample Preparation)

3.3.2.2 การผสมและปรับปรุง (Blending and Modification)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การทดสอบ (Testing)

3.3.3.1 การทดสอบการละลาย (Soluble Analysis)

3.3.3.2 การทดสอบความเป็นกรดด่าง (pH testing)

3.3.3.3 การทดสอบความชื้น **(Moisture Content Testing)**

3.3.3.4 การทดสอบอัตราการระเหย **(Water Retention Testing)**

3.3.3.5 การทดสอบโดยใช้เทคนิค Dry Solid Content

3.3.3.6 การตรวจวิเคราะห์ทางความร้อนโดยการใช้เทคนิค Thermal Analysis

3.3.3.7 การตรวจวิเคราะห์โครงสร้างโดยการใช้เทคนิค Infrared Spectroscopy

3.3.3.8 การทดสอบความหนืด (Mooney viscosity)

3.3.3.9 การทดสอบความแข็งกด (Hardness testing)

3.3.3.10 การทดสอบการกระแทก (Impact testing, Izod)

3.3.3.11 การทดสอบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD)

3.3.1 การตรวจวิเคราะห์ย้อนหลัง (Reengineering)

3.3.1.1 การทดสอบการละลาย (Soluble Analysis)

นำตัวอย่างดินวิทยาศาสตร์(ดินญี่ปุ่น และ ดินไทย) มาตัดให้มีขนาดประมาณ 0.01 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีสารละลายชนิดต่างๆบรรจุอยู่ เพื่อนำมาทดสอบการละลายในตัวทำละลายชนิดต่างๆ ดังนี้

1. ทดสอบการละลายน้ำที่ อุณหภูมิห้อง (30 ° C) และที่อุณหภูมิ 95 ° C
2. ทดสอบการละลายในกรดไฮโดรคลอริก 0.5 โมลาร์ (0.5 M HCl)
3. ทดสอบการละลายในด่าง (NaOH 5 %)
4. ทดสอบการละลายในสารละลายอะซีโตน(Acetone) เกรดการค้า MW= 58.08
5. ทดสอบการละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ 80% (Ethyl Alcohol)

3.3.1.2 การทดสอบความเป็นกรดด่าง (pH testing)

นำตัวอย่างดินวิทยาศาสตร์(ดินญี่ปุ่น และ ดินไทย) มาตัดให้มีขนาดประมาณ 0.01 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีน้ำบรรจุอยู่ นำแท่งแก้วบด นำกระดาษลิตมัส หรือ pH Universal มาวัดค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.3 การทดสอบความชื้น (Moisture Content Testing)

นำตัวอย่างดินวิทยาศาสตร์(ดินญี่ปุ่น และ ดินไทย) มาตัดให้มีขนาดประมาณ 3กรัม ชั่งน้ำหนักก่อนที่จะนำไปอบจากนั้นใส่ลงในบีกเกอร์ นำไปอบในเตาอบจนน้ำหนักคงที่ นำมาหาปริมาณความชื้น

3.3.1.4 การทดสอบอัตราการระเหย (Water Retention Testing)

นำตัวอย่างดินวิทยาศาสตร์(ดินญี่ปุ่น และ ดินไทย) มาตัดให้มีขนาดประมาณ 3กรัม ชั่งน้ำหนักก่อนที่จะนำไปอบจากนั้นใส่ลงในบีกเกอร์ นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 40 ° C เป็น 9 ชั่วโมง โดยชั่งน้ำหนักทุกๆ ชั่วโมง นำมาหาอัตราการระเหย

3.3.1.5 การตรวจวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Dry Solid Content

ตรวจวิเคราะห์เพื่อหาร้อยละสารที่ละลายน้ำและหาน้ำหนักของกาก ที่มีอยู่ในดินวิทยาศาสตร์ โดยนำตัวอย่างดินวิทยาศาสตร์ขนาด 1 กรัมไปละลายในน้ำแล้วนำไปกรองสุญญากาศ เมื่อได้กากออกมาใส่ลงในเดซิกเคเตอร์ (Desiccator) เพื่อไม่ให้มีการดูดซับน้ำที่มีอยู่ในอากาศ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C จนน้ำหนักตัวอย่างดินวิทยาศาสตร์คงที่ นำมาชั่งน้ำหนัก

$$\text{ร้อยละของสารที่ละลายน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ})}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100$$

$$\text{น้ำหนักของกาก} = 100 - \text{ร้อยละความชื้น}$$

3.3.1.6 การตรวจวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Thermal Analysis

1. การตรวจวิเคราะห์ดินวิทยาศาสตร์ (ดินญี่ปุ่น และ ดินไทย)

นำดินวิทยาศาสตร์(ดินญี่ปุ่น และ ดินไทย) ที่เป็นชิ้นตัวอย่าง นำมาตัดเป็นชิ้นขนาดเล็กประมาณ 5 มิลลิกรัมใส่ลงในถาด (Pan) แล้วนำไปวิเคราะห์อุณหภูมิในการเสียสภาพ (Degrade) โดยใช้เครื่อง TGA (Thermogravimetric Analysis) ทดสอบภายใต้สภาวะของก๊าซไนโตรเจน (N_2) โดยจะให้อุณหภูมิทดสอบตั้งแต่ 50 – 800 °C ข้อมูลที่ได้จะรายงานเป็นอุณหภูมิที่สารประกอบเกิดการสลายตัวและร้อยละของการสลายตัวโดยจะรายงานในรูปของกราฟ Thermogram

2. การตรวจวิเคราะห์กาวลาเท็กซ์

นำกาวลาเท็กซ์มาตรวจวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง TGA (Thermogravimetric Analysis) โดยกาวลาเท็กซ์ที่นำมาตรวจวิเคราะห์ จะมี 4 ตรา คือ

1. กาวลาเท็กซ์ ตรา TOA
2. กาวลาเท็กซ์ ตรา Starbond

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กาวลาเท็กซ์ ตรา King

4. กาวลาเท็กซ์ ตรา Robin

นำกาวลาเท็กซ์ที่จะทดสอบใส่ลงในถาด (Pan) แล้วนำไปวิเคราะห์อุณหภูมิในการเสียสภาพ (Degrade) โดยใช้เครื่อง TGA (Thermogravimetric Analysis) ทดสอบภายใต้สภาวะของก๊าซไนโตรเจน (N_2) โดยจะให้อุณหภูมิทดสอบตั้งแต่ 50 – 800 °C ข้อมูลที่ได้จะรายงานเป็นอุณหภูมิที่สารประกอบเกิดการสลายตัวและร้อยละของการสลายตัวโดยจะรายงานในรูปของกราฟ Thermogram

3. การตรวจวิเคราะห์แป้ง

นำแป้งมาตรวจวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง TGA (Thermogravimetric Analysis) โดยแป้งที่นำมาตรวจวิเคราะห์ จะมี 7 ชนิด คือ

1. แป้งมันสำปะหลัง ตรา ปลามังกรแป้งมันสำปะหลัง ตรา ตราปลามังกร
2. แป้งข้าวจ้าวชนิดโม่น้ำดีพิเศษ ตรา ทานตะวัน
3. แป้งข้าวโพด ตรา ปลาแฟนซีคราฟ
4. แป้งท้าวยายม่อม ตรา ปลามังกร
5. แป้งข้าวเหนียว ตรา ช้างเอราวัล และ ตรา ช้างทะเล
6. แป้งดินสอพอง สถานที่ ลพบุรี
7. แป้งสาลีอเนกประสงค์ ตราว่าว

นำแป้งที่จะทดสอบใส่ลงในถาด (Pan) แล้วนำไปวิเคราะห์อุณหภูมิในการเสียสภาพ (Degrade) โดยใช้เครื่อง TGA (Thermogravimetric Analysis) ภายใต้สภาวะของก๊าซไนโตรเจน (N_2) โดยจะให้อุณหภูมิทดสอบตั้งแต่ 50 – 800 °C ข้อมูลที่ได้จะรายงานเป็นอุณหภูมิที่สารประกอบเกิดการสลายตัวและร้อยละของการสลายตัวโดยจะรายงานในรูปของกราฟ Thermogram

4. การตรวจวิเคราะห์ Sodium tetra borate dehydrate (Borax)

นำ Borax ที่อยู่ในรูปผง มาตรวจวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง TGA (Thermogravimetric Analysis) โดยบด Borax จนละเอียดแล้วใส่ลงในถาด (Pan) แล้วนำไปวิเคราะห์อุณหภูมิในการเสียสภาพ (Degrade) โดยใช้เครื่อง TGA (Thermogravimetric Analysis) ทดสอบภายใต้สภาวะของก๊าซไนโตรเจน (N_2) โดยจะให้อุณหภูมิทดสอบตั้งแต่ 50 – 800 °C ข้อมูลที่ได้จะรายงานเป็นอุณหภูมิที่สารประกอบเกิดการสลายตัวและร้อยละของการสลายตัวโดยจะรายงานในรูปของกราฟ Thermogram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.7 การตรวจวิเคราะห์โดยการใช้เทคนิค Infrared Spectroscopy

1. การตรวจวิเคราะห์ดินวิทยาศาสตร์ (ดินญี่ปุ่น และ ดินไทย)

นำดินวิทยาศาสตร์ (ดินญี่ปุ่น และ ดินไทย) ที่เป็นชิ้นตัวอย่าง นำมาบดให้ละเอียดโดยผสมกับ โพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) ในภาชนะบด แล้วอัดจนเป็นแผ่นฟิล์ม นำไปทำการตรวจวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ในช่วงระหว่าง 4000- 400 cm^{-1}

2. การตรวจวิเคราะห์กาวลาเท็กซ์

นำกาวลาเท็กซ์ทั้ง 4 ตราดังนี้คือ

1. กาวลาเท็กซ์ ตรา TOA
2. กาวลาเท็กซ์ ตรา Star born
3. กาวลาเท็กซ์ ตรา King
4. กาวลาเท็กซ์ ตรา Robin

มาตรวจวิเคราะห์โดยทำให้อยู่ในรูปแผ่นฟิล์มแล้วนำไปทดสอบด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ในช่วงระหว่าง 4000- 400 cm^{-1}

3. การตรวจวิเคราะห์แป้ง

นำแป้งทั้ง 7 ชนิดดังนี้คือ

1. แป้งมันสำปะหลัง ตรา ปลามังกร
2. แป้งข้าวจ้าว ชนิดโม่น้ำดีพิเศษ ตรา ทานตะวัน
3. แป้งข้าวโพด ตรา ปลาแฟนซีคราฟ
4. แป้งท้าวยายม่อม ตรา ปลามังกร
5. แป้งข้าวเหนียว ตรา ช้างเอราวัล และ ตรา ช้างทะเล
6. แป้งดินสอพอง สถานที่ ลพบุรี
7. แป้งสาลีอเนกประสงค์ ตราว่าว

มาบดให้ละเอียดโดยผสมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) ในภาชนะบด แล้วอัดจนเป็นแผ่นฟิล์ม มาทำการตรวจวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ในช่วงระหว่าง 4000- 400 cm^{-1}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การตรวจวิเคราะห์ Sodium tetraborate decahydrate (Borax)

นำ Borax ที่อยู่ในรูปผงมาบดให้ละเอียดโดยผสมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) ในภาชนะบด แล้วอัดจนเป็นแผ่นฟิล์ม ทำการตรวจวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ในช่วงระหว่าง 4000- 400 cm^{-1}

3.3.1.8 การทดสอบความหนืด (Mooney viscosity)

เตรียมชิ้นงานตัวอย่างก่อน ตัดชิ้นงานตัวอย่าง นำไปทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D1646 ด้วยเครื่องมูนนี่พลาสติมิเตอร์ (Mooney plastimeter) ที่อุณหภูมิ 100 °C

3.3.1.9 การทดสอบความแข็งกด (Hardness testing)

เตรียมชิ้นงานตัวอย่างหลังจากทิ้งให้แข็ง จากนั้น ตัดชิ้นงานตัวอย่าง โดยนำไปอัดแบบโดยผ่านการกดอัดเพื่อให้เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมหนา 2 หรือ3.2 มิลลิเมตร นำไปทดสอบความแข็งกด ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งกดดูโรมิเตอร์ (Durometer hardness) ชนิด Shore D ค่าที่วัดได้ไม่มีหน่วย

3.3.1.10 การทดสอบการกระแทก (Izod impact testing)

เตรียมชิ้นงานตัวอย่างหลังจากทิ้งให้แข็ง จากนั้น ตัดชิ้นงานตัวอย่าง โดยนำไปอัดแบบโดยผ่านการกดอัดเพื่อให้เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมหนา 2 หรือ3.2 มิลลิเมตร ทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบการกระแทกแบบไอซอด (Izod)ASTM D256-87 นำไปวัดความกว้างและความหนา ทำชิ้นงานให้มีรอยบาก (Notched sample) คำนวณเพื่อนำค่ามาหักล้างรอยบาก วางบนแท่นวาง แล้วปล่อยให้ลูกตุ้มน้ำหนัก (Pendulum) แกว่งลงมากระแทกตัวอย่าง พลังงานที่ลูกตุ้มน้ำหนักใช้ในการหักตัวอย่างจะแสดงบนเข็มหน้าปัด หรือ เป็นตัวเลขอิเล็กโทรนิค ผลจะรายงานในหน่วยพลังงานต่อความหนาตัวอย่าง (จูลต่อเมตร, J/m) หรือ พลังงานต่อพื้นที่หน้าตัดตัวอย่างที่แตกหัก (จูลต่อตารางเมตร, J/m^2) ตัวอย่างที่ถูกบากจะถูกจับให้ "วางตั้ง" หันรอยบากเข้าสู่ทิศทางกระแทกของลูกตุ้มน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.11 การทดสอบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD)

ทำการตัดหรือเตรียมให้มีลักษณะผิวเรียบขนาด 1-1.5x2 เซนติเมตร ชิ้นงานเป็นของแข็ง จะต้องบดเป็นผงมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 35 ไมครอน ปริมาณประมาณ 2 กรัม นำเข้าเครื่อง X-ray Diffractrometer ที่สภาวะ 2- theta

3.3.2. การผสมและปรับปรุง (Blending and Modification)

3.3.2.1 การเตรียมสารตัวอย่าง (Sample Preparation)

3.3.2.2 การผสมและปรับปรุง (Blending and Modification)

3.3.2.1 การเตรียมสารตัวอย่าง (Sample Preparation)

-การเตรียมสารตั้งต้น

1. เตรียมแป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวจ้าว แป้งข้าวโพด แป้งท้าวยายม่อม แป้งข้าวเหนียว แป้งสาลี และแป้งดินสอพอง โดยที่ ยังไม่ผ่านการคัดแยกขนาดด้วยเครื่องคัดแยกขนาดอนุภาค

2. เตรียมแป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวจ้าว แป้งข้าวโพด แป้งท้าวยายม่อม แป้งข้าวเหนียว แป้งสาลี และแป้งดินสอพอง มาทำการคัดแยกขนาดด้วยเครื่องคัดแยกขนาดอนุภาค (Molecular Sieve) ตามขนาดของตระแกรง 100, 150 , 200 และ 230 เมซ ตามลำดับ

-การศึกษาชนิดของสารเติมแต่ง(Additive)

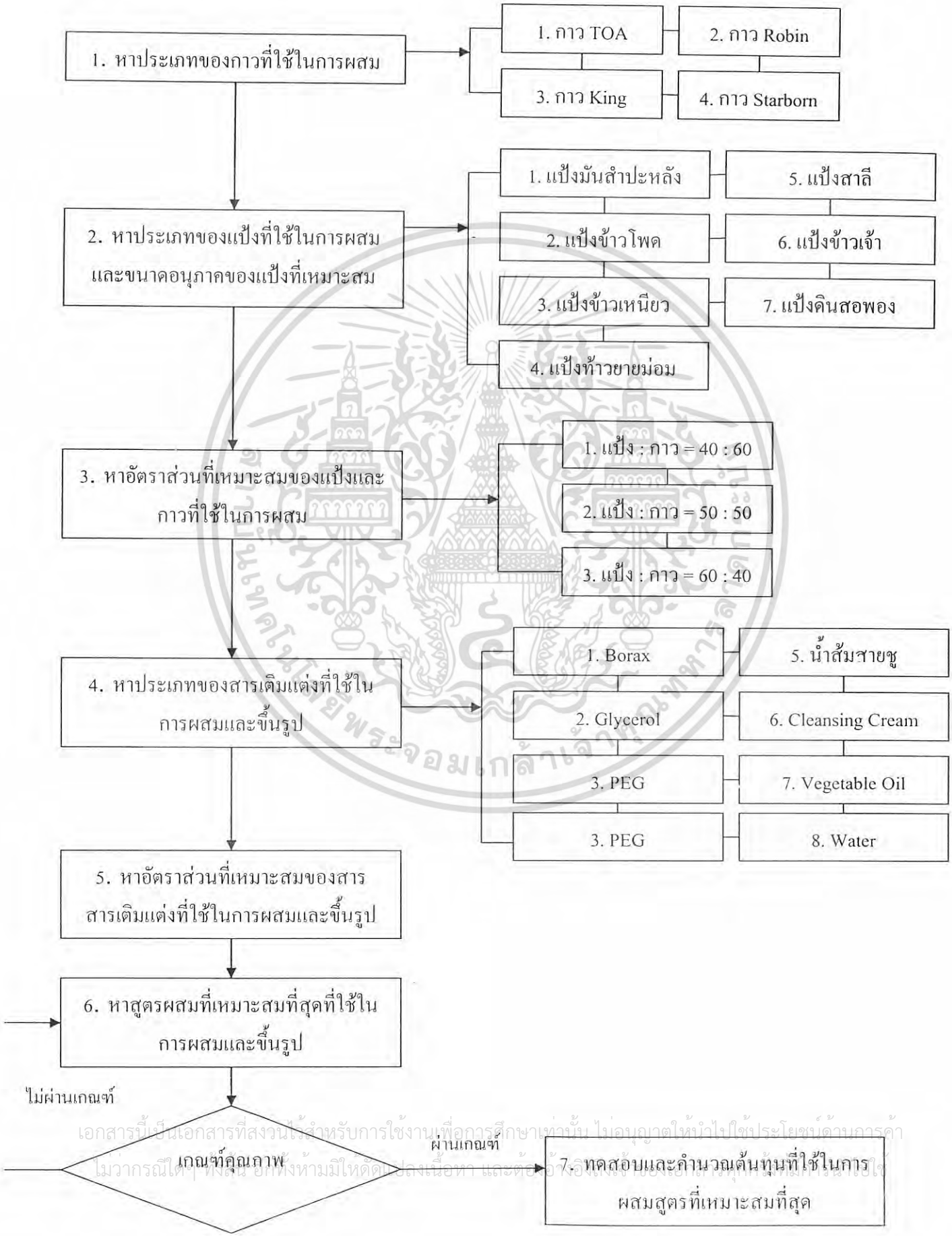
เตรียมสารเติมแต่งต่างๆ ชั่งน้ำหนักโดยคิดเทียบเป็นร้อยละของอัตราส่วนของแป้ง โดยที่สารเติมแต่งที่ใส่ทำหน้าที่ต่างๆ กัน สารตัวเติมที่ใช้คือ 1. Borax 2. Glycerol 3. PEG 4. Dioctylphtalate (DOP) 5. น้ำส้มสายชู 6. Cleansing Cream 7. Vegetable Oil 8. น้ำ

3.3.2.2 การผสมและปรับปรุง (Blending and Modification)

หลักการผสมและปรับปรุงทำโดยการทำตามลำดับเป็นขั้นๆ เพื่อที่จะหาองค์ประกอบที่ดีที่สุด ซึ่งใช้ข้อมูลที่ได้จากการทำการตรวจวิเคราะห์ย้อนหลัง โดยเกณฑ์ที่ใช้วัดคุณภาพของดินวิทยาศาสตร์เมื่อทำการเทียบกับดินวิทยาศาสตร์ที่มีการขายตามท้องตลาดคือ การนวดขึ้นรูป อัตราการแข็งตัว และ ลักษณะการแข็งตัวเมื่อทิ้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนการทดลอง (Flow Chart)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อธิบายการทำงานตามลำดับการทดลอง

1. หาประเภทของกาวที่ใช้ในการผสม

นำแป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวจ้าว แป้งข้าวโพด แป้งท้าวยายม่อม แป้งข้าวเหนียว แป้งสาลี และแป้งดินสอพองตามลำดับ ที่ผ่านการคัดแยกขนาดที่ 100 เมซ อัตราส่วน แป้ง : กาว เท่ากับ 50: 50 โดยกาวที่ใช้ในการผสมมีทั้งหมด 4 ตัว คือ กาวลาเท็กซ์ตรา TOA, Starbond, King, และ Robin ตามลำดับ

2. หาประเภทของแป้งที่ใช้ในการผสมและขนาดอนุภาคของแป้งที่เหมาะสม

2.1 ศึกษาประเภทของแป้ง

นำแป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวจ้าว แป้งข้าวโพด แป้งท้าวยายม่อม แป้งข้าวเหนียว แป้งสาลี และ แป้งดินสอพองตามลำดับ ที่ผ่านการคัดแยกขนาดที่ 100 เมซ อัตราส่วน แป้ง : กาว เท่ากับ 50: 50 โดยกาวที่ใช้ในการผสมคือ กาวลาเท็กซ์ตรา TOA ซึ่งได้จากการทดลองในขั้นที่ 1

2.2 ศึกษาขนาดอนุภาคของแป้ง

นำแป้งมันสำปะหลังทั้งที่ผ่านการคัดแยกขนาดอนุภาคที่ 100, 150, 200, 230 และไม่ได้ผ่านการคัดแยกขนาดอนุภาค ผสมกันกับ กาวลาเท็กซ์ตรา TOA

3. หาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งและกาวที่ใช้ในการผสม

นำแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการคัดแยกขนาดอนุภาคที่ 230 เมซ ผสมกันกับ กาวลาเท็กซ์ตรา TOA โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วน คือ

1. แป้ง : กาว = 40: 60
2. แป้ง : กาว = 50: 50
3. แป้ง : กาว = 60: 40

4. หาประเภทของสารเติมแต่งที่ใช้ในการผสมและขึ้นรูป

นำแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการคัดแยกขนาดอนุภาคที่ 230 เมซ ผสมกันกับ กาวลาเท็กซ์ตรา TOA ในอัตราส่วน แป้ง: กาว = 60: 40 กรัม และมีการเติมสารเติมแต่ง (Additive) เช่น 1. Borax 2. Glycerol 3. PEG 4. DOP 5. น้ำส้มสายชู 6. Cleansing Cream 7. Vegetable Oil 8. Water

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. หาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารเติมแต่งที่ใช้ในการผสมและขึ้นรูป

นำแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการคัดแยกขนาดอนุภาคที่ 230 เมช ผสมกันกับ กาวลาเท็กซ์ตรา TOA ในอัตราส่วน แป้ง: กาว = 60: 40 กรัม และมีการเติมสารเติมแต่ง (Additive) 1. Borax 2. Glycerol 3. PEG 4. DOP 5. น้ำส้มสายชู 6. Cleansing Cream 7. Vegetable Oil 8. Water

5.1 ศึกษาอัตราส่วนของสารเติมแต่งBorax

1. Borax 0.1%
2. Borax 0.2%
3. Borax 0.3%

5.2 ศึกษาอัตราส่วนของสารเติมแต่งGlycerol

1. Glycerol 1%
2. Glycerol 3%
3. Glycerol 5%
4. Glycerol 7%
5. Glycerol 10%

5.3 ศึกษาอัตราส่วนของสารเติมแต่งPEG

1. PEG 5%
2. PEG 10%
3. PEG 20%
4. PEG 40%

5.4 ศึกษาอัตราส่วนของสารเติมแต่งที่ทำหน้าที่พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer)

1. Glycerol 5%
2. PEG 5%
3. DOP 5%
4. Vegetable oil 5%
5. น้ำส้มสายชู 5%
6. Cleansing Cream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ศึกษาอัตราส่วนของสารเติมแต่งที่ผสมทั้งหมด

ตารางที่ 3.1 (1) แสดงการผสมสูตรดินวิทยาศาสตร์

สูตร	Borax (%)	Glycerol (%)	Water (g)	PEG (%)	DOP (%)	น้ำส้มสายชู (%)	Cleansing Cream (%)	Vegetable Oil (%)	ลักษณะ	หมายเหตุ
1	0.1		10							Borax ผง
2	0.2		10							Borax ผง
3		1								Borax ผง
4	0.3	0.5	2							Borax ละลายน้ำ
5		10								Borax ละลายน้ำ
6	0.3		10							Borax ละลายน้ำ
7	0.5	10	N/A							Borax ผง
8	1	1								Borax ผง
9	1	5								Borax ผง
10	0.3	1								Borax ผง
11	0.3	3								Borax ผง
12	0.3	5								Borax ผง
13	0.2	1								Borax ผง

ตารางที่ 3.1 (2) แสดงการผสมสูตรดินวิทยาศาสตร์

สูตร	Borax (%)	Glycerol (%)	Water (g)	PEG (%)	DOP (%)	น้ำส้มสายชู (%)	Cleansing Cream (%)	Vegetable Oil (%)	ลักษณะ	หมายเหตุ
14	0.2	3								Borax ผง
15	0.2	5								Borax ผง
16	0.1	1								Borax ผง
17	0.1	3								Borax ผง
18	0.1	5								Borax ผง
19	0.1		10							Borax ละลายน้ำ
20	0.3	0.5	1							Borax ละลายน้ำ
21	0.1	0.5	1							Borax ละลายน้ำ
22	0.1	0.5	2							Borax ละลายน้ำ
23	0.3	0.8		5						
24	0.3	0.5								

ตารางที่ 3.1 (3) แสดงการผสมสูตรดินวิทยาศาสตร์

สูตร	Borax (%)	Glycerol (%)	Water (g)	PEG (%)	DOP (%)	น้ำส้มสายชู (%)	Cleansing Cream (%)	Vegetable Oil (%)	ลักษณะ	หมายเหตุ
25	0.3		10							
26		1		7						
27		1		10						
28		5								แป้งข้าวโพด
29								5		แป้งข้าวโพด
30		2.5						2.5		
31								5		
32							5			
33						2.727 (g) [5 %]				แป้งมัน 5 g แป้งสาลี 50 g กาว TOA 47 g
34						2.727 (g) [5 %]				แป้งสาลี 55 g กาว TOA 47 g

ตารางที่ 3.1 (4) แสดงการผสมสูตรดินวิทยาศาสตร์

สูตร	Borax (%)	Glycerol (%)	Water (g)	PEG (%)	DOP (%)	น้ำส้มสายชู (%)	Cleansing Cream (%)	Vegetable Oil (%)	ลักษณะ	หมายเหตุ
35						5				
36	0.1									Borax ผง
37	0.2									Borax ผง
38	0.3									Borax ผง
39		1								
40		3								
41		5								
42	0.2		10							
43				5						
44				10						
45				20						
47				40						
48					5					

6. หาสูตรผสมที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการผสมและขึ้นรูป

การพิจารณาเกณฑ์ในการตัดสินว่าดินวิทยาศาสตร์มีคุณภาพเพียงพอหรือไม่นั้น ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน ในที่นี้เกณฑ์ที่ใช้จะเป็นเกณฑ์ที่ไว้สำหรับการทำดอกไม้ประดิษฐ์

เกณฑ์ที่ใช้

1. นวดขึ้นรูปเป็นดินวิทยาศาสตร์ได้
2. หลังจากทิ้งไว้ในพลาสติกห่ออาหาร 3 วันหลังจากขึ้นรูปเป็นดินวิทยาศาสตร์ต้องสามารถนำกลับมาปั้นใหม่ได้
3. อัตราการแข็งตัวช้า
4. ดินวิทยาศาสตร์เมื่อนำมาปั้นใช้งาน ต้องมีความยืดหยุ่น
5. ดินวิทยาศาสตร์เมื่อปั้นทิ้งไว้ 1 วัน ชิ้นงานต้องไม่แตก และ คงความยืดหยุ่นได้

3.3.3 การทดสอบ (Testing)

ทำการทดสอบเหมือนการทำตรวจวิเคราะห์ย้อนหลัง (Reengineering) ในแต่ละสูตรที่ผสมได้ซึ่งเป็นสูตรที่ผ่านเกณฑ์ที่ตั้งไว้ว่าดีตามลำดับ ดังนี้

3.3.3.1 การทดสอบการละลาย (Soluble Analysis)

3.3.3.2 การทดสอบความเป็นกรดด่าง (pH testing)

3.3.3.3 การทดสอบความชื้น

3.3.3.4 การทดสอบอัตราการระเหย

3.3.3.5 การทดสอบโดยใช้เทคนิค Dry Solid Content

3.3.3.6 การตรวจวิเคราะห์ทางความร้อนโดยการใช้เทคนิค Thermal Analysis

3.3.3.7 การตรวจวิเคราะห์โครงสร้างโดยการใช้เทคนิค Infrared Spectroscopy

3.3.3.8 การทดสอบความหนืด (Mooney viscosity)

3.3.3.9 การทดสอบความแข็งกด (Hardness testing)

3.3.3.10 การทดสอบการกระแทก (Impact testing, (Izod))

3.3.3.11 การทดสอบเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD)

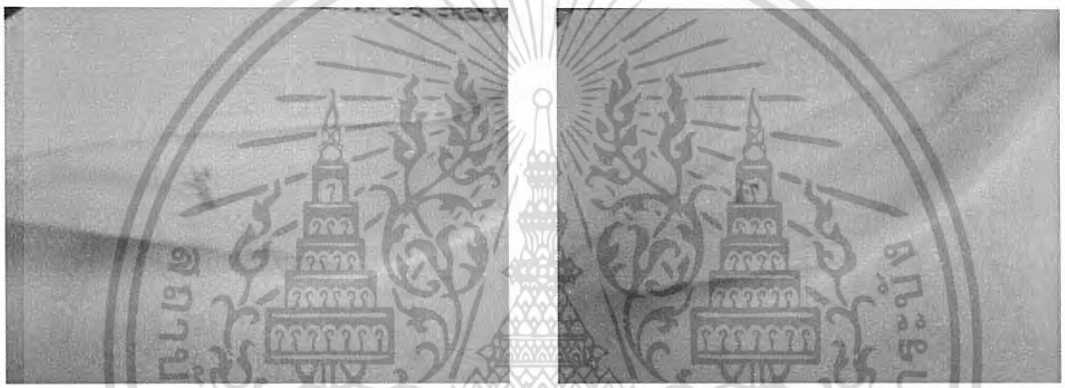
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

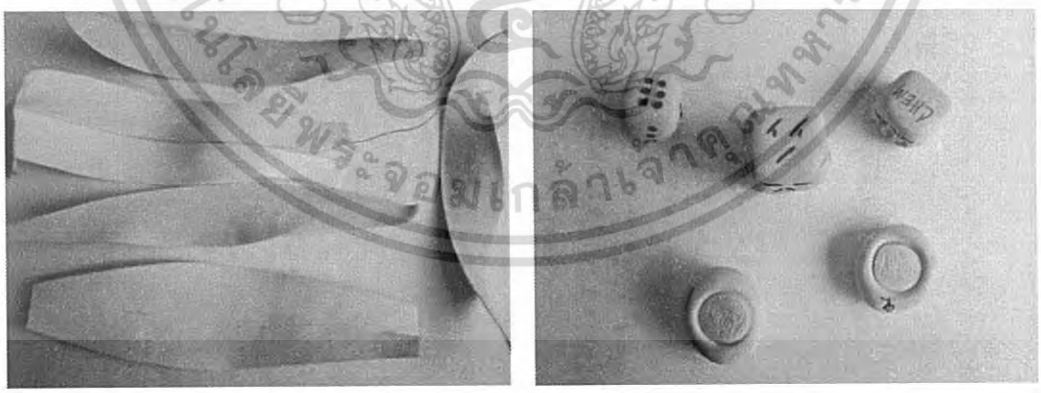
ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 ศึกษาการผลการผสมสูตรดินวิทยาศาสตร์

จากการทดลองตรวจวิเคราะห์ย้อนหลัง พบว่า ลักษณะของดินวิทยาศาสตร์ที่ใช้เป็นมาตรฐานต้นแบบ (ดินญี่ปุ่น และ ดินไทย) จะมีองค์ประกอบหลักสำคัญ คือ แป้ง (Starch), กาวลาเท็กซ์ (Polyvinyl acetate) น้ำ และ สารเติมแต่ง เมื่อนำลักษณะขององค์ประกอบหลักมาทำการทดสอบและทำการผสมสูตร ดินวิทยาศาสตร์ โดยการเปลี่ยนแปลง ชนิด และ อัตราส่วนขององค์ประกอบหลัก จะได้สูตรการผสมดินวิทยาศาสตร์ทั้งหมดดังนี้



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะการขึ้นกลีบรูปดอกไม้ของดินญี่ปุ่น และดินไทยตามลำดับ



รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะการขึ้นกลีบดอกไม้และการปั่นสิ่งประดิษฐ์ขนาดเล็กของดินที่ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ผลการทดลองที่ได้จากการผสมสูตรดินวิทยาศาสตร์

ตารางที่ 4.1 (1) แสดงผลการผสมสูตรดินวิทยาศาสตร์

สูตร	Borax (%)	Glycerol (%)	Water (g)	PEG (%)	DOP (%)	น้ำส้มสายชู (%)	Cleansing Cream (%)	Vegetable Oil (%)	ลักษณะ	หมายเหตุ
1	0.1		10						ติดมือ เหนียวกาว นวดขึ้นรูปไม่ได้	Borax ผง
2	0.2		10						ติดมือ เหนียวกาว นวดขึ้นรูปไม่ได้	Borax ผง
3		1							ติดมือ เหนียวกาว นวดขึ้นรูปไม่ได้	Borax ผง
4	0.3	0.5	2						ติดมือ เหนียวกาว นวดขึ้นรูปไม่ได้	Borax ละลายน้ำ
5		10							ติดมือ เหนียวกาว นวดขึ้นรูปไม่ได้	Borax ละลายน้ำ
6	0.3		10						ติดมือ เหนียวกาว นวดขึ้นรูปไม่ได้	Borax ละลายน้ำ
7	0.5	10	N/A						นวดไม่ได้ ดึงยืดยาก เหนียว	Borax ผง
8	1	1							ร่วนเป็นจุด ๆ ดึงยืดไม่ได้ ปั้นไม่ได้	Borax ผง
9	1	5							เหนียว ดึงยืดได้มาก มีลักษณะคล้ายยาง แต่เมื่อดึงยืดไม่เกิดการหดกลับ มีลักษณะพื้นผิวไม่เรียบ	Borax ผง
10	0.3	1							นวดเป็นก้อนได้ แต่ไม่สามารถปั้นได้ แข็งเร็ว	Borax ผง
11	0.3	3							เหนียวนวดเป็นก้อนได้ ไม่สามารถปั้นขึ้นรูปได้ดี แข็งเร็ว	Borax ผง
12	0.3	5							เหนียวนวดเป็นก้อนได้ ไม่สามารถปั้นขึ้นรูปได้ดี แข็งเร็ว	Borax ผง
13	0.2	1							เหนียวนวดเป็นก้อนได้ ไม่สามารถปั้นขึ้นรูปได้ดี แข็งเร็ว	Borax ผง

ตารางที่ 4.1 (2) แสดงผลการผสมสูตรดินวิทยาศาสตร์

สูตร	Borax (%)	Glycerol (%)	Water (g)	PEG (%)	DOP (%)	น้ำส้มสายชู (%)	Cleansing Cream (%)	Vegetable Oil (%)	ลักษณะ	หมายเหตุ
14	0.2	3							นวดเป็นก้อนได้ แต่ไม่สามารถปั้นขึ้นรูปได้ดี แข็งเร็ว	Borax ผง
15	0.2	5							นวดเป็นก้อนได้ แต่ไม่สามารถปั้นขึ้นรูปได้ดี แข็งเร็ว	Borax ผง
16	0.1	1							นวดเป็นก้อนได้ แต่ไม่สามารถปั้นขึ้นรูปได้ดี แข็งเร็ว	Borax ผง
17	0.1	3							นวดเป็นก้อนได้ แต่ไม่สามารถปั้นขึ้นรูปได้ดี แข็งเร็ว	Borax ผง
18	0.1	5							นวดเป็นก้อนได้ แต่ไม่สามารถปั้นขึ้นรูปได้ดี แข็งเร็ว	Borax ผง
19	0.1		10						นวดเป็นก้อนได้ ปั้นขึ้นรูปได้ดี แข็งเร็ว เก็บได้ไม่เกิน 2 อาทิตย์ หักง่ายถ้าบางมาก	Borax ละลายน้ำ
20	0.3	0.5	1						นวดเป็นก้อนได้ ปั้นขึ้นรูปได้ดี แข็งเร็ว เก็บได้ไม่เกิน 2 อาทิตย์ หักง่ายถ้าบางมาก	Borax ละลายน้ำ
21	0.1	0.5	1						นวดแล้วเกิดลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ แตก ปั้นไม่ดี	Borax ละลายน้ำ
22	0.1	0.5	2						นวดแล้วเกิดลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ แตก ปั้นไม่ดี	Borax ละลายน้ำ
23	0.3	0.8		5					เหนียวตอนนวด นวดเป็นก้อนได้ ปั้นขึ้นรูปได้ดี แข็งเร็ว เก็บได้ไม่เกิน 2 อาทิตย์ หักง่ายถ้าบางมาก	
24	0.3	0.5							นวดเป็นก้อนได้ ปั้นขึ้นรูปได้ดี แข็งเร็ว เก็บได้ไม่เกิน 2 อาทิตย์ หักง่ายถ้าบางมาก	

ตารางที่ 4.1 (3) แสดงผลการผสมสูตรดินวิทยาศาสตร์

สูตร	Borax (%)	Glycerol (%)	Water (g)	PEG (%)	DOP (%)	น้ำส้มสายชู (%)	Cleansing Cream (%)	Vegetable Oil (%)	ลักษณะ	หมายเหตุ
25	0.3		10						นวดเป็นก้อนได้ ปั้นขึ้นรูปได้ดี เก็บได้ประมาณ 2 อาทิตย์ นิ่ม ผิวเนียน	
26		1		7					นวดเป็นก้อนได้ นิ่ม ผิวเนียน ลื่น แฉะมือ ค่อนข้างเหลว	
27		1		10					นวดเป็นก้อนไม่ได้ ลื่น แฉะมือ เหลว	
28		5							นวดได้ แต่ทิ้งไว้ 1 วัน แล้วจะรุ่ย นำกลับมาปั้นขึ้นรูปใหม่ได้ยาก ไม่ดี	แป้งข้าวโพด
29								5	นวดได้ แต่ทิ้งไว้ 1 วัน แล้วจะรุ่ย นำกลับมาปั้นขึ้นรูปใหม่ได้ยาก ไม่ดี	แป้งข้าวโพด
30		2.5						2.5	นวดได้ แต่รุ่ย ปั้นได้ไม่ดี แข็งเร็ว แตก	
31								5	นวดได้ แต่รุ่ย ปั้นได้ไม่ดี แข็งเร็ว แตก	
32							5		นวดได้ ปั้นได้ นิ่ม แตก แข็งเร็ว	
33						2.727 (g) [5 %]			นวดได้ นิ่มคล้ายหมากฝรั่ง ปั้นไม่ดี คืนรูปเร็ว ขึ้นรูปไม่ได้	แป้งมัน 5 g แป้งสาลี 50 g กาว TOA 47 g
34						2.727 (g) [5 %]			นวดได้ นิ่มคล้ายหมากฝรั่ง ปั้นไม่ดี คืนรูปเร็ว ขึ้นรูปไม่ได้	แป้งสาลี 55 g กาว TOA 47 g

ตารางที่ 4.1 (4) แสดงผลการผสมสูตรดินวิทยาศาสตร์

สูตร	Borax (%)	Glycerol (%)	Water (g)	PEG (%)	DOP (%)	น้ำส้มสายชู (%)	Cleansing Cream (%)	Vegetable Oil (%)	ลักษณะ	หมายเหตุ
35						5			นวดได้ แต่รุ่ย ปั้นได้ไม่ดี แข็งเร็ว แตกง่าย	
36	0.1								รุ่ย นวดไม่ค่อยดี ปั้นไม่ได้แตก แข็งเร็ว	Borax ผง
37	0.2								รุ่ย นวดไม่ค่อยดี ปั้นไม่ได้แตก แข็งเร็ว	Borax ผง
38	0.3								รุ่ย นวดไม่ค่อยดี ปั้นไม่ได้แตก แข็งเร็ว	Borax ผง
39		1							นวดได้ ปั้นได้ แตก แข็งเร็ว	
40		3							นวดได้ ปั้นได้ นิ่ม แตก แข็งเร็ว	
41		5							นวดได้ ปั้นได้ดี นิ่ม แตก แข็งเร็ว	
42	0.2		10						นวดได้ ปั้นได้ดี นิ่ม แข็งเร็ว เก็บไว้ได้นานประมาณ 2 อาทิตย์ ก็ยังมีลักษณะนิ่มนวดสักพักก็ยังปั้นได้	
43				5					นวดได้ ปั้นได้ดี นิ่ม แตก แข็งเร็ว	
44				10					นวดได้ ปั้นได้ดี นิ่ม แตก แข็งเร็ว	
45				20					นวดได้ยาก ค่อนข้างเหลว ปั้นได้ดี นิ่ม แตก	
47				40					นวดได้ยาก เหลวมาก ปั้นไม่ค่อยดี นิ่ม แตก	
48					5				นวดได้ ปั้นได้ นิ่ม แตก แข็งเร็ว	

จากสูตรการผสมดินวิทยาศาสตร์ ทั้งหมด 44 สูตร พบว่าได้สูตรการผสมที่มีลักษณะผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ด้วยกันทั้งหมด 3 สูตร ดังนี้

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการผสมสูตรดินวิทยาศาสตร์ที่มีลักษณะผ่านเกณฑ์

สูตร	แป้งมันสำปะหลัง (g)	กาวลาเท็กซ์ (g)	Borax (%)	Glycerol (%)	PEG (%)	Water (g)	ลักษณะ
สูตร 3	60	40		1	5		นวดเป็นก้อนได้ ปั้นขึ้นรูปได้ดี เก็บได้ประมาณ 2 อาทิตย์ นิ่ม ผิวเนียน
สูตร 4	60	40	0.3	0.5		2	นวดเป็นก้อนได้ ปั้นขึ้นรูปได้ดี แข็งเร็ว เก็บได้ไม่เกิน 2 อาทิตย์ หักง่ายถ้าบางมาก
สูตร 5	60	40		7			นวดได้ ปั้นได้ดี นิ่ม แข็งเร็ว เก็บไว้ได้นานประมาณ 2 อาทิตย์ ก็ยังมีลักษณะนิ่ม หากนวดสักพักจะสามารถปั้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การตรวจวิเคราะห์และทดสอบ (Analysis and Testing)

4.2.1 การทดสอบการละลาย (Soluble Analysis)

1. ทดสอบการละลายน้ำที่ อุณหภูมิห้อง (30 ° C) และที่อุณหภูมิ 95 ° C

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการละลายของตัวอย่างดินวิทยาศาสตร์ในน้ำ

ดินวิทยาศาสตร์	ลักษณะการละลาย	
	อุณหภูมิห้อง 30 °C	อุณหภูมิ 95 °C
ดินญี่ปุ่น	ละลายได้เล็กน้อย (แขวนลอย สารละลายมีสีขาวขุ่นเล็กน้อย)	ละลายได้เล็กน้อย (มีตะกอนขาวขุ่นเล็กน้อย)
ดินไทย	ละลายได้เล็กน้อย (แขวนลอย สารละลายมีสีขาวขุ่นเล็กน้อย)	ละลายได้เล็กน้อย (มีตะกอนขาวขุ่นเล็กน้อย)
ดินสูตร 3	ละลายได้ดี(แขวนลอย สารละลายมีสีขาวขุ่นมาก)	ละลายได้ดี(แขวนลอย สารละลายมีสีขาวขุ่นมาก)
ดินสูตร 4	ละลายได้ดี(แขวนลอย สารละลายมีสีขาวขุ่นมาก)	ละลายได้ดี(แขวนลอย สารละลายมีสีขาวขุ่นมาก)
ดินสูตร 5	ละลายได้ดี(แขวนลอย สารละลายมีสีขาวขุ่นมาก)	ละลายได้ดี(แขวนลอย สารละลายมีสีขาวขุ่นมาก)

2. ทดสอบการละลายในกรดไฮโดรคลอริก 0.5 โมลาร์ (0.5 M HCl)

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการละลายของตัวอย่างดินวิทยาศาสตร์ในกรดไฮโดรคลอริก 0.5 โมลาร์

ดินวิทยาศาสตร์	ลักษณะการละลาย	หมายเหตุ
ดินญี่ปุ่น	ละลายได้เล็กน้อย	แขวนลอย สารละลายมีสีขาวขุ่นเล็กน้อย
ดินไทย	ละลายได้เล็กน้อย	แขวนลอย สารละลายมีสีขาวขุ่นเล็กน้อย
ดินสูตร 3	ละลายได้ดี	แขวนลอย สารละลายมีสีขาวขุ่นมาก
ดินสูตร 4	ละลายได้ดี	แขวนลอย สารละลายมีสีขาวขุ่นมาก
ดินสูตร 5	ละลายได้ดี	แขวนลอย สารละลายมีสีขาวขุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทดสอบการละลายในด่าง (NaOH 5 %)

ตารางที่ 4.5 แสดงการละลายของตัวอย่างดินวิทยาศาสตร์ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ5

ดินวิทยาศาสตร์	ลักษณะการละลาย	หมายเหตุ
ดินญี่ปุ่น	ละลายได้ดี	แขวนลอย สารละลายมีสีขาวขุ่น
ดินไทย	ละลายได้ดี	แขวนลอย สารละลายมีสีขาวขุ่น
ดินสูตร 3	ละลาย	
ดินสูตร 4	ละลาย	
ดินสูตร 5	ละลาย	แขวนลอย สารละลายมีสีขาวขุ่นน้อย

4. ทดสอบการละลายในสารละลายอะซีโตน(Acetone) เกรดการค้า MW= 58.08

ตารางที่ 4.6 แสดงการละลายของตัวอย่างดินวิทยาศาสตร์ในสารละลายอะซีโตน MW= 58.08

ดินวิทยาศาสตร์	ลักษณะการละลาย	หมายเหตุ
ดินญี่ปุ่น	ละลายได้เล็กน้อย	แขวนลอย สารละลายมีสีขาวขุ่นเล็กน้อย
ดินไทย	ละลายได้เล็กน้อย	แขวนลอย สารละลายมีสีขาวขุ่นเล็กน้อย
ดินสูตร 3	ละลายได้เล็กน้อย	แขวนลอย มีตะกอน สารละลายค่อนข้างใส
ดินสูตร 4	ละลายได้เล็กน้อย	แขวนลอย มีตะกอน สารละลายค่อนข้างใส
ดินสูตร 5	ละลายได้เล็กน้อย	แขวนลอย มีตะกอน สารละลายค่อนข้างใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทดสอบการละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ 80% (Ethyl Alcohol)

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการละลายของตัวอย่างดินวิทยาศาสตร์ในเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 80

ดินวิทยาศาสตร์	ลักษณะการละลาย	หมายเหตุ
ดินญี่ปุ่น	ละลายได้เล็กน้อย	แขวนลอย สารละลายมีสีขาวขุ่นมาก
ดินไทย	ละลายได้เล็กน้อย	แขวนลอย สารละลายมีสีขาวขุ่นเล็กน้อย
ดินสูตร 3	ละลายได้เล็กน้อย	แขวนลอย สารละลายมีสีขาวขุ่น
ดินสูตร 4	ละลายได้เล็กน้อย	แขวนลอย สารละลายมีสีขาวขุ่น
ดินสูตร 5	ละลายได้เล็กน้อย	แขวนลอย สารละลายมีสีขาวขุ่น

จากผลการทดสอบการละลายในตัวทำละลายต่างๆ ได้แก่ น้ำที่อุณหภูมิห้องและที่ 95°C, HCl 0.5 M, NaOH 5 M, Acetone และ Ethyl alcohol 80% พบว่าลักษณะของการละลายจะเป็นในลักษณะที่ละลายในรูปแบบของสารแขวนลอย คือมีบางส่วนที่สามารถละลายน้ำได้ออกไป และมีบางส่วนที่มีความสามารถละลายน้ำได้น้อยคงอยู่ และจากจุดนี้แสดงได้ว่าทุกๆ ดินวิทยาศาสตร์จะมีลักษณะคล้ายกัน

4.2.2 การทดสอบความเป็นกรดด่าง (pH testing)

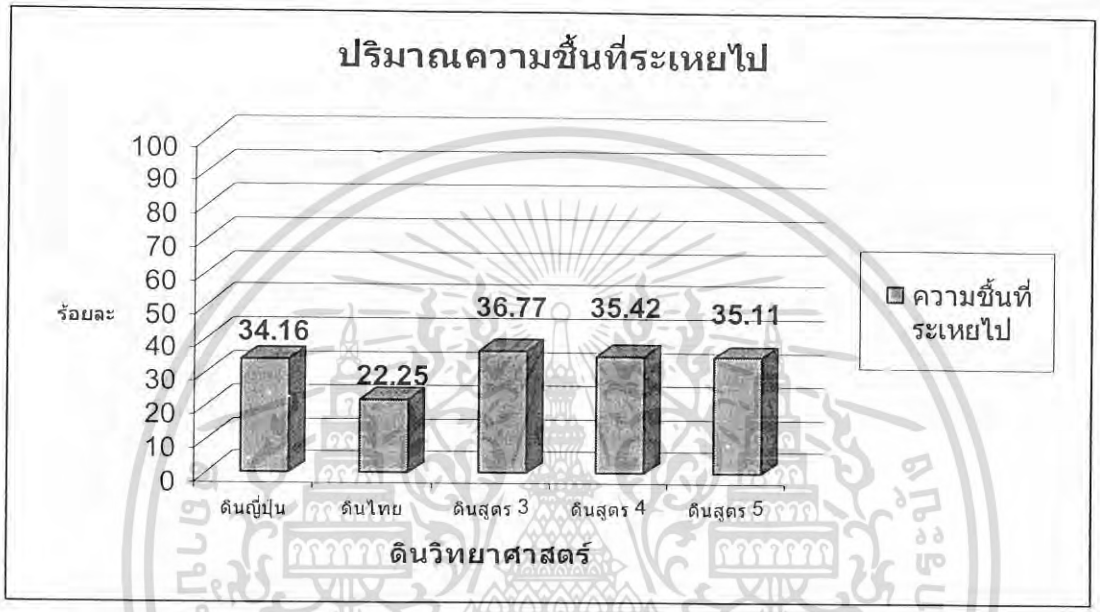
ตารางที่4.8 แสดงผลค่าความเป็นกรดด่างของดินวิทยาศาสตร์

ดินวิทยาศาสตร์	pH
ดินญี่ปุ่น	ประมาณ 7 (กลาง)
ดินไทย	ประมาณ 7 (กลาง)
ดินสูตร 3	ประมาณ 7 (กลาง)
ดินสูตร 4	ประมาณ 7 (กลาง)
ดินสูตร 5	ประมาณ 7 (กลาง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบการตรวจวัดค่า pH ของดินวิทยาศาสตร์เมื่อละลายในน้ำ พบว่ามีค่า pH อยู่ในช่วงที่มีความเป็นกลาง แสดงให้เห็นว่าในองค์ประกอบของดินวิทยาศาสตร์ที่เป็นต้นแบบน่าจะมีไม่มีสารเติมแต่งที่มีลักษณะเป็นกรดหรือด่าง รวมทั้งองค์ประกอบหลักที่อยู่ภายในดินวิทยาศาสตร์ด้วย

4.2.3 การทดสอบความชื้น (Moisture Content Testing)

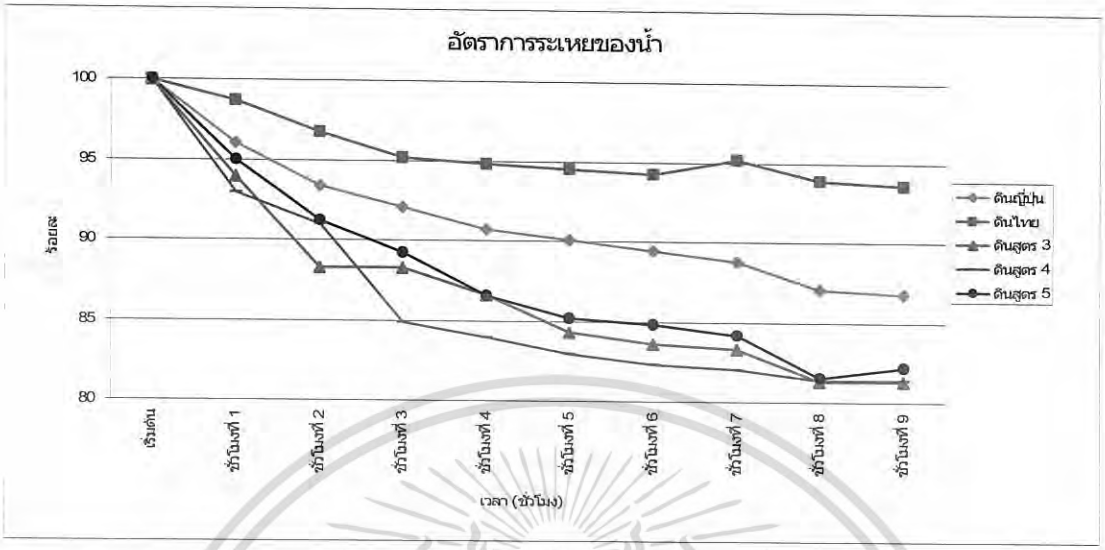


รูปที่ 4.3 แสดงปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดินวิทยาศาสตร์ที่อุณหภูมิ 100 °C

จากผลการทดสอบการวัดความชื้น แสดงดังรูปที่ 4.3 พบว่า ปริมาณของความชื้นที่ระเหยออกไปของดินวิทยาศาสตร์ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิ 100° C พบว่า ดินไทยจะมีปริมาณของความชื้นที่ระเหยออกไปน้อยที่สุด ตามด้วยดินญี่ปุ่นและดินสูตรผสม แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบภายในดินวิทยาศาสตร์มีความสามารถในการเก็บรักษาความชื้นหรือ น้ำ ได้ดี ซึ่งส่วนที่มีความสามารถในการเก็บรักษาความชื้นคือ แป้ง, กาว (PVAc) และสารตัวเติม ที่เป็นปัจจัยหลัก และจากจุดนี้เองแสดงให้เห็นว่า ปัจจัยหลักที่เป็นตัวเก็บความชื้นของดินสูตรผสมน่าจะมีลักษณะที่คล้ายกับดินญี่ปุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

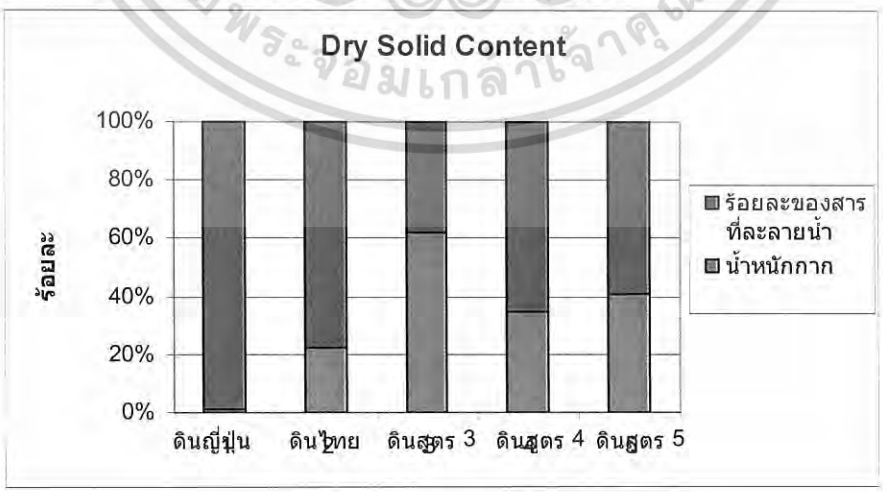
4.2.4 การทดสอบอัตราการระเหย (Water Retention Testing)



รูปที่4.4 แสดงอัตราการระเหยของดินวิทยาศาสตร์ที่สัมพันธ์กับเวลาและน้ำหนัก

เมื่อทำการทดสอบวัดอัตราการระเหยที่อุณหภูมิ 40 ˚C ภายในเวลา 9 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 4.4 พบว่าดินไทยจะมีปริมาณความชื้นที่ระเหยไปน้อยมากเมื่อเทียบกับดินญี่ปุ่นและดินสูตรผสม ในขณะที่ดินญี่ปุ่นจะมีอัตราการระเหยที่เป็นแนวโน้มค่อยๆ ลดลงแล้วทรงตัว ส่วนดินสูตรผสมทั้ง 3 สูตร จะมีอัตราการระเหยในช่วง 3-4 ชั่วโมง เร็วมาก ปริมาณของความชื้นที่ระเหยออกไปมีปริมาณมากและจากนั้นจะเริ่มทรงตัว จากจุดนี้เป็นการแสดงให้เห็นว่า องค์ประกอบที่มีอยู่ในดินไทยสามารถเก็บความชื้นได้ดี ทำให้แข็งตัวได้ช้า และด้วยเหตุนี้ ชิ้นงานที่ทำจากดินสูตรผสมจะแห้งและแข็งเร็วที่สุด

4.2.5 การตรวจวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Dry Solid

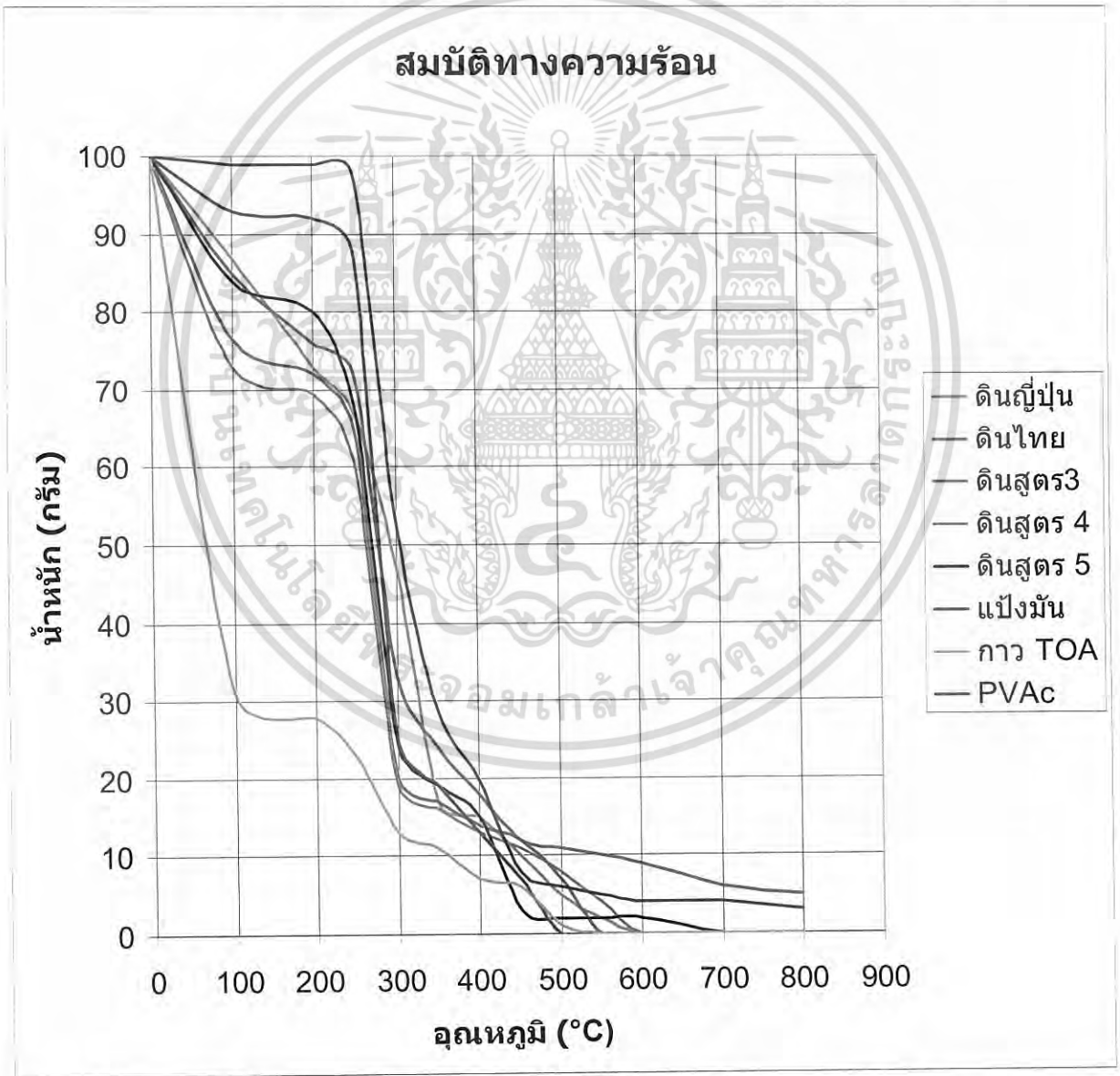


รูปที่4.5 แสดงร้อยละของสารที่ละลายน้ำและน้ำหนักกากของตัวอย่างดินวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

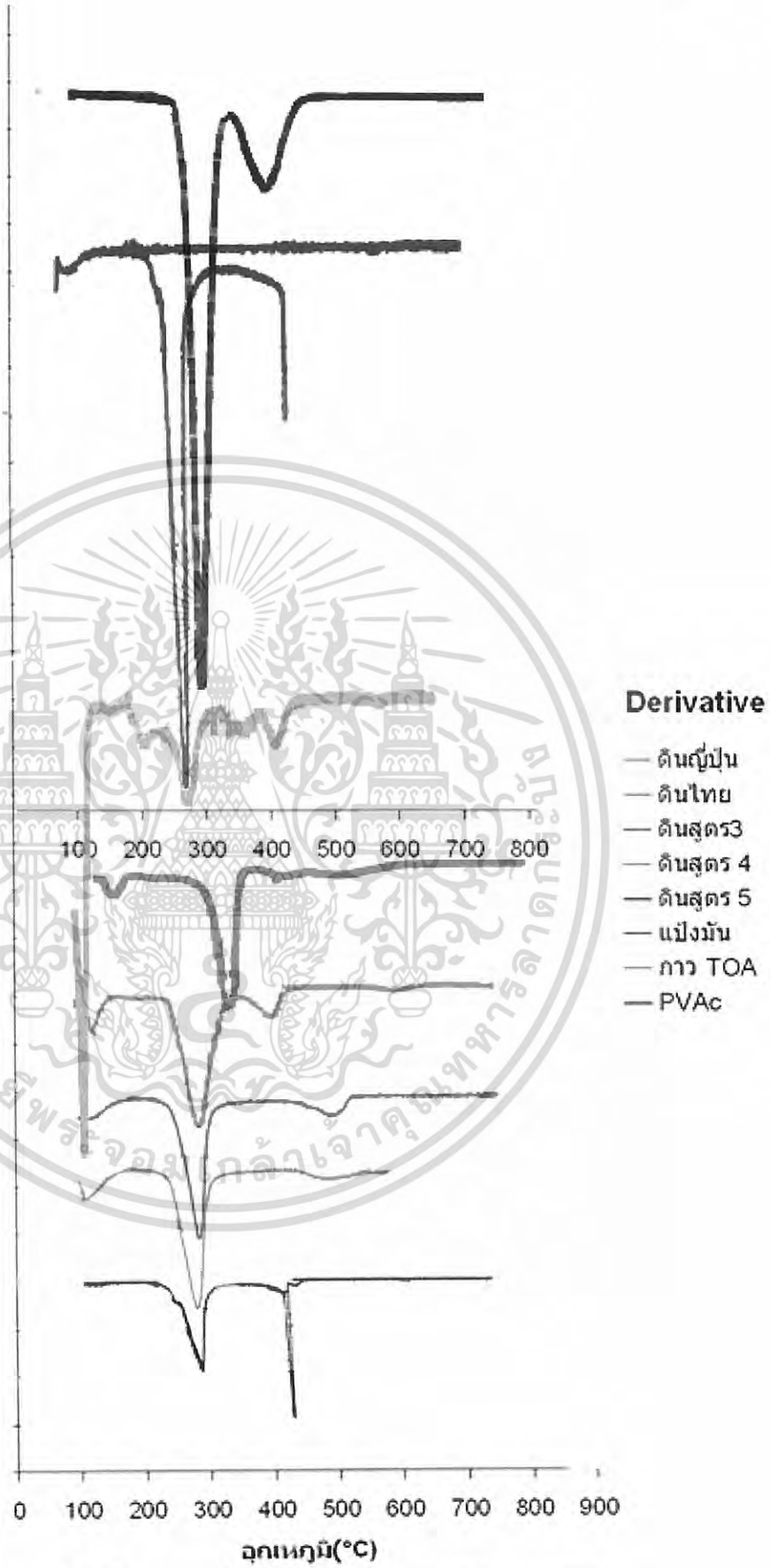
จากการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.5 พบว่า ดินญี่ปุ่น จะมีค่าร้อยละของสารที่ละลายน้ำอยู่มาก และน้ำหนักของกากในดินญี่ปุ่นจะมีค่าน้อยมาก ทำให้ในการทดสอบกากของดินญี่ปุ่นเกือบที่จะละลายน้ำหมด ส่วนดินไทยและดินสูตรผสมมีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากอยู่ในช่วงที่เปลี่ยนแปลงค่าได้ จากจุดนี้เองแสดงให้เห็นว่า ส่วนประกอบที่เป็นแป้งของดินญี่ปุ่นน่าจะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและขนาดอนุภาคที่เล็กมากๆ ทำให้สามารถที่จะละลายปนไปกับน้ำได้มาก ซึ่งในขณะที่แป้งในดินสูตรผสมน่าจะมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักโมเลกุลสูง จึงมีกากเหลือมาก

4.2.6 การตรวจวิเคราะห์ทางความร้อนโดยการใช้เทคนิค Thermal Analysis



รูปที่4.6แสดงเทอร์โมแกรมของดินวิทยาศาสตร์ แป้งมันสำปะหลัง กาวTOA และ PVAc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.7 แสดงค่า Derivative ของดินวิทยาศาสตร์ แป้งมันสำปะหลัง กาวTOA และ PVAc

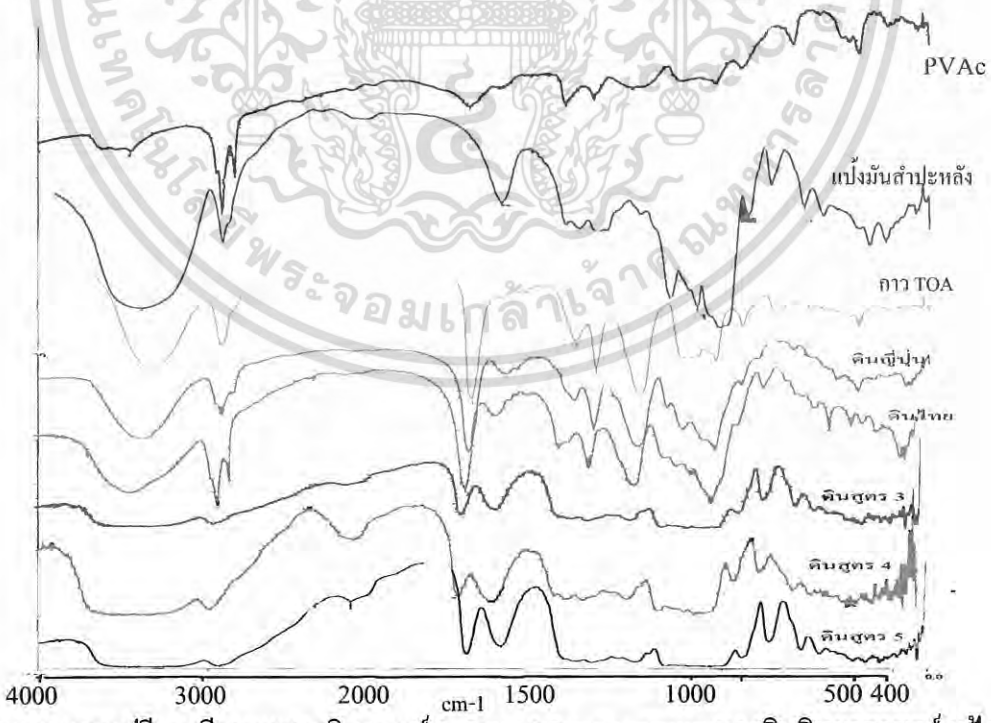
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบTGA แสดงดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 พบว่า ดินวิทยาศาสตร์ทั้งเกรดการค้า (ดินญี่ปุ่น และ ดินไทย) และดินวิทยาศาสตร์สูตรผสม (สูตร 3, 4 และ 5) มีอุณหภูมิการสลายตัวอยู่ในช่วง 200-350 °C ซึ่งพบว่าเป็นช่วงอุณหภูมิการสลายตัวเดียวกับแป้ง กาว TOA และ PVAc ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า องค์ประกอบหลักว่าของดินวิทยาศาสตร์คือ แป้ง และ PVAc อย่างแน่นอน เพราะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงการสลายตัวเดียวกัน เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของดินวิทยาศาสตร์โดยละเอียดโดยเทคนิค TGA พบว่า ที่ ช่วงอุณหภูมิ 80- 100 °C เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของ น้ำ ซึ่งมีปริมาณอยู่ร้อยละ 20-30 ของดินวิทยาศาสตร์ ที่อุณหภูมิ 200-350 °C เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของ แป้ง และ กาว ซึ่งมีปริมาณอยู่ร้อยละ 60-70 ของดินวิทยาศาสตร์

เมื่อทำการวิเคราะห์Derivativeเปรียบเทียบแต่ละดินวิทยาศาสตร์พบว่า ดินญี่ปุ่น จะมีอุณหภูมิในช่วงการสลายตัวของแป้ง และ PVAc ที่ 330 °C ซึ่งดินไทยและดินวิทยาศาสตร์สูตรผสมมีอุณหภูมิการสลายตัวของแป้ง และ PVAc ที่ 280 °C ปรากฏอยู่ในจุดเดียวกันซึ่งใน Derivative ในจุดนี้จะประกอบไปด้วยแป้งมันสำปะหลัง และ กาว PVAc ซึ่งมีอุณหภูมิในช่วงการสลายตัวที่ 280°C และ 300 °C ตามลำดับ

จากจุดนี้เองแสดงให้เห็นว่า ดินไทยและดินวิทยาศาสตร์สูตรผสมมีองค์ประกอบของกาว PVAc ที่ใกล้เคียงกัน แต่จะไม่มีส่วนที่คล้ายกันกับของดินญี่ปุ่น ซึ่งดินญี่ปุ่นจะมีส่วนประกอบของแป้งและPVAc ที่แตกต่างกันกับดินสูตรผสม

4.2.7 การตรวจวิเคราะห์โครงสร้างโดยการใช้เทคนิค Infrared Spectroscopy



รูปที่4.8 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ Infrared Spectroscopy ของดินวิทยาศาสตร์ แป้งมันสำปะหลัง กาวTOA และ PVAc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.9 แสดงคำอธิบายหมู่ฟังก์ชัน

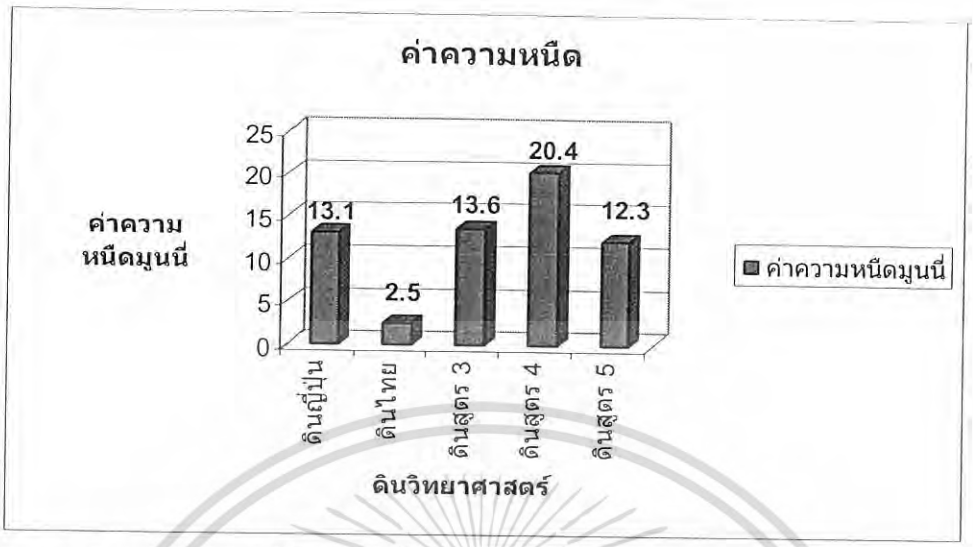
ความยาวคลื่น (Wave number) (cm^{-1})	หมู่ฟังก์ชัน
3300-3500	Hydroxyl group (-OH)
2900	C-C Stretching
2100	Cyanine group (-CN)
1800	Ester group (-COO)
1700	Carbonyl group (C=O)
1645	C=C Stretching
1400	C-H (CH_2)
1375	C-H (CH_3)

จากผลการทดสอบ FTIR แสดงดังรูปที่ 4.8 พบว่า ที่ ช่วงความยาวคลื่นที่ 3300-3500 cm^{-1}เป็น หมู่ฟังก์ชันของHydroxyl group (-OH) ซึ่งเป็นของแป้งเพราะว่าแป้งมีองค์ประกอบของ -OH และจะเห็นได้ว่าในดินวิทยาศาสตร์จะมีหมู่ฟังก์ชันนี้ทั้งหมด ส่วนที่ 2100 cm^{-1} จะเป็นหมู่ฟังก์ชันของ Cyanine group (-CN) ซึ่งมีองค์ประกอบของเพราะว่าแป้งที่นำมาใช้คือแป้งมันสำปะหลังจะมีส่วนประกอบของ Cyanine ร่วมอยู่ซึ่งจาก FTIR Spectrum จะเห็นได้ว่าดินสูตรผสมทั้งหมดจะมีความถี่ตรงช่วงนี้ทุกสูตร และจะเห็นได้ว่าดินญี่ปุ่นและดินไทยจะมีลักษณะของ spectrum ที่เหมือนกัน ส่วนที่ 1800-1700 cm^{-1} จะเป็นหมู่ฟังก์ชันของ Ester group (-COO) และ Carbonyl group (C=O) ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของ Polyvinyl Acetate (PVAc) ซึ่งจะเห็นได้ว่าในทุกดินวิทยาศาสตร์จะมีหมู่ฟังก์ชันนี้อยู่ด้วยกันทุกสูตร

จากจุดนี้การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน แสดงให้เห็นว่า องค์ประกอบหลัก คือ แป้ง และ PVAc และผลที่ได้ยังบอกให้ทราบว่าแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในการผสมสูตรดินวิทยาศาสตร์ มีปรากฏในดินวิทยาศาสตร์สูตรผสม และทั้งดินญี่ปุ่นและดินไทยจะมี spectrum ที่เหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.8 การทดสอบความหนืด (Mooney viscosity)



รูปที่4.9 แสดงค่าความหนืดมูนนี่ของตัวอย่างดินวิทยาศาสตร์

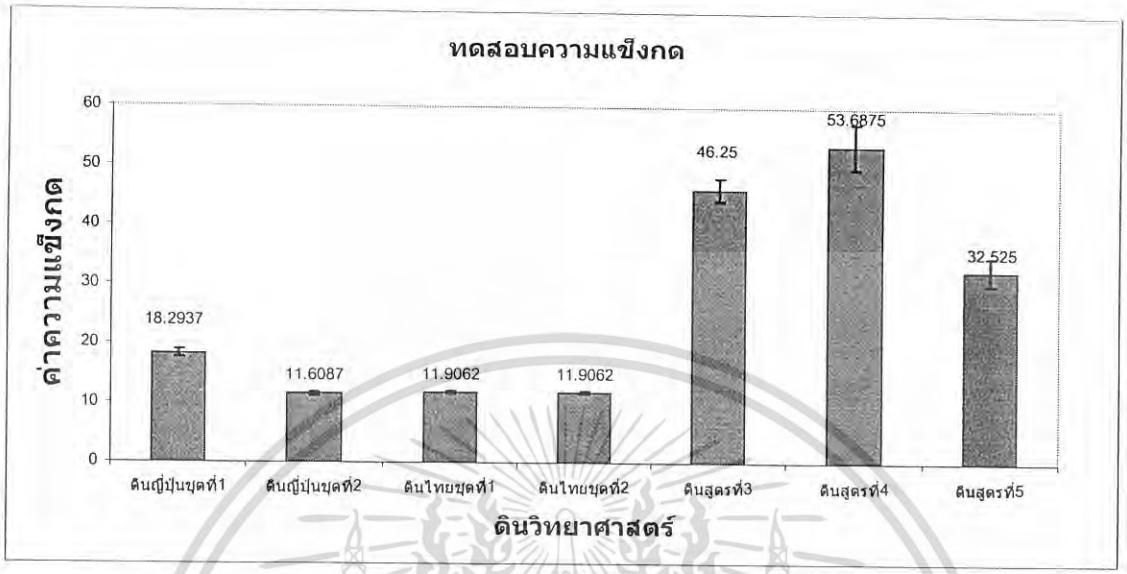
ผลจากการทดสอบความหนืดมูนนี่ แสดงดังรูปที่ 4.9 พบว่าดินไทยจะมีค่าความหนืดมูนนี่ที่น้อยที่สุด ซึ่งค่าความหนืดมูนนี่ถ้าค่าที่ได้มีค่าน้อยแสดงให้เห็นว่ามีความหนืดต่ำเนื่องจากแรงที่ใช้ในการหมุนของตัวหมุนไม่ต้องใช้แรงมาก เมื่อเทียบค่าความหนืดของดินสูตรผสมและดินญี่ปุ่นจะแสดงให้เห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกัน แต่ดินสูตรผสม 4 จะมีค่าความหนืดสูงสุดเนื่องจากมี Borax เป็นองค์ประกอบที่ใช้ในการผสม

จากจุดนี้เองแสดงให้เห็นว่า ค่าความหนืดที่ได้ของผลิตภัณฑ์ ขึ้นอยู่กับความสามารถในการกักเก็บน้ำไว้ภายในของตัวดินวิทยาศาสตร์ซึ่งจากแผนภูมิที่ 4.1 แสดงอัตราการระเหยของดินวิทยาศาสตร์ที่สัมพันธ์กับเวลาและน้ำหนัก จะเห็นได้ว่าดินไทยมีอัตราการระเหยของน้ำต่ำที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.9 การทดสอบความแข็งกด (Hardness testing)

ดินญี่ปุ่นและดินไทย ทำการวัดค่าความแข็งกด ดินญี่ปุ่นชุดที่1 , 2 และ ดินไทยชุดที่ 1, 2



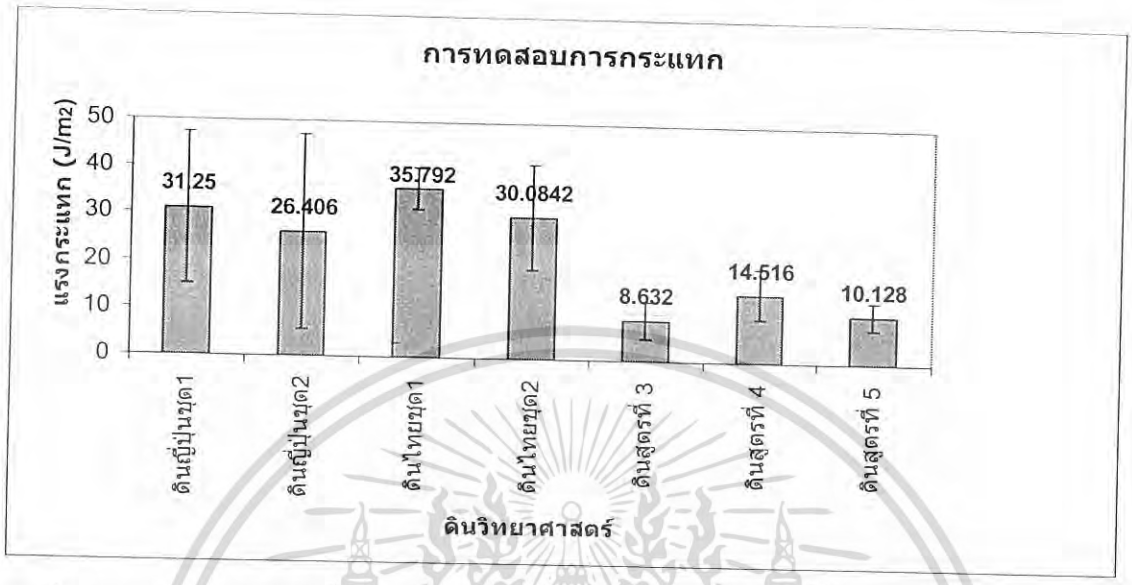
รูปที่4.10แสดงค่าที่อ่านได้จากการทดสอบความแข็งกด (Hardness testing) ของดินวิทยาศาสตร์ (ดินญี่ปุ่น ดินไทย ดินสูตร 3, 4 และ 5)

จากผลการทดสอบค่าความแข็งกด แสดงดังรูปที่ 4.10 พบว่า ดินญี่ปุ่นและดินไทยจะมีค่าความแข็งกดที่ใกล้เคียงกัน ส่วนค่าความแข็งกดของ ดินวิทยาศาสตร์สูตรผสม(3, 4 และ 5) จะมีค่าความแข็งกดที่มาก โดยเฉพาะดินสูตร 4 ซึ่งมีส่วนประกอบของ Borax แสดงให้เห็นว่า Borax ทำหน้าที่เป็นตัวประสานทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างแป้งและกาว ทำให้ชิ้นงานที่ขึ้นรูปได้มีความแข็งกดมาก ส่วนดินสูตรผสม 3 และ 5 ก็นับว่ามีค่าความแข็งกดที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกันดินญี่ปุ่นและ ดินไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.10 การทดสอบการกระแทก (Izod impact testing)

ดินญี่ปุ่นและดินไทย ทำการวัดค่า การกระแทก 2 ชุด คือ ดินญี่ปุ่นชุดที่1 , 2 และ ดินไทย ชุดที่ 1, 2

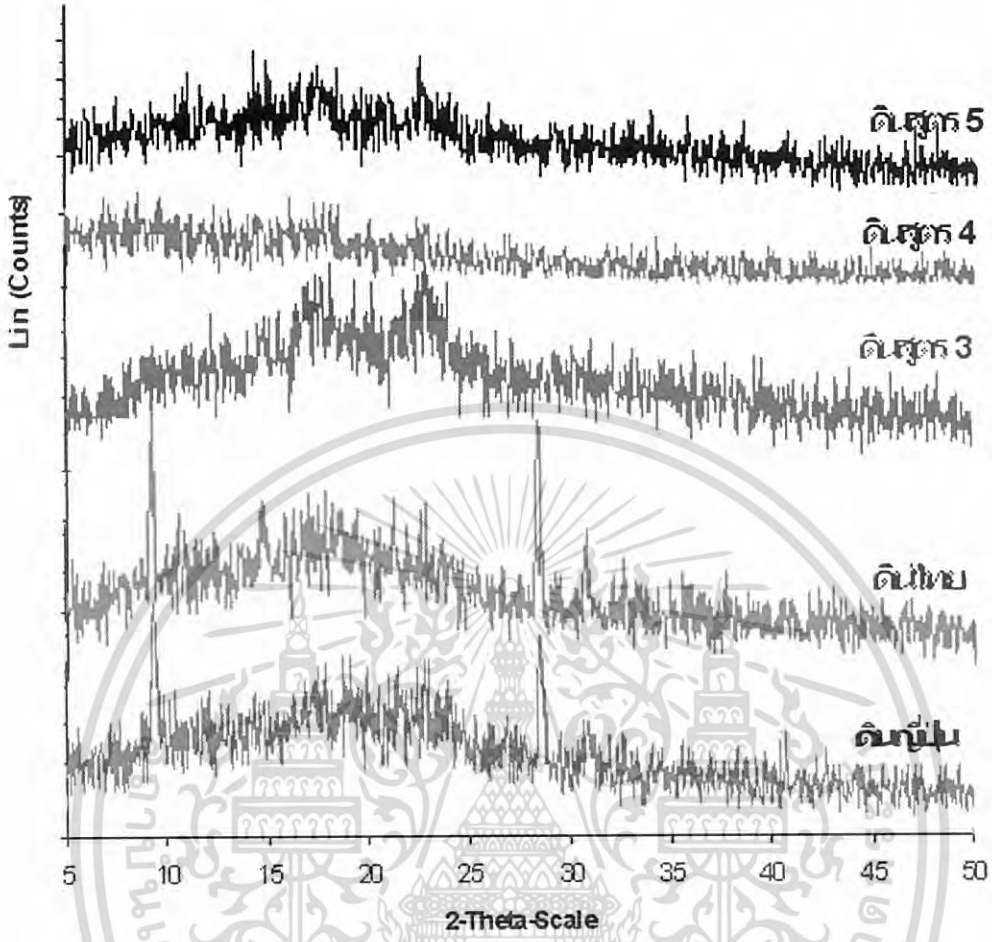


รูปที่4.11แสดงค่าการทดสอบการกระแทก (Impact testing) ของดินวิทยาศาสตร์ (ดินญี่ปุ่น ดินไทย ดินผสมสูตร 3,4และ5)

จากการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.11 พบว่า ในส่วนของดินสูตรผสมจะมีค่าการกระแทกต่ำมากเมื่อเทียบกับดินไทย และ ดินญี่ปุ่น ซึ่งมีค่าที่ค่อนข้างสูง เมื่อนำค่าความแข็งกดมาพิจารณาร่วมด้วย จะพบว่าชิ้นงานที่ขึ้นรูปจากดินวิทยาศาสตร์สูตรผสมจะมีค่าความแข็งกดที่มากแต่ถ้าเป็นชิ้นงานที่บางมากจะเปราะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.11 การทดสอบเอกซ์-เรย์ ดิฟแฟรกชั่น (XRD)



รูปที่4.12แสดงค่ากราฟ XRD ของดินวิทยาศาสตร์

จากผลการทดสอบ XRD แสดงดังรูปที่ 4.12 พบว่า ดินไทยและดินญี่ปุ่นจะมีลักษณะของความเป็นผลึกที่ตำแหน่ง 9 และ 28 2-Theta-Scaleซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบกับดินวิทยาศาสตร์สูตรผสมพบว่า ไม่พบความเป็นผลึกที่ตำแหน่งดังกล่าว และเนื่องจากในองค์ประกอบของดินสำหรับงานหัตถกรรมนี้ ส่วนที่แสดงความเป็นผลึก คือส่วนที่มาจากแป้ง แสดงว่าแป้งที่ใช้ในดินญี่ปุ่นและดินไทย น่าจะเป็นคนละชนิดกันกับแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งไม่แสดงความเป็นผลึกเลยในดินสูตรผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การเปรียบเทียบราคาต่อหน่วย

1. แป้งมันสำปะหลัง 500 กรัม ราคาซื้อ 16 บาท
2. กาวลาเท็กซ์ 32 ออนซ์ (907.2 กรัม) ราคาซื้อ 55 บาท
3. กลีเซอรอล 2.5 ลิตร (3142.5 กรัม) ราคาซื้อ 1050 บาท
4. Polyetylene glycol (PEG) 1 ลิตร ราคาซื้อ 400 บาท
5. Borax ($Na_2B_4O_7$. 10 H_2O) (Sodium tetra borate decahydrate) 60 กรัม ราคา 100 บาท

ตารางที่ 4.10 แสดงราคาต่อน้ำหนัก 250 กรัมของดินวิทยาศาสตร์

ดินวิทยาศาสตร์	บาท/ 250 กรัม
ดินญี่ปุ่น	250
ดินไทย	120
ดินสูตร 3	13.54
ดินสูตร 4	11.80
ดินสูตร 5	13.79

จากการคำนวณ(ภาคผนวก ค.)ราคาต่อน้ำหนัก 250 กรัมของดินวิทยาศาสตร์สูตรผสม 3, 4 และ 5 ซึ่งราคาอยู่ในช่วง 12-14 บาท ต่อน้ำหนัก 250 กรัม แสดงให้เห็นถึงต้นทุนที่ต่ำมาก ถึง 10 เท่าเมื่อเทียบกับดินไทย และต่ำถึง 20 เท่า เมื่อเทียบกับราคาของดินญี่ปุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ได้นำเอาดินวิทยาศาสตร์เกรดการค้าซึ่งได้แก่ ดินญี่ปุ่นและดินไทยที่มีขายตามท้องตลาดมาทำการเปรียบเทียบกับดินสูตรผสมที่เตรียมในการทดลองนี้ เพื่อทำการปรับปรุงและพัฒนาสูตรดินวิทยาศาสตร์ใหม่ รวมไปถึงการลดต้นทุนโดยการนำเอาวัตถุดิบ (แป้งมันสำปะหลัง) ที่มีอยู่ในประเทศนำมาใช้ประโยชน์

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์และทดสอบพบว่าองค์ประกอบหลักของดินวิทยาศาสตร์เกรดการค้ามีแป้ง(Starch), กาว (Binder) น้ำ และ สารเติมแต่งอื่นๆ ซึ่งเมื่อนำมาทำการผสมสูตรให้ได้ดินวิทยาศาสตร์พบว่า ได้สูตรการผสมที่ผ่านเกณฑ์ทั้งหมด 3 สูตร คือสูตร สูตรผสม 3, 4 และ 5 เมื่อนำมาทำการทดสอบเทียบกับดินวิทยาศาสตร์เกรดการค้า (ดินญี่ปุ่น และ ดินไทย) พบว่า การละลาย และ ค่าความเป็นกรดด่างมีค่าที่เหมือนกัน แต่จากการวัดอัตราการระเหย และค่าความชื้นที่มีอยู่ภายในชิ้นงาน พบว่าการที่ชิ้นงานสามารถเก็บน้ำหรือความชื้นไว้ภายในได้เป็นเวลานานจะทำให้ชิ้นงานที่ปั้นขึ้นรูปจะมีความอ่อนนุ่มสามารถดัดงอได้ ไม่เป็นขุ่ยเมื่อนำมาปั้นใหม่ เมื่อเทียบกับดินสูตรผสมจะมีการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็วทำให้ชิ้นงานที่ได้ออกมาแข็งไม่สามารถดัดงอได้ ทำให้สรุปได้ว่า น้ำคือตัวที่ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) ซึ่งนำไปสู่การทดสอบการกระแทกและค่าความแข็งกด ซึ่งดินสูตรผสมจะมีค่าความแข็งกดที่สูงแต่จะมีค่าการกระแทกที่ต่ำซึ่งเป็นลักษณะของการแข็งเปราะ เนื่องจากน้ำที่เป็นตัวพลาสติกไซเซอร์ได้ระเหยออกไปหมดอย่างรวดเร็ว

ผลที่ได้จาก Derivative ของ TGA แสดงให้เห็นว่าดินญี่ปุ่นมีองค์ประกอบที่แตกต่างไปจากดินสูตรผสมและดินไทย ดินไทยที่กับดินสูตรผสมมีองค์ประกอบบางส่วนคล้ายกันแต่เมื่อพิจารณาร่วมกันกับผลของ XRD พบว่าในดินไทยและดินญี่ปุ่นจะมีลักษณะของผลึกแป้งที่พบในตำแหน่งเดียวกัน สามารถสรุปได้ว่าดินญี่ปุ่นและดินไทยน่าจะมีการใช้ แป้งชนิดเดียวกัน แต่กาวต่างกัน และมีแป้งคนละชนิดกับดินสูตรผสม นอกจากนี้ดินไทยกับดินสูตรผสมน่าจะมีการใช้กาวที่ปริมาณหมู่อะซิเตทใกล้เคียงกันทำให้มี Derivative ที่ตำแหน่งเดียวกัน และเมื่อพิจารณาร่วมกันกับ IR Spectrum พบว่าดินสูตรผสมมีหมู่ฟังก์ชันของไซยาไนด์(-CN) ซึ่งเป็นของแป้งมันสำปะหลัง แต่ Spectrum ของดินญี่ปุ่นและดินไทยไม่แสดงหมู่ฟังก์ชันของไซยาไนด์ แสดงให้เห็นว่าดินญี่ปุ่นและดินไทยน่าจะมีแป้งชนิดเดียวกัน

สรุปได้ว่า ดินวิทยาศาสตร์สูตรผสม 3, 4 และ 5 มีลักษณะที่ไม่เหมือนกันกับดินญี่ปุ่นเลยทั้งในส่วนของแป้งและกาว แต่เมื่อเทียบกันกับดินไทยน่าจะใช้กาวคล้ายกัน ส่วนดินญี่ปุ่นและดินไทยจะมีแป้งชนิดเดียวกันแต่น้ำหนักโมเลกุลและขนาดอนุภาคไม่เท่ากัน น้ำหรือความชื้นทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ ดังนั้นดินสูตรผสม ซึ่งเก็บความชื้นได้น้อยจึงแข็งเปราะ กว่าดินญี่ปุ่นและดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไทย ซึ่งมีความชื้นอยู่มากกว่า ดินสูตรผสมเหมาะที่จะปั้นแต่งโดยไม่ต้องรับแรงหรือแสดงถึงความอ่อนนุ่ม และเมื่อเทียบกับราคาที่ต่ำกว่าดินไทยถึง 10 เท่า และ ต่ำกว่าดินญี่ปุ่นถึง 20 เท่า ในปริมาณที่เท่ากัน จะเห็นว่าสามารถลดต้นทุนผลิตภัณฑ์ได้

ข้อเสนอแนะและปรับปรุง

1. ควรทำการผสมด้วยเครื่องมือที่มีความสามารถในการผสมที่ดี เพื่อช่วยในการกระจายตัวอย่างทั่วถึงขององค์ประกอบต่างๆ ซึ่งจะทำให้ผลการทดสอบสมบัติต่างๆ ถูกต้องแม่นยำ
2. ควรทำการคัดแยกขนาดอนุภาคของแป้งให้มีขนาดที่มีขนาดเล็กและไม่มีการรวมตัวกลับเป็นก้อน (Agglomerate) ของแป้ง
3. ศึกษาและเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลของกาว (PVAc) เพื่อปรับปรุงให้ใกล้เคียงกับดินญี่ปุ่นและดินไทย
4. ควรนำดินวิทยาศาสตร์ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในงานด้านอื่น เช่น งานปั้นตุ๊กตาดิน หรืองานที่ไม่ต้องการความสามารถในการบิดงอมากนัก
5. ควรทำการศึกษาสารองค์ประกอบที่สามารถเก็บรักษาความชื้นในดินวิทยาศาสตร์ให้ได้นานขึ้น เพื่อลดอัตราการระเหยน้ำที่ยังคงมีค่ามาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ก.1 ข้อมูลดิบของค่าความชื้น

ตารางที่ ก.1.1 แสดงปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดินญี่ปุ่นที่อุณหภูมิ 100 °C

ดินญี่ปุ่น	น้ำหนัก(กรัม)		ปริมาณความชื้น (กรัม)	ค่าเฉลี่ยร้อยละ
	ก่อนอบ	หลังอบ		
ครั้งที่1	2.87	1.98	0.89	31.01
ครั้งที่2	3.63	2.34	1.29	35.53
ครั้งที่3	4.62	2.96	1.66	35.93
ค่าเฉลี่ย			1.28	34.15
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.38	2.73

ตารางที่ ก.1.2 แสดงปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดินไทยที่อุณหภูมิ 100 °C

ดินไทย	น้ำหนัก(กรัม)		ปริมาณความชื้น (กรัม)	ค่าเฉลี่ยร้อยละ
	ก่อนอบ	หลังอบ		
ครั้งที่1	2.76	2.16	0.60	21.73
ครั้งที่2	4.26	3.29	0.97	22.77
ค่าเฉลี่ย			0.78	22.25
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.26	0.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1.3 แสดงปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดินสูตร 3ที่อุณหภูมิ 100 °C

ดินสูตร 3	น้ำหนัก(กรัม)		ปริมาณความชื้น (กรัม)	ค่าเฉลี่ยร้อยละ
	ก่อนอบ	หลังอบ		
ครั้งที่1	2.9346	1.8555	1.0791	35.1134
ค่าเฉลี่ย			1.0791	35.1134

ตารางที่ ก.1.4 แสดงปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดินสูตร 4ที่อุณหภูมิ 100 °C

ดินสูตร 4	น้ำหนัก(กรัม)		ปริมาณความชื้น (กรัม)	ค่าเฉลี่ยร้อยละ
	ก่อนอบ	หลังอบ		
ครั้งที่1	3.65	2.36	35.1134	35.3425
ค่าเฉลี่ย			35.1134	35.4247

ตารางที่ ก.1.5 แสดงปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดินสูตร 5ที่อุณหภูมิ 100 °C

ดินสูตร 5	น้ำหนัก(กรัม)		ปริมาณความชื้น (กรัม)	ค่าเฉลี่ยร้อยละ
	ก่อนอบ	หลังอบ		
ครั้งที่1	3.3913	2.2005	35.1134	35.1134
ค่าเฉลี่ย			35.1134	35.1134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1.6 แสดงปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดินวิทยาศาสตร์ที่อุณหภูมิ 100 °C

ดิน วิทยาศาสตร์	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยร้อยละ
ดินญี่ปุ่น	1.28	0.3851	34.1595
ดินไทย	0.785	0.2616	22.2545
ดินสูตร 3	1.0791	N/A	36.7716
ดินสูตร 4	1.29	N/A	35.4247
ดินสูตร 5	1.1908	N/A	35.1134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2. ข้อมูลดิบของการวัดอัตราการระเหย

ตารางที่ ก.2.1 แสดงอัตราการระเหยของน้ำที่มีอยู่ในดินวิทยาศาสตร์ ที่อุณหภูมิ 35 ° C เป็นเวลา 9 ชั่วโมง

ดิน วิทยาศาสตร์	น้ำหนัก(กรัม), (ร้อยละ)										
	เริ่มต้น	ชั่วโมง ที่ 1	ชั่วโมง ที่ 2	ชั่วโมง ที่ 3	ชั่วโมง ที่ 4	ชั่วโมง ที่ 5	ชั่วโมง ที่ 6	ชั่วโมง ที่ 7	ชั่วโมง ที่ 8	ชั่วโมง ที่ 9	น้ำหนัก ความชื้น (กรัม)
ดินญี่ปุ่น	3.02 (100.00)	2.9 (96.03	2.82 (93.38	2.78 (92.05)	2.74 (90.73)	2.72 (90.07)	2.7 (89.40)	2.68 (88.74)	2.63 (87.09)	2.62 (86.75)	0.4
ดินไทย	3.11 (100.00)	3.07 (98.71)	3.01 (96.78)	2.96 (95.18)	2.95 (94.86)	2.94 (94.53)	2.93 (94.21)	2.96 (95.18)	2.92 (93.89)	2.91 (93.57)	0.2
ดินสูตร 3	2.99 (100.00)	2.81 (93.98)	2.64 (88.29)	2.64 (88.29)	2.59 (86.62)	2.52 (84.28)	2.5 (83.61)	2.49 (3.28)	2.43 (81.27)	2.43 (81.27)	0.56
ดินสูตร 4	3.11 (100.00)	2.89 (92.93)	2.83 (91.00)	2.64 (84.89)	2.61 (83.92)	2.58 (82.96)	2.56 (82.32)	2.55 (81.99)	2.53 (81.35)	2.53 (81.35)	0.58
ดินสูตร 5	2.97 (100.00)	2.82 (94.95)	2.71 (91.25)	2.65 (89.23)	2.57 (86.53)	2.53 (85.19)	2.52 (84.85)	2.50 (84.18)	2.42 (81.48)	2.44 (82.15)	0.53

ก.3 ข้อมูลดิบของการวัด Dry Solid Content

ตารางที่ ก.3.1 แสดงการวัด Dry Solid Content ที่มีอยู่ในดินวิทยาศาสตร์

ดินวิทยาศาสตร์	น้ำหนัก(กรัม)			ร้อยละของความชื้น(%)	น้ำหนักของกาก(%)
	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อน-หลัง		
ดินญี่ปุ่น	1.0358	1.0238	0.012	1.1585	98.8414
ดินไทย	0.9817	0.7604	0.2213	22.5425	77.4574
ดินสูตร 3	0.9822	0.3733	0.6089	61.9934	38.0065
ดินสูตร 4	1.0535	0.6845	0.369	35.0261	64.9738
ดินสูตร 5	1.0598	0.6228	0.437	41.2341	58.7658

ก.4. ข้อมูลดิบของค่าความหนืดมูนนี่ (Mooney Value)

ตารางที่ ก.4.1 แสดงการวัดความหนืดมูนนี่ของดินวิทยาศาสตร์

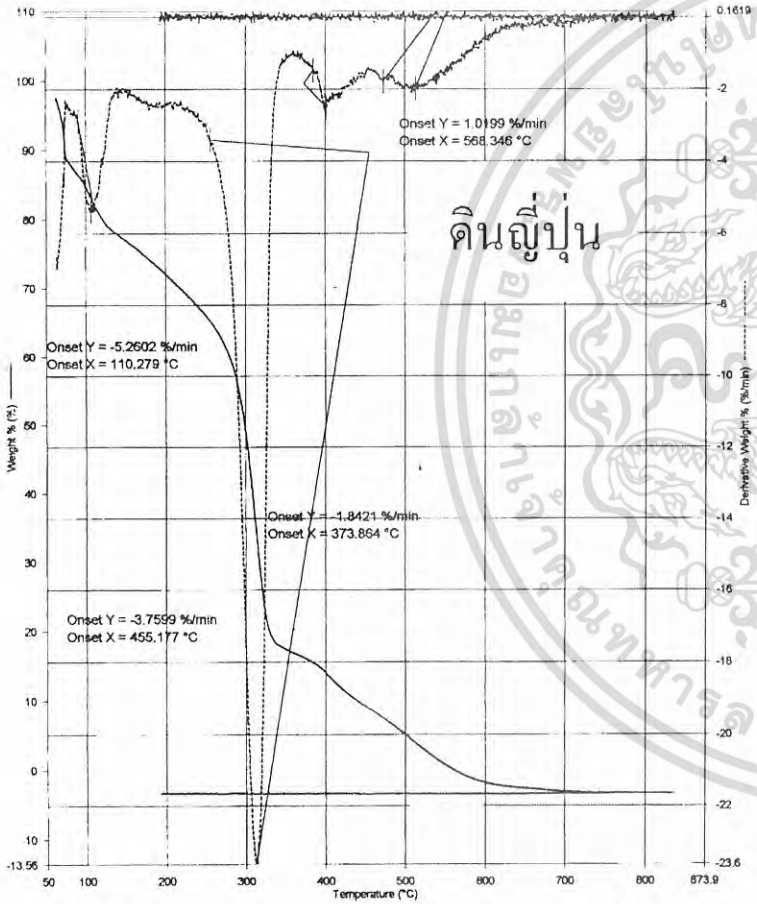
ดินวิทยาศาสตร์	ค่าความหนืดมูนนี่ (Mooney Value)
ดินญี่ปุ่น	13.1
ดินไทย	2.5
ดินสูตร 3	13.6
ดินสูตร 4	20.4
ดินสูตร 5	12.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.5. ข้อมูลดิบของผลการทดสอบ TGA

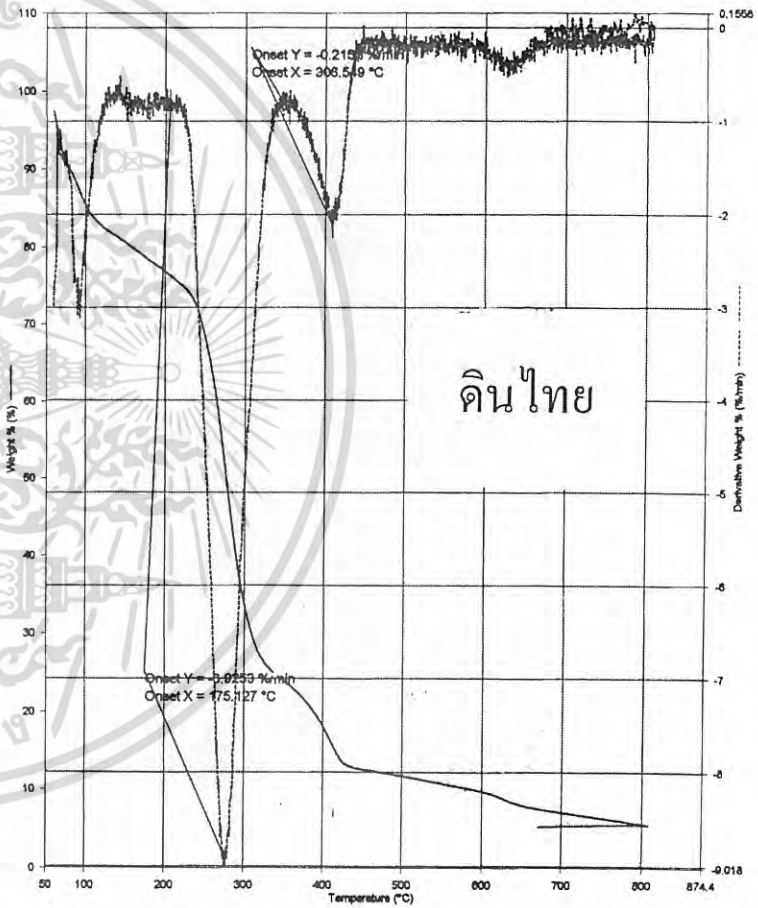
1. ดินวิทยาศาสตร์

1.1 ดินญี่ปุ่น



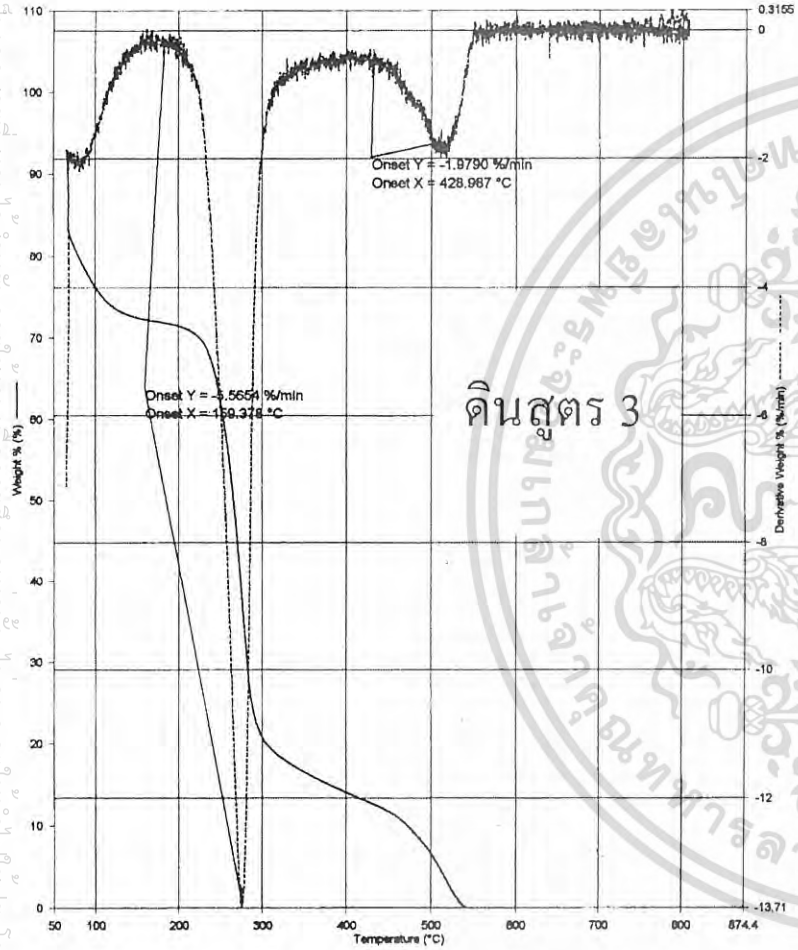
รูปที่ ก.5.1.1 แสดงการทดสอบ TGA ของ ดินญี่ปุ่น

1.2 ดินไทย



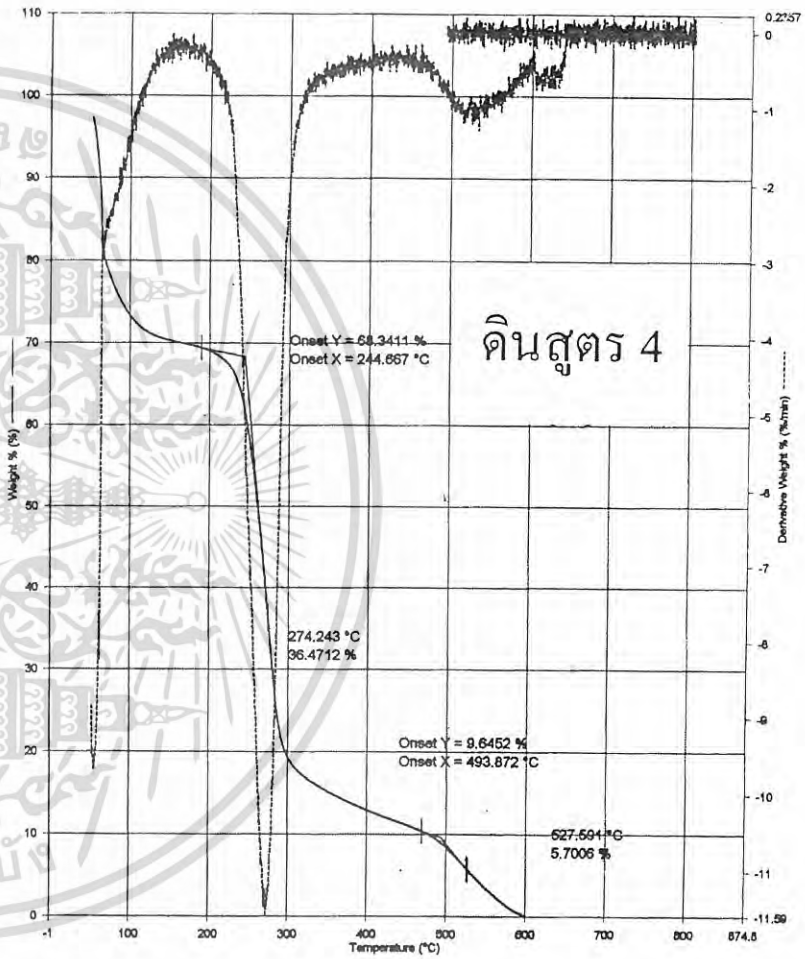
รูปที่ ก.5.1.2 แสดงการทดสอบ TGA ของ ดินไทย

1.3 ดินผสมสูตร 3



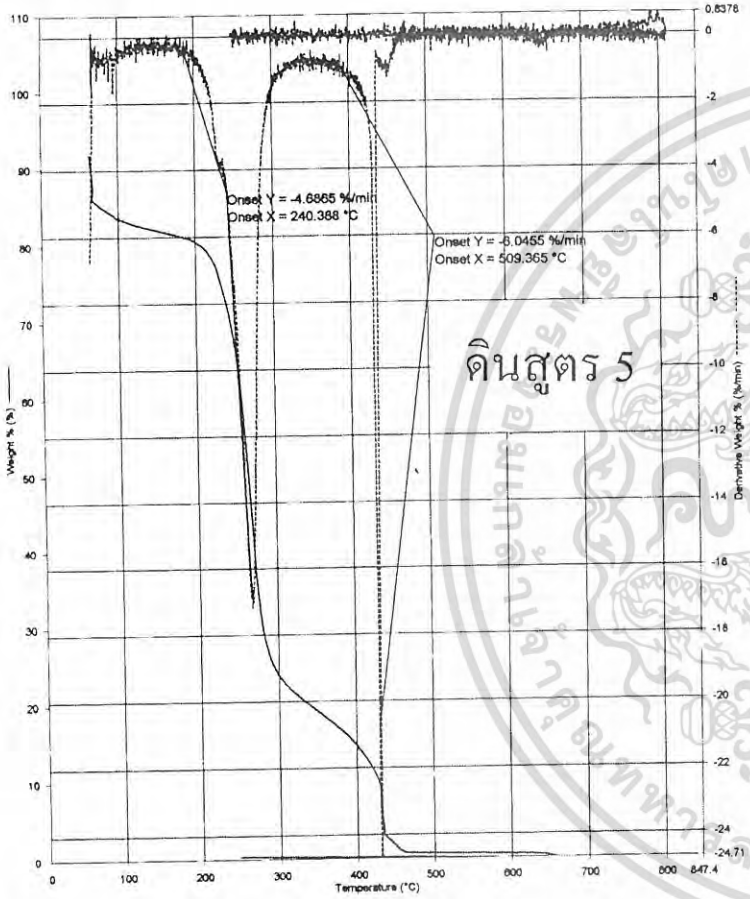
รูปที่ ก.5.1.3 แสดงการทดสอบ TGA ของ ดินสูตร 3

1.4 ดินผสมสูตร 4



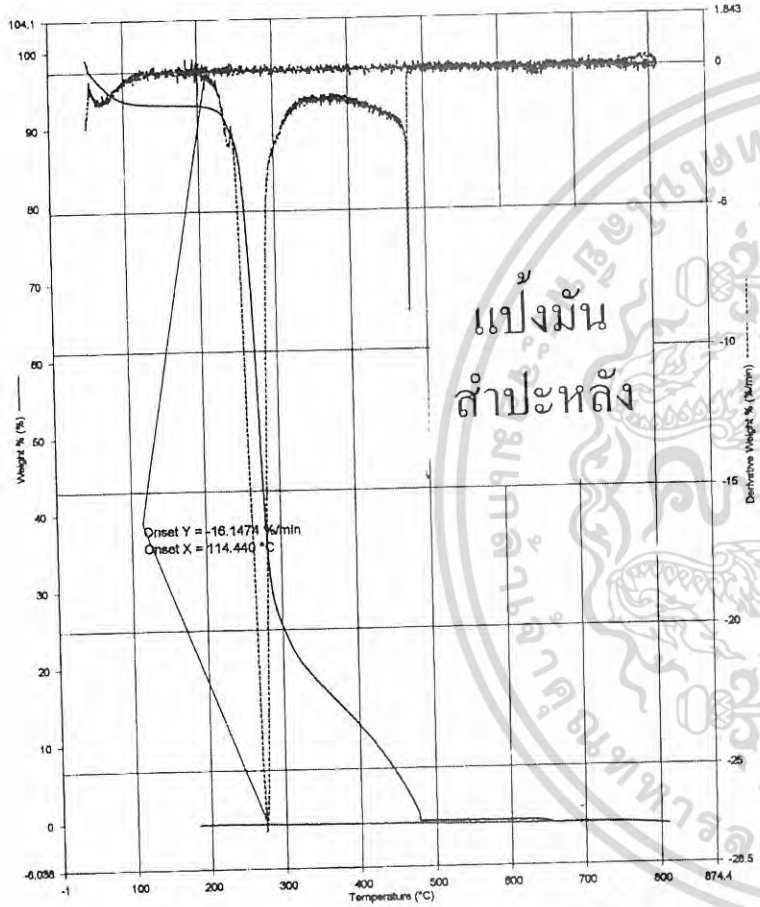
รูปที่ ก.5.1.4 แสดงการทดสอบ TGA ของ ดินสูตร 4

1.5 ดินผสมสูตร 5



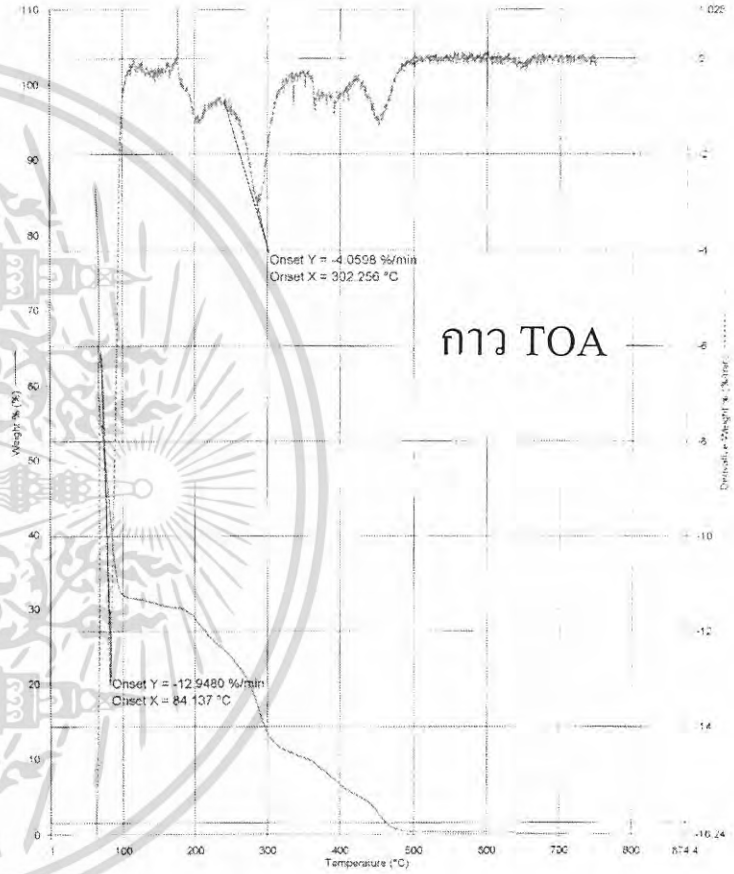
รูปที่ ก.5.1.5 แสดงการทดสอบ TGA ของ ดินสูตร 5

2. แป้งมันสำปะหลัง



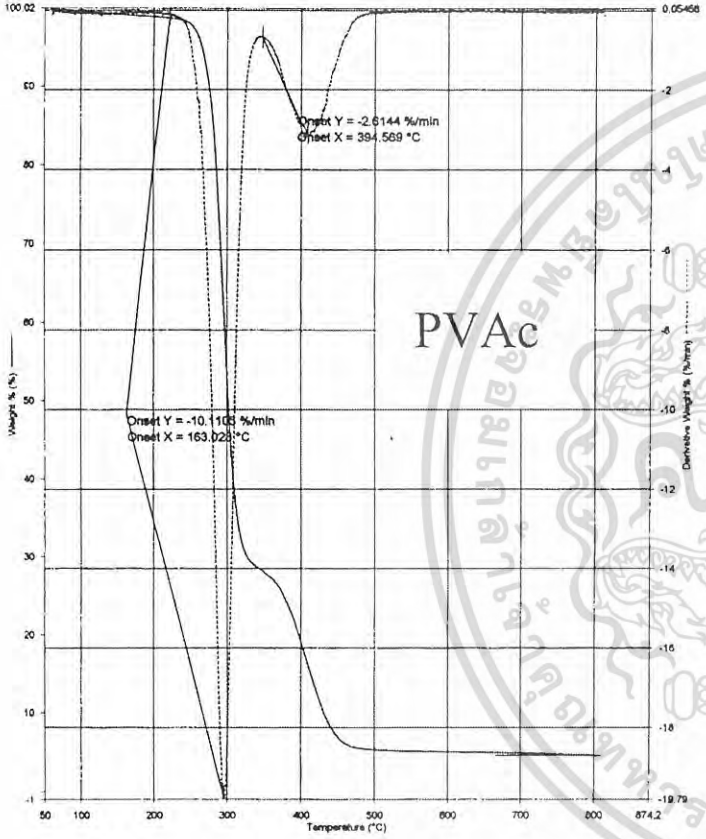
รูปที่ ก.5.2 แสดงการทดสอบ TGA ของแป้งมันสำปะหลัง

3. กาวลาเท็กซ์ ตรา TOA



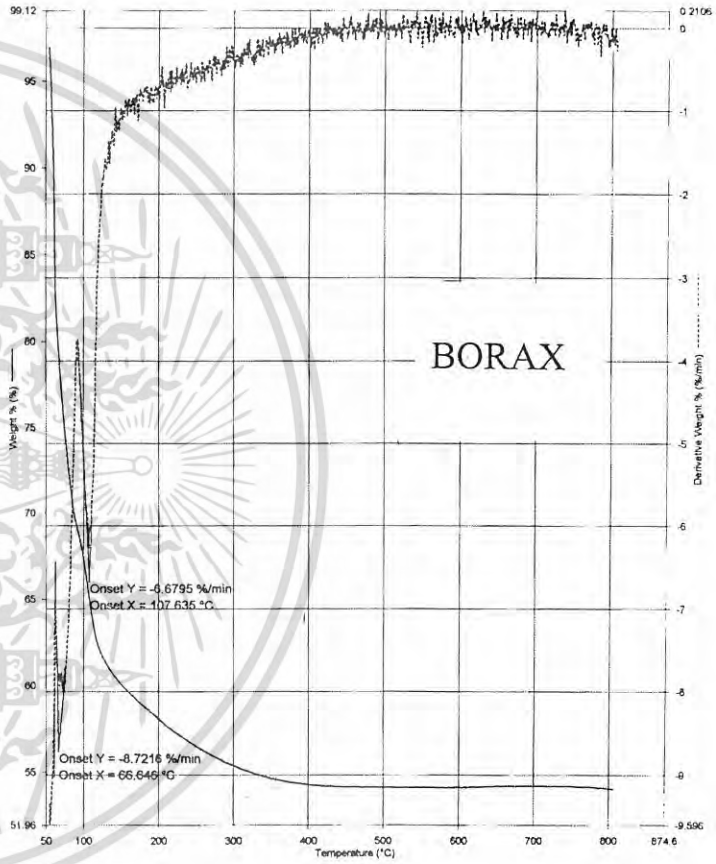
รูปที่ ก.5.3 แสดงการทดสอบ TGA ของกาว TOA

4. Polyvinyl acetate (PVAc)



รูปที่ ก.5.4 แสดงการทดสอบ TGA ของ PVAc

5. Borax (Na_2B4O_7. 10 H2O) (Sodium tetra borate decahydrate)

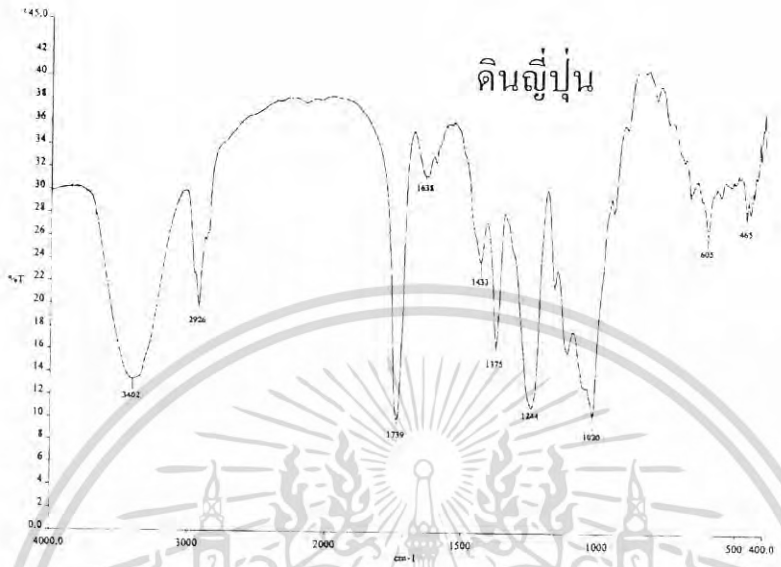


รูปที่ ก.5.5 แสดงการทดสอบ TGA ของ Borax

ก.6. ข้อมูลดิบของผลการทดสอบ IR

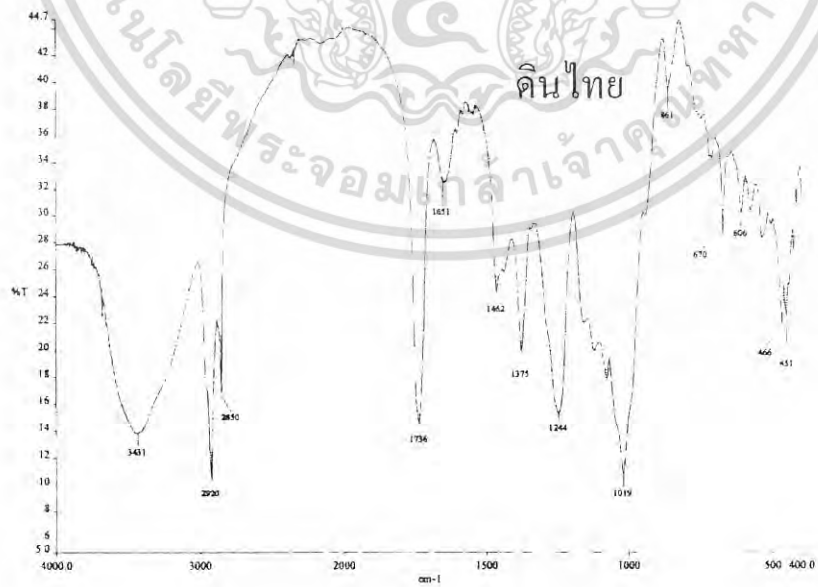
1. ดินวิทยาศาสตร์

1.1 ดินญี่ปุ่น



รูปที่ ก.6.1.1 แสดงการทดสอบ IR ของ ดินญี่ปุ่น

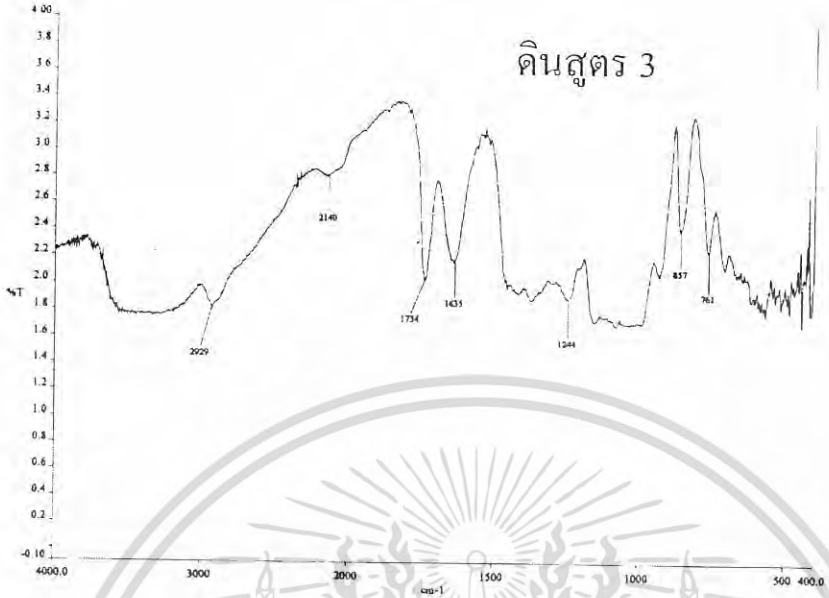
1.2 ดินไทย



รูปที่ ก.6.1.2 แสดงการทดสอบ IR ของ ดินไทย

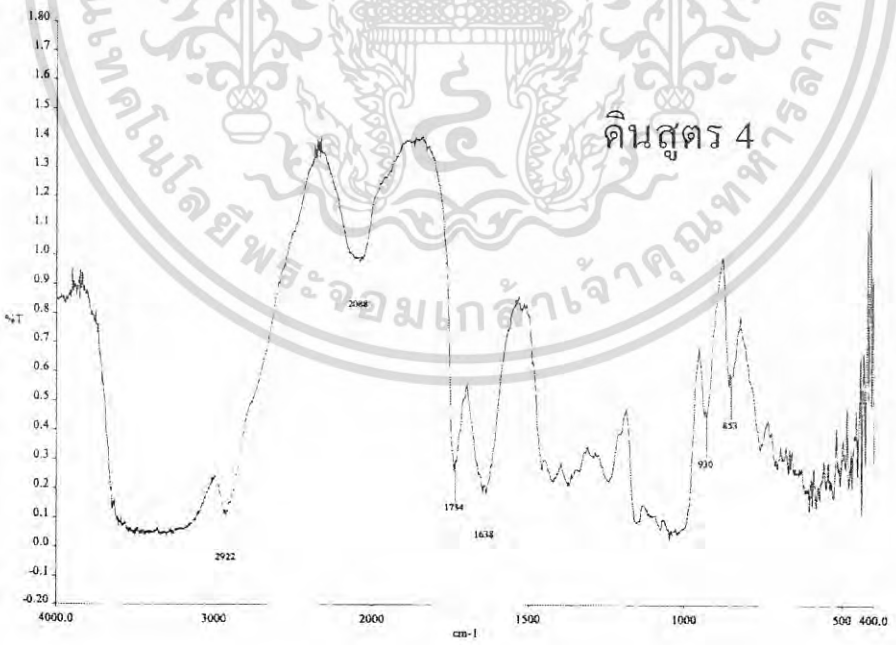
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ดินผสมสูตร 3



รูปที่ ก.6.1.3 แสดงการทดสอบ IR ของ ดินสูตร 3

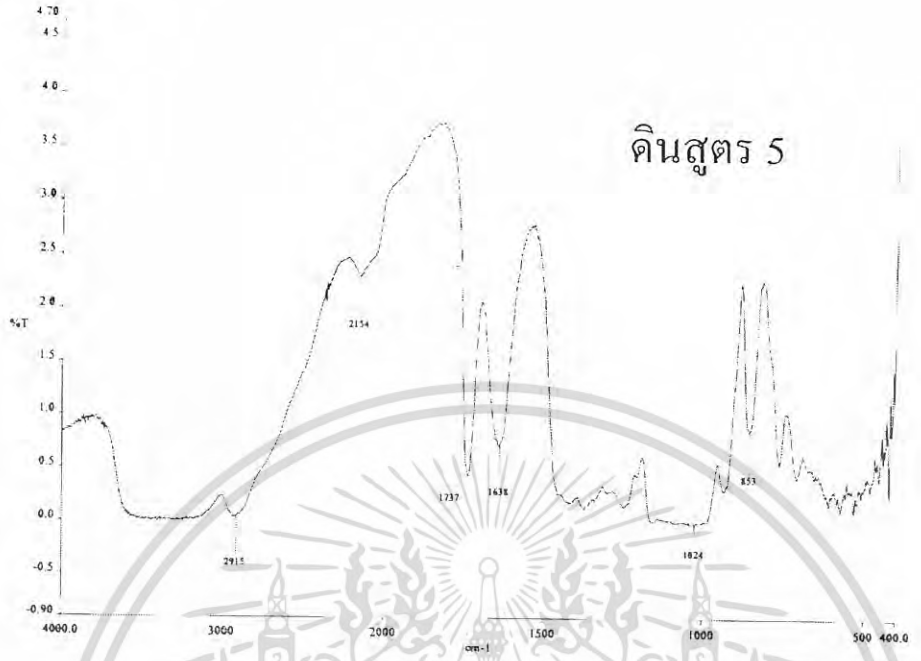
1.4 ดินผสมสูตร 4



รูปที่ ก.6.1.4 แสดงการทดสอบ IR ของดินสูตร 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

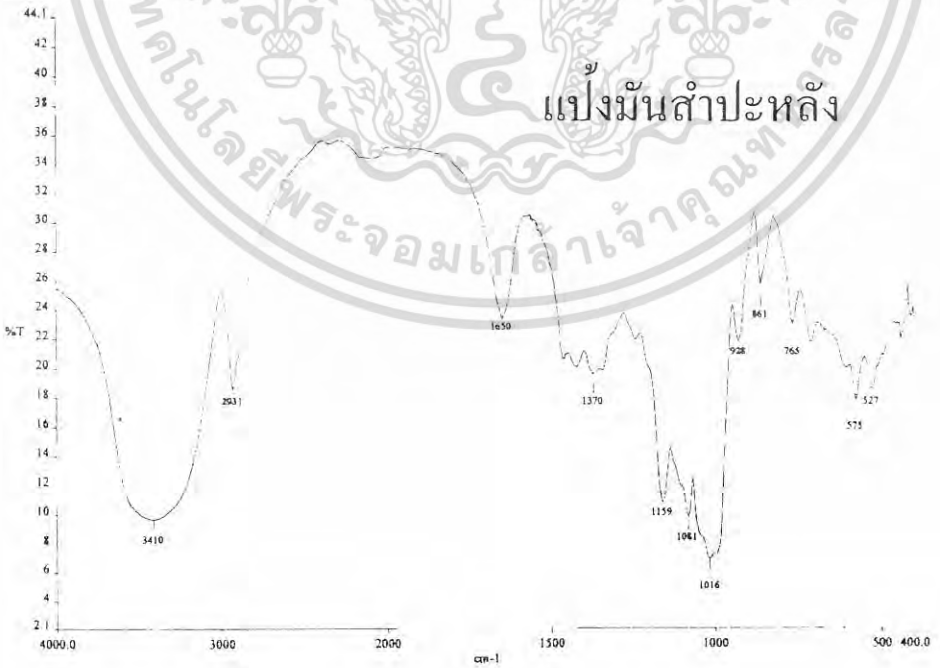
1.5 ดินผสมสูตร 5



รูปที่ ก.6.1.5 แสดงการทดสอบ IR ของ ดินสูตร 5

2. แป้ง

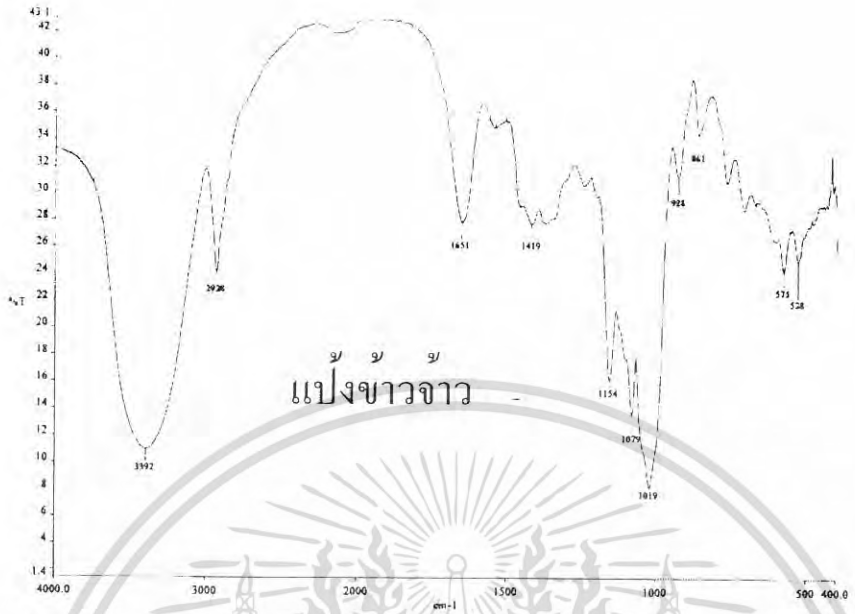
2.1 แป้งมันสำปะหลัง



รูปที่ ก.6.2.1 แสดงการทดสอบ IR ของ แป้งมันสำปะหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 แป้งข้าวจ้าว



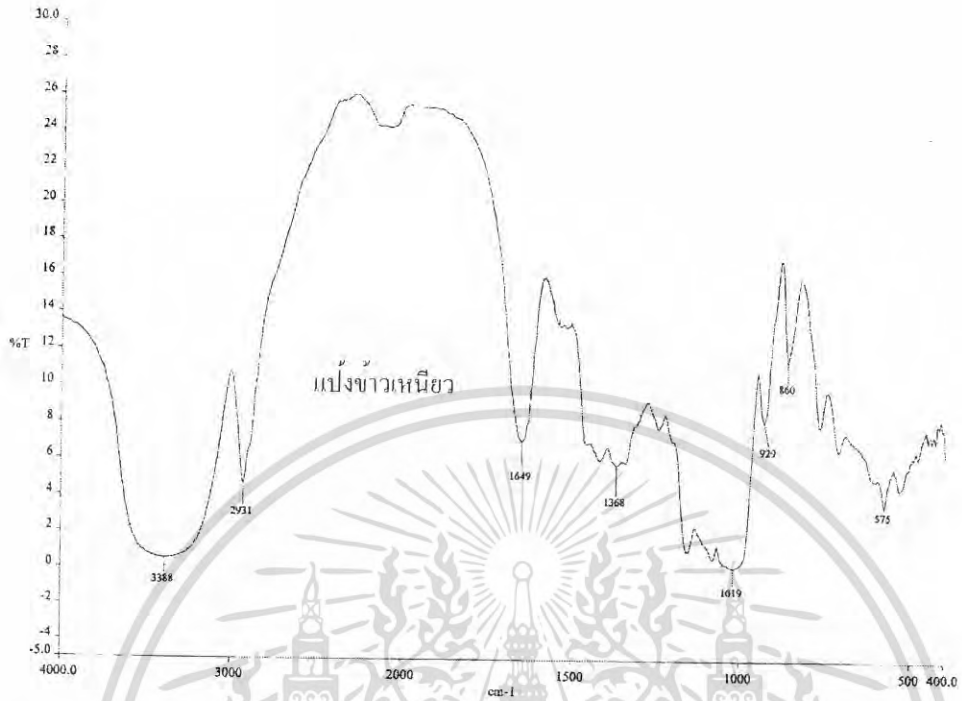
รูปที่ ก.6.2.2 แสดงการทดสอบ IR ของแป้งข้าวเจ้า

2.3 แป้งข้าวโพด

รูปที่ ก.6.2.3 แสดงการทดสอบ IR ของ แป้งข้าวโพด

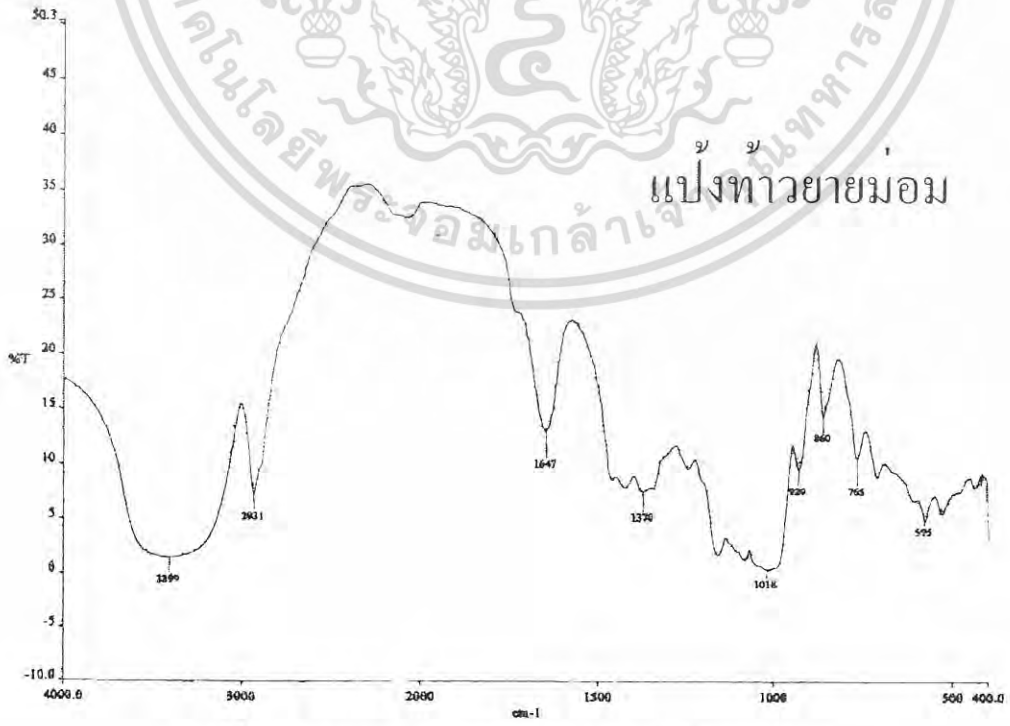
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 แป้งข้าวเหนียว



รูปที่ ก.6.2.4 แสดงการทดสอบ IR ของแป้งข้าวเหนียว

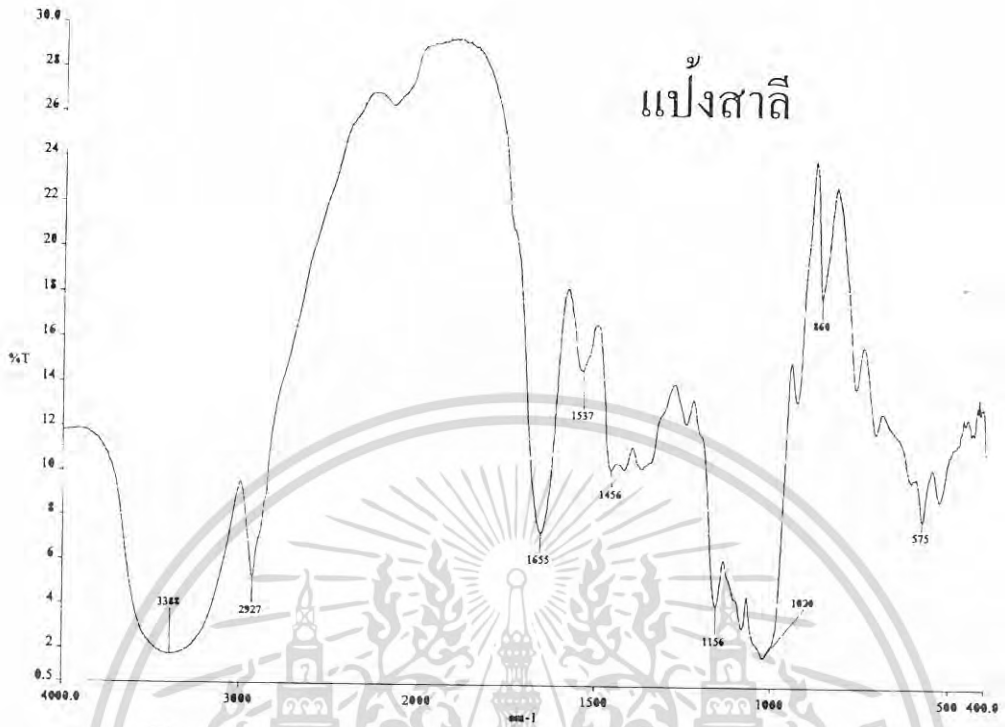
2.5 แป้งท้าวยายม่อม



รูปที่ ก.6.2.5 แสดงการทดสอบ IR ของแป้งท้าวยายม่อม

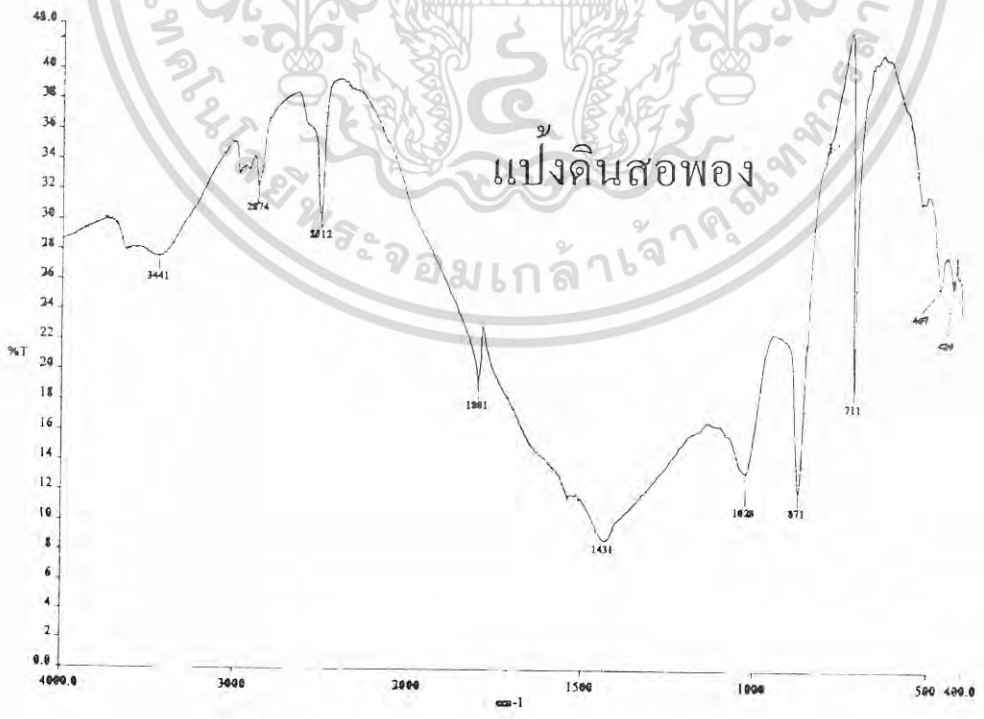
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 แป้งสาลี



รูปที่ ก.6.2.6 แสดงการทดสอบ iR ของแป้งสาลี

2.7 แป้งดินสอพอง

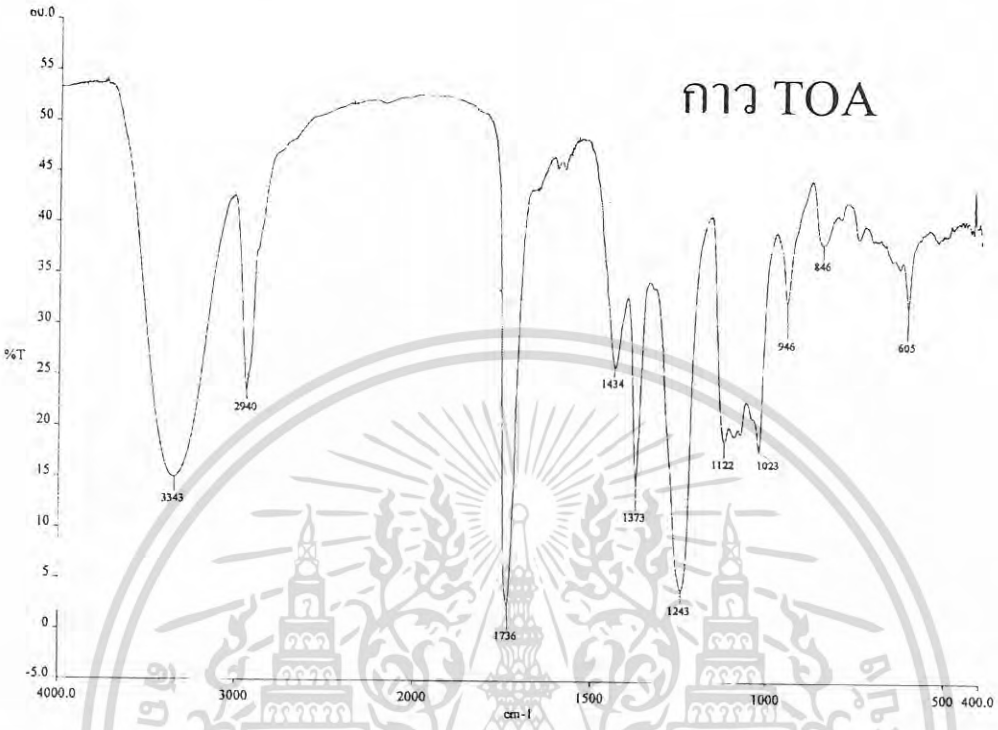


รูปที่ ก.6.2.7 แสดงการทดสอบ IR ของแป้งดินสอพอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

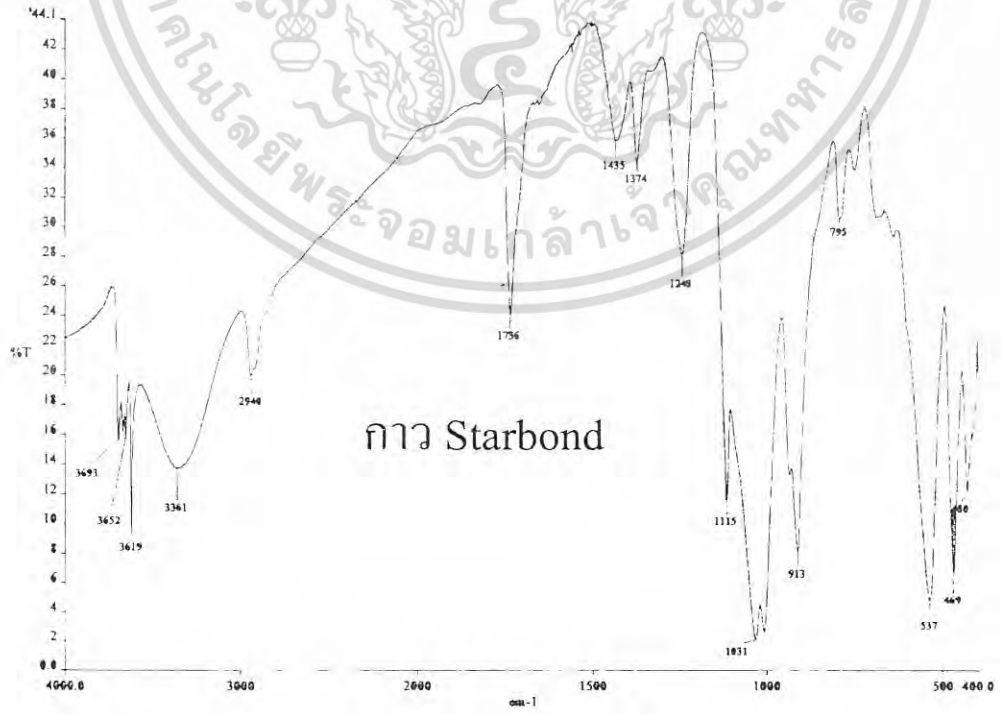
3. กาวลาเท็กซ์

3.1 กาวลาเท็กซ์ ตรา TOA



รูปที่ ก.6.3.1 แสดงการทดสอบ IR ของกาว TOA

3.2 กาวลาเท็กซ์ ตรา Starbond



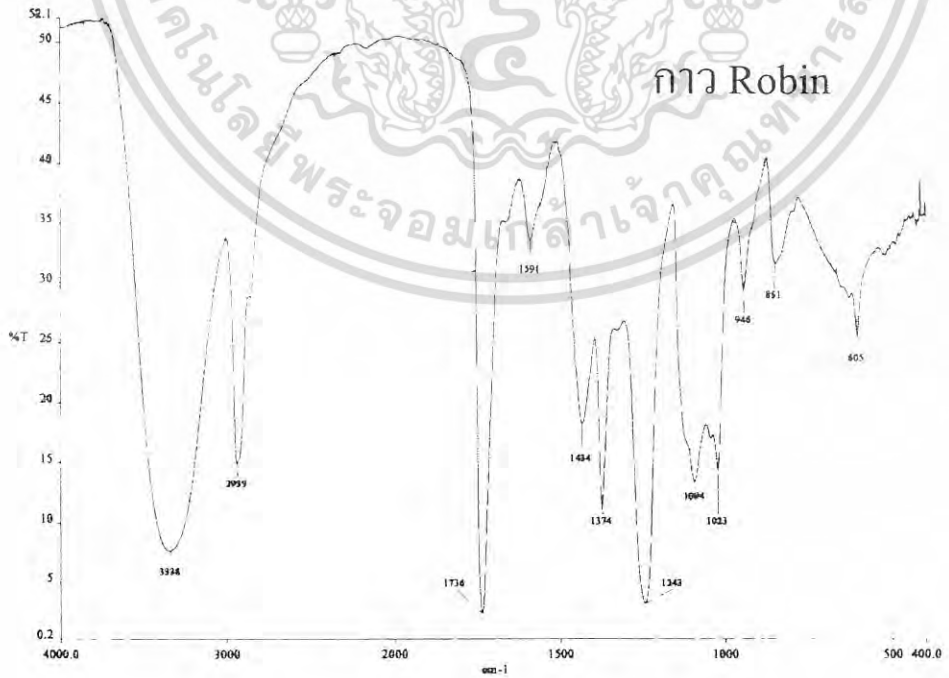
รูปที่ ก.6.3.2 แสดงการทดสอบ IR ของกาว Starbond

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 กาวลาเท็กซ์ ตรา King

รูปที่ ก.6.3.3 แสดงการทดสอบ IR ของกาว King

3.4 กาวลาเท็กซ์ ตรา Robin

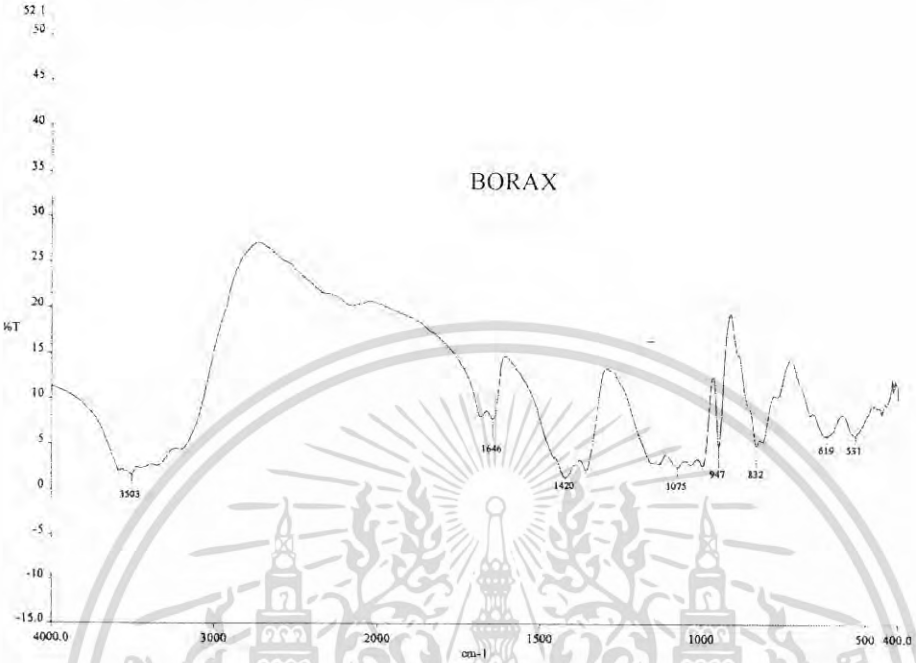


รูปที่ ก.6.3.4 แสดงการทดสอบ IR ของกาว Robin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

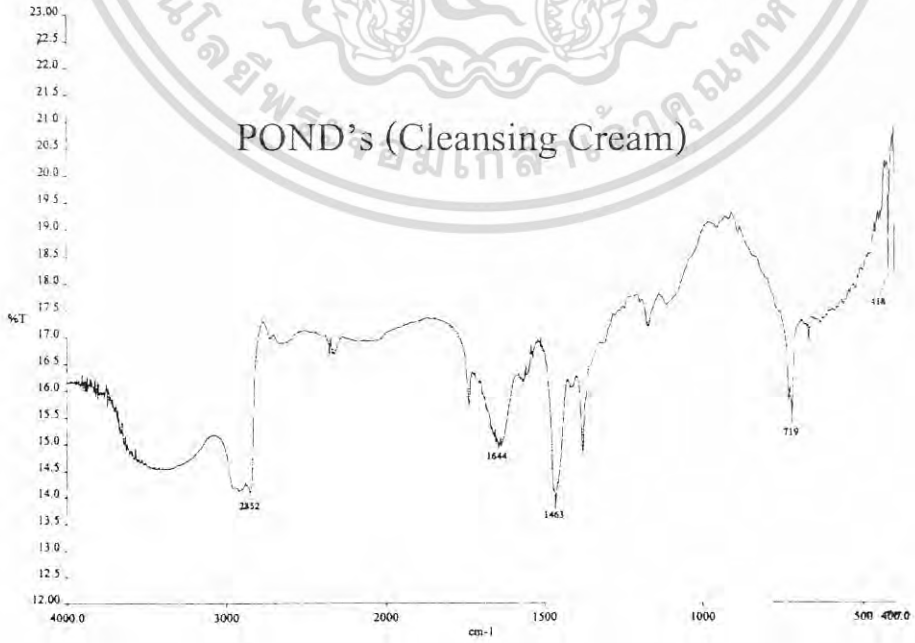
4. สารตัวเติม (Additive)

4.1 Borax (Na_2B4O_7. 10 H_2O) (Sodium tetra borate decahydrate)



รูปที่ ก.6.4.1 แสดงการทดสอบ IR ของ Borax

4.2 Cleansing Cream (ครีมเพิ่มความชุ่มชื้น POND's)

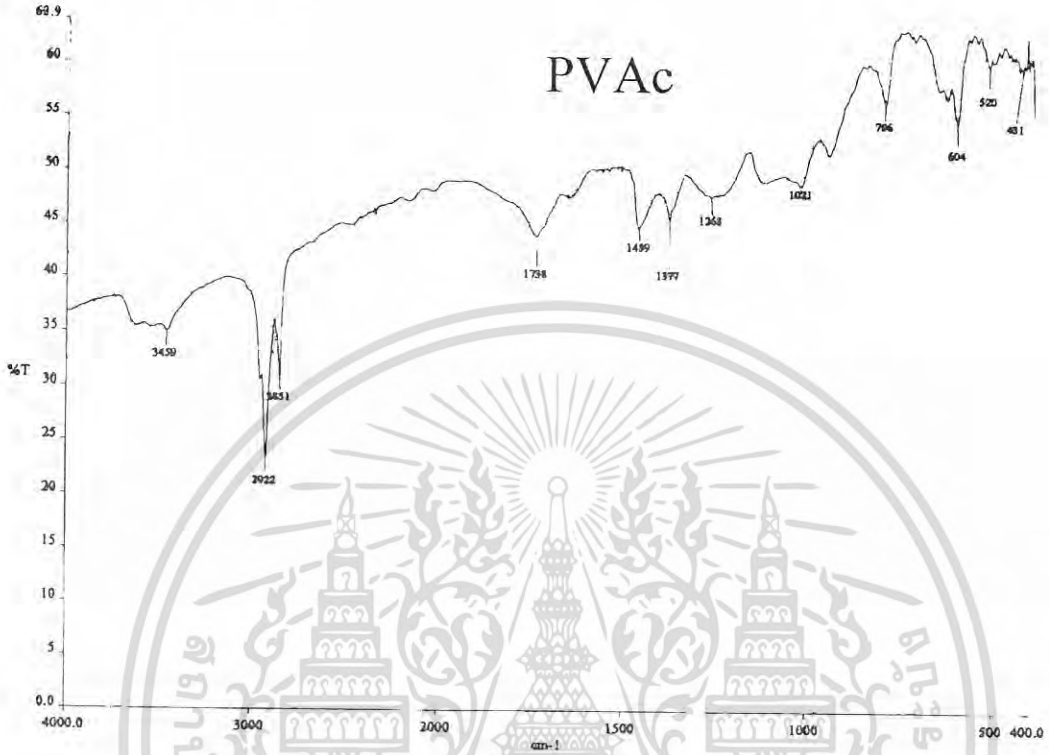


รูปที่ ก.6.4.2 แสดงการทดสอบ IR ของ Cleaning Cream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สารอื่นๆ

5.1 Polyvinyl acetate (PVAc)



รูปที่ ก.6.5.1 แสดงการทดสอบ IR ของ PVAc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.7. ข้อมูลดิบของการทดสอบความแข็งกด (Hardness testing)

ตาราง ก.7.1 แสดงการทดสอบ Hardness ดินญี่ปุ่น1

จุดที่วัด	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2	ชิ้นงานที่ 3	ชิ้นงานที่ 4	ชิ้นงานที่ 5	ชิ้นงานที่ 6	ชิ้นงานที่ 7	ชิ้นงานที่ 8
1	15	16.5	17.5	18.5	18.5	18.5	20	17
2	17	15	18.5	19	19	20	19.5	20
3	16	18	19	18.5	19	19.5	19.5	19.5
4	17	17.5	17.5	18.5	18	19	18.5	19
5	18	18	18.5	17	18	19	18	18
6	16.5	18.5	19	18.5	20	18	20	18.5
7	18.5	17.5	18.5	18.5	17	18.5	17.5	18
8	17	18	18	17.5	20	18	19	18.5
9	18.5	17	18.5	18	19.5	18	20	19
10	18.5	19	18.5	17	17.5	19.5	19.5	18.5
ค่าเฉลี่ย	**17.2**	**17.5**	**18.35**	**18.1**	**18.65**	**18.8**	**19.15**	**18.6**

ตาราง ก.7.2 แสดงการทดสอบ Hardness ดินญี่ปุ่น2

จุดที่วัด	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2	ชิ้นงานที่ 3	ชิ้นงานที่ 4	ชิ้นงานที่ 5	ชิ้นงานที่ 6	ชิ้นงานที่ 7	ชิ้นงานที่ 8
1	10.5	14	15	11	15	10	14	16
2	12	14	15	15	15	14	16	15
3	12	15	15	16	15	15	15	14
4	13	13	15.5	15	15.5	15	15	17
5	11	14.5	16	15.5	14	17	11.5	14
6	12	13	16	15	16	17.5	14	15
7	14	14.5	15	16.5	16	17	13.5	14.5
8	12.5	11.5	16	16	16.5	18	15	15
9	14.5	14.5	15	15	17	16.5	14	18
10	13	15	16.5	16	16	17	14	14
ค่าเฉลี่ย	**12.45**	**13.9**	**15.5**	**15.1**	**15.6**	**15.7**	**14.2**	**15.25**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.7.3 แสดงการทดสอบ Hardness ดินไทย1

จุดที่วัด	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2	ชิ้นงานที่ 3	ชิ้นงานที่ 4	ชิ้นงานที่ 5	ชิ้นงานที่ 6	ชิ้นงานที่ 7	ชิ้นงานที่ 8
1	13	12.5	13	10.2	11.5	12	10	13
2	12	13	12	12	12	11	11.5	12
3	12	10	11.5	12	12	12	11	11
4	10	10	13.5	12.5	12.5	11.5	11.5	11
5	12.5	11.5	13	11	10.5	10	12	11
6	11.5	12	11.5	11	12	10.5	10	10.5
7	13.5	12.5	12	12	12	11	12	12
8	13	10.5	12.5	11.5	12.5	12	11.5	11
9	11.5	12.5	12	10	12	12	11	11
10	10.5	11	12	13	10	12.5	11	10
ค่าเฉลี่ย	**11.95**	**11.55**	**12.3**	**11.52**	**11.7**	**11.45**	**11.15**	**11.25**

ตาราง ก.7.4 การทดสอบ Hardness ดินไทย2

จุดที่วัด	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2	ชิ้นงานที่ 3	ชิ้นงานที่ 4	ชิ้นงานที่ 5	ชิ้นงานที่ 6	ชิ้นงานที่ 7	ชิ้นงานที่ 8
1	11.5	11.5	12	11	11.5	12.5	10	13
2	13	12	12.5	12.5	12	12.5	12	12.5
3	11	11	12	13	12	12.5	11	12.5
4	12	11.5	11.5	12.5	12.5	11.5	12	12.5
5	10.5	12	11.5	11	11.5	11	12.5	12.5
6	12.5	11	11.5	10.5	11	12	12	12.5
7	12	13	12	12	10.5	12	12.5	11.5
8	12	12	12	12	11	12	12.5	12
9	12.5	11	12	11.5	12	11.5	12	12.5
10	11.5	13	11.5	12	12	12	12	12
ค่าเฉลี่ย	**11.85**	**11.8**	**11.85**	**11.8**	**11.6**	**11.95**	**11.85**	**12.55**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.7.5 แสดงการทดสอบ Hardness ดินสูตร3

จุดที่วัด	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2	ชิ้นงานที่ 3	ชิ้นงานที่ 4	ชิ้นงานที่ 5	ชิ้นงานที่ 6	ชิ้นงานที่ 7	ชิ้นงานที่ 8
1	39.5	50	41	43	52	46	48	43
2	38.5	41	44	42	50	48	44	45
3	39.5	42	45	43	47	50	47	47.5
4	42	43	47	44	50	46.5	45	43
5	44	40	48	48	47	51	50	46.5
6	45	46	50	46	48	51	45	48.5
7	46	49	50	49	48.5	47.5	42	46
8	47	50	48	49	49	49	42	47
9	45	50	44	42	49.5	49	44	49.5
10	44.5	49	48	45	49	48.5	45.5	48
ค่าเฉลี่ย	**43.1**	**46**	**46.5**	**45.1**	**49**	**48.65**	**45.25**	**46.4**

ตาราง ก.7.6 แสดงการทดสอบ Hardness ดินสูตร4

จุดที่วัด	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2	ชิ้นงานที่ 3	ชิ้นงานที่ 4	ชิ้นงานที่ 5	ชิ้นงานที่ 6	ชิ้นงานที่ 7	ชิ้นงานที่ 8
1	52	54.5	55	58.5	45	52	43.5	58.5
2	55	57	54.5	58	47	54	52	61
3	48	57.5	52.5	57.5	49	55	50.5	62
4	53	57.5	53.5	60	46	53.5	58	62
5	50	53.5	50.5	53	50	57	52	64
6	55	52.5	55	54	43	57	55.5	48
7	54	49	58.5	53	44	58	59.5	58.5
8	55	49	59	52.5	43	58	51	64
9	54	48	56	53	42.5	55	52	65
10	53.5	50	58.5	55	47	57.5	54	45
ค่าเฉลี่ย	**52.95**	**52.85**	**55.3**	**55.45**	**45.65**	**55.7**	**52.8**	**58.8**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.7.7 แสดงการทดสอบ Hardness ดินสูตร5

จุดที่วัด	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2	ชิ้นงานที่ 3	ชิ้นงานที่ 4	ชิ้นงานที่ 5	ชิ้นงานที่ 6	ชิ้นงานที่ 7	ชิ้นงานที่ 8
1	38	29.5	28.5	33	34	39	30	31
2	34.5	31.5	25.5	29	33.5	33.5	32	33
3	35	28	27	34	35	36	31	34
4	35	32	27.5	33	34	35	30.5	30
5	34	33	30	37	32.5	33.5	36	32
6	33	34.5	29	33	34	34	35	34
7	33	34	24	34	35	38.5	31	32
8	35	28	21	35.5	35.5	33	31.5	35
9	33	32	32	32	34	34	32	33
10	32	30	30	31	36	32	30	36
ค่าเฉลี่ย	**34.25**	**31.25**	**27.45**	**33.15**	**34.35**	**34.85**	**31.9**	**33**

ตาราง ก.7.8 แสดงค่าที่อ่านได้ทั้งหมดจากการทดสอบความแข็งกด (Hardness testing)

ดิน วิทยาศาสตร์	ดิน ญี่ปุ่น ชุดที่1	ดิน ญี่ปุ่น ชุดที่2	ดินไทย ชุดที่1	ดินไทย ชุดที่2	ดินสูตร ที่3	ดินสูตร ที่4	ดินสูตร ที่5
ค่าเฉลี่ย	**18.29**	**11.61**	11.91	11.91	**46.25**	**53.69**	**32.53**
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	**0.663**	**0.374**	**0.278**	**0.278**	**1.917**	**3.827**	**2.393**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.8. ข้อมูลดิบของการทดสอบการกระแทก (Impact testing)

ตาราง ก.8.1 แสดงค่าที่อ่านได้จากการทดสอบการกระแทก (Impact testing) ของดินญี่ปุ่นชุดที่1

ชิ้น	ค่าที่อ่านได้	หมายเหตุ
1	76.17	ไม่เอา
2	18.37	
3	7.19	ไม่เอา
4	34.4	
5	52.7	
6	38.42	
7	7.01	ไม่เอา
8	12.36	
ค่าเฉลี่ย	**30.83**	

ชิ้น	ค่าที่อ่านได้
2	18.37
4	34.4
5	52.7
6	38.42
8	12.36
ค่าเฉลี่ย	**31.2500**
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	**16.1567**

ตาราง ก.8.2 แสดงค่าที่อ่านได้จากการทดสอบการกระแทก (Impact testing) ของดินญี่ปุ่นชุดที่2

ชิ้น	ค่าที่อ่านได้	หมายเหตุ
1	58.7	
2	35.01	
3	14.2	
4	77.53	ไม่เอา
5	9.58	
6	14.54	
7	8.32	ไม่เอา
8	5.07	ไม่เอา
ค่าเฉลี่ย	**27.89**	

ชิ้น	ค่าที่อ่านได้
1	58.7
2	35.01
3	14.2
5	9.58
6	14.54
ค่าเฉลี่ย	**26.4060**
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	**20.5538**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.8.3 แสดงค่าที่อ่านได้จากการทดสอบการกระแทก (Impact testing) ของดินไทยชุดที่1

ชิ้น	ค่าที่อ่านได้	หมายเหตุ
1	48.24	ไม่เอา
2	34.18	
3	33.18	
4	15.91	ไม่เอา
5	39.88	
6	30.71	
7	12.25	ไม่เอา
8	41.01	
ค่าเฉลี่ย	**31.92**	

ชิ้น	ค่าที่อ่านได้
2	34.18
3	33.18
5	39.88
6	30.71
8	41.01
ค่าเฉลี่ย	**35.7920**
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	**4.4494**

ตาราง ก.8.4 แสดงค่าที่อ่านได้จากการทดสอบการกระแทก (Impact testing) ของดินไทยชุดที่2

ชิ้น	ค่าที่อ่านได้	หมายเหตุ
1	43.52	
2	21.35	
3	22.89	
4	4.61	ไม่เอา
5	12.84	ไม่เอา
6	40.93	
7	21.73	
8	-	ไม่มีข้อมูล
ค่าเฉลี่ย	**23.98**	

ชิ้น	ค่าที่อ่านได้
1	43.52
2	21.35
3	22.89
6	40.93
7	21.73
ค่าเฉลี่ย	**30.0840**
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	**11.1354**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.8.5 แสดงการทดสอบการกระแทก (Impact testing) ของดินวิทยาศาสตร์ผสมสูตร 3

ชิ้น	ค่าที่อ่านได้	หมายเหตุ
1	26.52	ไม่เอา
2	-	ไม่มีข้อมูล
3	8.11	
4	16.78	ไม่เอา
5	5.23	
6	5.96	
7	8.79	
8	15.07	
ค่าเฉลี่ย	**12.35**	

ชิ้น	ค่าที่อ่านได้
3	8.11
5	5.23
6	5.96
7	8.79
8	15.07
ค่าเฉลี่ย	**8.6320**
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	**3.8878**

ตาราง ก.8.6 แสดงการทดสอบการกระแทก (Impact testing) ของดินวิทยาศาสตร์ผสมสูตร 4

ชิ้น	ค่าที่อ่านได้	หมายเหตุ
1	10.58	
2	12.68	
3	-	ไม่มีข้อมูล
4	-	ไม่มีข้อมูล
5	12.79	
6	12.79	
7	46.87	ไม่เอา
8	23.74	
ค่าเฉลี่ย	**19.91**	

ชิ้น	ค่าที่อ่านได้
1	10.58
2	12.68
5	12.79
6	12.79
8	23.74
ค่าเฉลี่ย	**14.5160**
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	**5.2417**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.8.7 แสดงการทดสอบการกระแทก (Impact testing) ของดินวิทยาศาสตร์ผสมสูตร 5

ชิ้น	ค่าที่อ่านได้	หมายเหตุ
1	13.26	
2	9.37	
3	6.17	
4	-	ไม่มีข้อมูล
5	9.25	
6	27.54	ไม่เอา
7	12.59	
8	4.48	ไม่เอา
ค่าเฉลี่ย	**11.81**	

ชิ้น	ค่าที่อ่านได้
1	13.26
2	9.37
3	6.17
5	9.25
7	12.59
ค่าเฉลี่ย	**10.1280**
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	**2.8671**

ตาราง ก.8.8 แสดงค่าที่อ่านได้จากการทดสอบการกระแทก (Impact testing) ของดินวิทยาศาสตร์ (ดินญี่ปุ่น ดินไทย ดินผสมสูตร 3,4และ5)

ดินวิทยาศาสตร์	ดินญี่ปุ่นชุด 1	ดินญี่ปุ่นชุด 2	ดินไทยชุด1	ดินไทยชุด2	ดินสูตรที่ 3	ดินสูตรที่ 4	ดินสูตรที่ 5
ค่าเฉลี่ย	31.25	26.406	35.792	30.0842	8.632	14.516	10.128
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	16.1567	20.5538	4.4494	11.1354	3.8878	5.2417	2.8671

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.9. ข้อมูลดิบของการความหนืดและลักษณะของกาวลาเท็กซ์

ใช้เครื่องวัดความหนืดแบบบรู๊คฟิลด์ (Brookfield Viscometer)

- ใช้หัวเบอร์ 4
- ระดับความเร็วรอบ 6/0.3

ตาราง ก.9 แสดงค่าความหนืดและลักษณะของกาวลาเท็กซ์

กาวลาเท็กซ์	ลักษณะ	ค่าความหนืด ที่วัดได้	ค่า factor	ค่าความหนืด (Centipoises, mPa.s)
กาว TOA	ขาวข้น ไม่หนืดมาก	42.5	1000	42500
กาว Robin	ขาวข้น ลื่น	17.5	1000	17500
กาว King	ขาว มีเม็ดคล้ายก้อนแป้งเปียก	24.2	1000	24200
กาว Starborn	ขาวเหลือง หนืดมาก	90.0	1000	90000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข.1 ส่วนประกอบอื่น ๆ ภายในเม็ดแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรเคมีทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_6)_n$ แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (อะมิโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะมิโลสเพกติน) นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ ภายในเม็ดแป้ง แบ่งออกเป็น

1. Particulate material คือส่วนที่ไม่ใช่แป้งที่แยกได้จากแป้ง ได้แก่ โปรตีนที่ไม่ละลายและผนังเซลล์ซึ่งจะมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตแป้ง

2. Surface material คือส่วนที่ติดกับพื้นผิวของเม็ดแป้ง สามารถสกัดออกได้โดยไม่ต้องทำลายเม็ดแป้ง เช่น เยื่อหุ้มอะไมโลพลาสต์

3. Internal components คือส่วนที่ติดอยู่ภายในเม็ดแป้ง สามารถแยกออกได้โดยการทำลายเม็ดแป้ง เช่น ไขมันแป้งจากธัญพืช หมู่ฟอสเฟตในแป้งมันฝรั่ง และสารประกอบในไนโตรเจนในแป้ง

ส่วนประกอบอื่นที่มีผลต่อลักษณะและคุณสมบัติของเม็ดแป้งที่สำคัญได้แก่ ไขมัน โปรตีน เถ้า และฟอสเฟต ซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด

(1) ไขมัน

โดยส่วนใหญ่แป้งจะมีองค์ประกอบของไขมันอยู่ต่ำกว่า 1% ชนิดของไขมันที่มีในแป้งมีผลต่อคุณสมบัติของแป้ง เช่น มีผลต่อความหนืดของแป้ง ดังนั้นในการวิเคราะห์คุณสมบัติของแป้งจะต้องกำจัดไขมันออกจากแป้งโดยสกัดด้วยตัวทำละลายหรือย่อยสลายโดยใช้น้ำย่อย

ไขมันภายในแป้งมีทั้งที่อยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้ง ซึ่งประกอบด้วย Triglyceride , free fatty acid , glucolipids phospholipids และไขมันที่อยู่กระจายทั่วไปภายในเม็ดแป้ง โดยเชื่อมพันธะกับคาร์โบไฮเดรตอย่างหลวม ๆ แป้งจากพืชและจากถั่วไม่มีไขมันภายในเม็ดแป้ง สำหรับแป้งจากธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี มีไขมันภายในเม็ดแป้งซึ่งสมบัติและปริมาณของไขมันแตกต่างกัน ในแป้งข้าวโพดมีไขมัน 0.6 ถึง 0.8% ประกอบด้วย free fatty acid 62% และ lysophospholipids 38% สำหรับแป้งสาลีมีไขมัน 0.8 % ถึง 1.2% น้ำหนักแห้ง ประกอบด้วย monoacyl/lysopospholipids 86 ถึง 94% กรดไขมันที่สำคัญของ lysopospholipid คือ กรดไขมันอิ่มตัวคาร์บอน 16 อะตอม (palmitic acid) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวคาร์บอน 18 อะตอม (linoleic acid) monoacyl lipid เหล่านี้สามารถจับตัวเชิงซ้อนกับอะมิโลสได้ ในขณะที่ diacyl และ triacyl lipid ไม่สามารถจับตัว เช่นนี้ได้ ความสัมพันธ์ของปริมาณอะมิโลสกับปริมาณไขมันในข้าวโพดชนิดต่าง ๆ พบว่า ข้าวโพด ข้าวเหนียวซึ่งมีปริมาณอะมิโลสต่ำ จะมีไขมันต่ำ สำหรับข้าวโพดที่มีประมาณอะมิโลสสูงจะมีไขมันสูงกว่าปกติเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไขมันที่รวมอยู่ในเม็ดแป้งจะส่งผลกระทบต่อลักษณะและคุณสมบัติของแป้ง โดยจะลดความสามารถในการพองตัว การละลาย และการจับตัวกับน้ำของแป้ง เมื่อเกิดฟิล์มและแป้งเปียก (paste) ไขมันจะรวมตัวกับอะมิโลสเกิดเป็น inert complex ทำให้ฟิล์มและแป้งเปียกมีลักษณะทึบแสงหรือขุ่น นอกจากนี้กรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งอยู่บริเวณพื้นผิวเม็ดแป้งจะทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่สำหรับไขมันที่รวมตัวเชิงซ้อนกับอะมิโลสจะไม่ก่อให้เกิดกลิ่น เนื่องจากสามารถต้านทานการเกิดออกซิเดชันได้ แป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี มีกลิ่นแรงกว่า แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเหนียว แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันฝรั่ง เนื่องจากมีองค์ประกอบของไขมันสูง

(2) ไนโตรเจน (โปรตีน)

ภายในเม็ดแป้งมีส่วนประกอบของโปรตีนอยู่ต่ำกว่า 1% โดยโปรตีนจะเกาะอยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้ง ทำให้เกิดผลกระทบต่อลักษณะของแป้ง คือ ทำให้เกิดประจุบนพื้นผิวของเม็ดแป้ง มีผลต่อการกระจายของเม็ดแป้ง ทำให้แป้งมีอัตราการดูดซับ อัตราการพองตัว และอัตราการเกิด เจลาติไนซ์เปลี่ยนแปลงไป ทำให้เกิด mailard reaction ระหว่างการทำปฏิกิริยาของกรดอะมิโนกับน้ำตาล รีดิวซิง สีและกลิ่นของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนแปลงไป (โดยส่วนใหญ่ปฏิกิริยาเช่นนี้เกิดขึ้นกับแป้งธัญพืช เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนสูง)

(3) เถ้า

แป้งโดยทั่วไปมีองค์ประกอบของสารอนินทรีย์ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้จากส่วนที่เหลือหรือเถ้าจากการเผาไหม้โดยสมบูรณ์ ปริมาณเถ้าในเม็ดแป้งมันฝรั่งจะสัมพันธ์กับหมู่ฟอสฟอรัสในแป้ง สำหรับเถ้าในแป้งจากธัญพืชจะสัมพันธ์กับปริมาณฟอสโฟลิปิด

(4) ฟอสฟอรัส

แป้งส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสอยู่น้อยกว่า 0.1% โดยแป้งจากธัญพืชมีฟอสฟอรัสในรูป phospholipid ประมาณ 0.02 ถึง 0.06% และสำหรับแป้งจากธัญพืชหัวและราก เช่น แป้งจากมันฝรั่งมีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสประมาณ 0.3 ถึง 0.4% ฟอสฟอรัสภายในแป้งอยู่ในรูปฟอสเฟตเชื่อมกับหมู่ไฮดรอกซิลที่ C_3 และ C_8 ของหน่วยกลูโคส แป้งมันฝรั่งมีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสจึงทำให้มีประจุพื้นผิวเป็นลบ แรงผลักระหว่างประจุลบจะทำให้แป้งมันฝรั่งมีคุณสมบัติพองตัวง่าย และมีความหนืดสูงกว่าแป้งชนิดอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ค. 1 หลักการคำนวณต้นทุนของดินทั้งสามสูตร

สูตร 3

แป้ง 60 g

กาว 40 g

กลีเซอรอล (1%) 0.6 g

PEG (5%) 3 g

น้ำหนักดินสูตร 3 รวม 103.60 g

แป้ง	500 g	ราคา 16 บาท
ถ้านำแป้งมาทดสอบ	60 g	ราคา 1.92 บาท
กาว	307.2 g	ราคา 55 บาท
ถ้านำมากาวมาทดสอบ	40 g	ราคา 2.425 บาท
กลีเซอรอล	3142.5 g	ราคา 1050 บาท
ถ้านำกลีเซอรอลมาทดสอบ	0.6 g	ราคา 0.20 บาท
PEG	1126 g	ราคา 400บาท
ถ้านำ PEG มาทดสอบ	3 g	ราคา 1.07 บาท
		ราคารวม 5.6125 บาท
น้ำหนักดินสูตร 3	103.6 g	ราคา 5.6125 บาท
ถ้าน้ำหนักดินสูตร 3	250 g	ราคา 13.54 บาท

สูตร 4

แป้ง 60 g

กาว 40 g

กลีเซอรอล (0.5%) 0.3 g

Borex (0.3%) 0.18 g

น้ำหนักดินสูตร 4 รวม 100.48 g

แป้ง	500 g	ราคา 16 บาท
ถ้านำแป้งมาทดสอบ	60 g	ราคา 1.92 บาท
กาว	307.2 g	ราคา 55 บาท
ถ้านำมากาวมาทดสอบ	40 g	ราคา 2.425 บาท
กลีเซอรอล	3142.5 g	ราคา 1050 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้านำกลีเซอรอลมาทดสอบ	0.18 g	ราคา 0.10 บาท
borax	60 g	ราคา 100 บาท
ถ้านำ borax มาทดสอบ	0.18 g	ราคา 0.30 บาท
		ราคารวม 4.745 บาท
น้ำหนักดินสูตร 4	100.48 g	ราคา 4.745 บาท
ถ้าน้ำหนักดินสูตร 4	250 g	ราคา 11.80 บาท

<u>สูตร 5</u>

แป้ง 60 g

กาว 40 g

กลีเซอรอล (7%) 4.2 g

น้ำหนักดินสูตร 5 รวม 104.2 g

แป้ง	500 g	ราคา 16 บาท
ถ้านำแป้งมาทดสอบ	60 g	ราคา 1.92 บาท
กาว	307.2 g	ราคา 55 บาท
ถ้านำมากาวมาทดสอบ	40 g	ราคา 2.425 บาท
กลีเซอรอล	3142.5 g	ราคา 10.50 บาท
ถ้านำกลีเซอรอลมาทดสอบ	0.18 g	ราคา 0.10 บาท
		ราคารวม 4.745 บาท
น้ำหนักดินสูตร 5	100.48 g	ราคา 5.748 บาท
ถ้าน้ำหนักดินสูตร 5	250 g	ราคา 13.79 บาท

หมายเหตุ

Glycerol มี Density เท่ากับ 1.2570 g / cm^3 , ปริมาตร 2500 cm^3 , น้ำหนัก 3142.5 กรัม ราคา 1050 บาท

PEG มี Density เท่ากับ 1.126 g / cm^3 , ปริมาตร 1000 cm^3 , น้ำหนัก 1126 กรัม ราคา 400 บาท

กาว Latex มีน้ำหนัก 907.2 กรัม ราคา 55 บาท

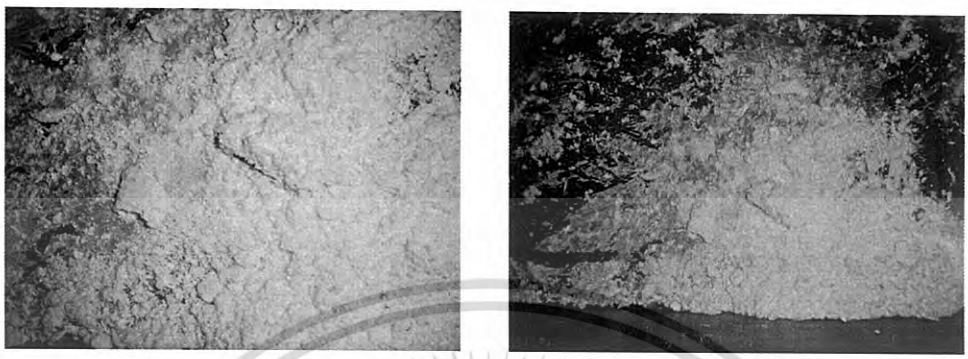
Borax มีน้ำหนัก 60 กรัม ราคา 100 บาท

แป้งมันสำปะหลัง มีน้ำหนัก 500 กรัม ราคา 16 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

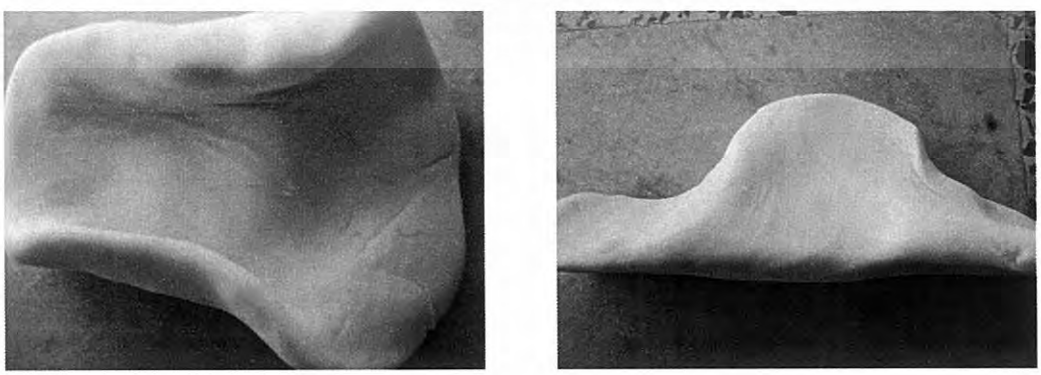
ภาคผนวก ง.

รูปที่ ง.1 แสดงลักษณะของแป้ง ที่มีปริมาณมากกว่ากาว Latex ในการผสม

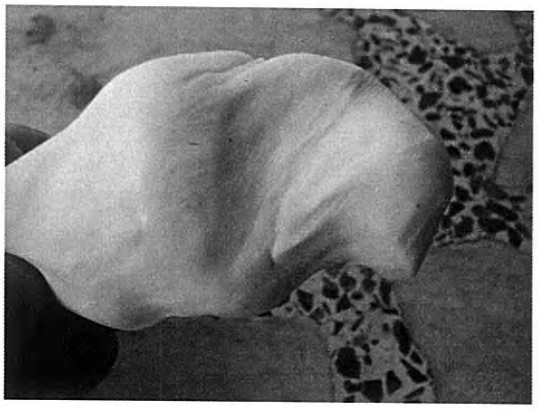
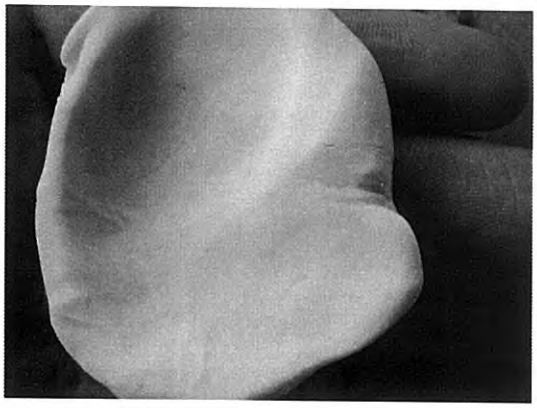


รูปที่ ง.2 แสดงลักษณะของกาว Latex ที่มีปริมาณมากกว่าแป้ง ในการผสม

รูปที่ ง.3 แสดงลักษณะของดินที่ทำการทดลองแล้วพบว่าปริมาณของแป้งกับกาว Latex ควรจะมีอัตราส่วน 60 ต่อ 40 ตามลำดับ ถึงจะสามารถปั้นแล้วขึ้นรูปได้

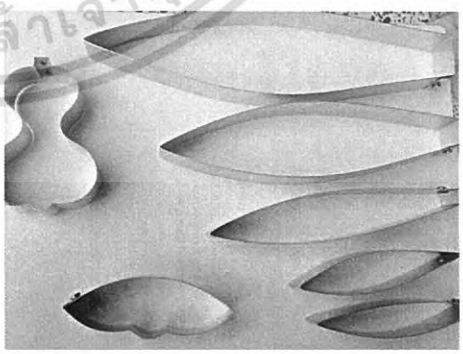


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ง.4 ภาพของดินญี่ปุ่นที่นำเข้ามา

รูปที่ ง.5 ภาพของเครื่องรีดที่สามารถปรับขนาดได้ และแม่แบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. กล้าณรงค์ ศรีรอต, ดร. 2544. *แป้งและอนุพันธ์ของแป้ง: การผลิตและประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร*. เอกสารประกอบการบรรยายทางวิชาการ. มูลนิธิอายิโนะโมะโต๊ะ กรุงเทพฯ: 1-8

2. R.G.F. Vissers. 1996. *Comparison of starches from different botanical sources*. In advanced Post Academic Course on Tapioca Starch Technology. Jan 22-26 & Feb. 19-23, ATI Center, Bangkok.

3. J.P.M. Sander. 1996. *Starch manufacturing in the world*. In advanced Post Academic Course on Taioca Technology. Jan. 22-26 & Feb. 19-23, ATI Center, Bangkok.

4. G.M.A. Beynum and J.A. Roels. 1985 Starch Conversion Technology. Marcel Dekker, Ind., New York. 326

5. T.J. Schoch. 1965. *Starch in bakery products*. Baker's Digest 39(2): 48-57.

6. S.Hizukuri. 1988. *Recent advances in molecular structure of starch*. J. Jpn. Soc. Starch Sci. 31: 185

7. R.L. Whistler and J.R. Deniel. 1984. *Molecular structure of starch*. pp. 153-178. In R.L. Whistler, J.N. Bemiller, and E.F. Paschall (Eds.) Starch: Chemistry and Technology. 2nd Ed.Academic Press, Inc., Florida.

8. J.M.V. Blanshard. 1987. *Starch granule structure and function* : A physicochemical approach. In T.Gailliard (Ed.). Starch : *Propertiesand Potential*. John Wiley and Sons., New York.

9. กล้าณรงค์ ศรีรอต, ดร. 2542. *เทคโนโลยีของแป้ง*. บ. เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชัน จำกัด. กรุงเทพฯ : 87-100.

10. J.W. Knight. 1969. *The Starch Industry*. Pergamon Press, Oxford. 189 p.

11. อรอนงค์ นัยวิกุล. 2538. *เคมีทางธัญญาหาร*. เอกสารคำสอนวิชา เคมีทางธัญญาหาร (วทอ. 511). ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 148 หน้า.

12. A. Eliasson and M. Gudmundsson. 1996. *Starch : Physicochemical and functional aspects*. pp. 431-503. In A. Eliasson. Carbohydrate in food. Marcel Dekker, Inc., New York. 561 p.

13. K. Piyachomkwan, S. Chotineeranart, R. Choolakup. K. Sriroth, and C.G. Oares. 1999. *Physico-chemical properties of starch from arrowroot (Maranta arundinacea)* : Their comparison and interaction to cassava starch. Starch/Starke.Submited.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. J.J.M. Swinkels. 1985. *Composition and properties of commercial native starches.* Starch/Starke. 37 : 1-5.

15. C.C. Maningat and P.A. Seib. 1992. *Starch : Occurrence. Isolation, and properties of starch granules.* In AACC Short Course- "Starch : Structure, Properties, and Food Uses." December 3-4, 1992. Chicago.

16. H.W. Leach. 1965. *Gelatinization of starch.* In R.L. Whistler, E.F. Paschall, J.N. BeMiller, and H.J. Roberts (EDs.). Starch ; Chemistry and Technology Vol 1. Academic Press, New York. pp. 289-307.

17. R.W.K. Emerson. 1995. *Chemistry and Industry of Starch* : 3-17.

18. ผศ.ดร. ตะวัน สุขน้อย. *อุตสาหกรรมปิโตรเคมี. หน้า* 42-43

19. เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์, ดร. 2540. *Polymer Science I.* เอกสารประกอบการสอน ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยโรงพิมพ์. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ : 117-119

20. รศ.ดร. มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์. *เคมีพอลิเมอร์.* หน้า 392-393

21. วรวิทย์ โพชนิกร. ผลของแป้งชนิดต่างๆ ที่มีต่อการเสื่อมสภาพของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในสภาวะฝังกลบ.หน้า 3-25. ISBN 974-324-544-8

22. www.kougei.or.jp/english/pottery.html

23. www.alibaba.com/countrysearch/TH-suppliers/Clay_Flower.html

24. www.yomiuri.co.jp/dy/columns/0005/lens140.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้