

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงสมบัติของแจ้ง เมล็ดมะขาม

เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

นายปรกฤษฏ์ คักดีศรีวิสุราช

นายक्रमิษฐ์ หอนบุญมาลสุทธิ

๑/๗.
๑/๑๖๖ก
๒๕๓๕

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วันเดือนปี.....

๖-12531108

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MODIFICATION OF TAMARIND KERNEL POWDER
FOR TEXTILE INDUSTRY

Mr. Prarakit Saksriviturach

Mr. Sorramit Horbunmasuit

The seal of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang is a large circular emblem. It features a central sunburst with rays emanating from a central point. Below the sunburst are three tiered, pagoda-like structures. The entire emblem is surrounded by a decorative border containing Thai text. The text at the top of the border reads 'สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง' (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang). The text at the bottom of the border reads 'กรมเทคโนโลยี' (Department of Technology).

A Special 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

1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การปรับปรุงสมบัติของแป้งเมล็ดมะขามเพื่อใช้ใน
อุตสาหกรรมสิ่งทอ

โดย

นายปรกฤษฏ์ คักดีศรีวิสุราช
นายक्रमิษฐ์ หอบญมาสุทธิ

ภาควิชา

เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. อรุณี คงศักดิ์ไพศาล

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้รับโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการโครงการพิเศษ

(ดร.ธีรวัฒน์ มงคลอัครวัฒน์)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

ประธานกรรมการ

(ผศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล)

กรรมการ

(อ.พรทิพย์ ศัพทอนันต์)

กรรมการ

(ผศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การปรับปรุงคุณสมบัติของแป้ง เมล็ดมะขาม เพื่อใช้ใน
 อุตสาหกรรมสิ่งทอ

นักศึกษา นายปรกฤษฎ์ ศักดิ์ศรีวิสุราช
 นายक्रमิษฐ์ หอบญมาสุทธิ

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. อรุณี คงศักดิ์ไพศาล

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2534



แป้ง เมล็ดมะขามสามารถเตรียมเป็นสารชั้นที่ใช้ในการพิมพ์ผ้า โดยการทำให้
 ปฏิกริยาไฮโดรไลซิส หรือทำปฏิกริยาอีเทอร์นิเคชันกับหมู่ไฮดรอกซีของแป้ง เมล็ดมะขาม
 ให้เป็นแป้งอนุพันธ์คาร์บอกซีเมทิล หรือทำปฏิกริยาเอสเทอร์นิเคชันให้เป็นแป้งอนุพันธ์
 ฟอสเฟต สารชั้นที่เตรียมได้จากทั้ง 3 วิธี เหมาะกับการพิมพ์ผ้าโดยใช้สตีลเพลสเพราะ
 ให้ความเข้มของสีในการพิมพ์ผ้าเท่ากับเมื่อใช้สารชั้นเชิงการค้า 301 EXTRA และ
 ความรู้สึกกระด้างน้อยกว่าผ้าที่พิมพ์โดยใช้สารชั้น 301 EXTRA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title MODIFICATION OF TAMARIND KERNEL
 POWDER FOR TEXTILE INDUSTRIAL

Name Mr.Prarakit Saksriviturach
 Mr.Sorramit Horhunmasut

Special Project Advisor Assistant Professor Arunee Kongsakphaisan

Department Chemistry

Academic Year 1991

Abstract

Tamarind Kernel Powder can be prepare , as thickener in cloth printing by hydrolysis reaction or by eterification reaction with hydroxyl group of tamarind kernel powder to produce carboxylmethyl starch , or by esterification reaction to be phosphate starch. Thickener , by these three methods , is suitable for cloth printing by disperse dyes , because the colour shade is semilar to the commercial thickener 301 EXTRA and give softer feeling cloth than 301 EXTRA .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ผศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ซึ่งให้คำปรึกษาแนะนำ ให้ความช่วยเหลือ ตลอดจนตรวจแก้ไขโครงงานพิเศษฉบับนี้ และขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล ประธานกรรมการตรวจและสอบ อาจารย์ พรทิพย์ ศัพทอนันต์ กรรมการตรวจและสอบ ที่ได้กรุณาตรวจแก้ไขโครงงานพิเศษให้สมบูรณ์

ทั้งนี้ผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ คุณงามจิต ถวัลย์วิษณุกุล และคุณงามเนตร บัวแก้ว จากกองอุตสาหกรรมสิ่งทอ ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือในการทดสอบการพิมพ์ผ้า

นายปรกฤษฎ์ ศักดิ์ศรีวิฑูรราช

นายศรมินทร์ หอบญมาสุทธิ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
-ลักษณะทั่วไปของมะขาม	1
-ลักษณะทั่วไปของเมล็ดมะขาม	2
-สาเหตุในการนำแป้งเมล็ดมะขามมาใช้ทำเป็นสารขึ้น	3
-วัตถุประสงค์การทำโครงการพิเศษ	4
-ขั้นตอนการดำเนินงานโครงการพิเศษโดยย่อ	5
-ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำโครงการพิเศษ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	6
-โครงสร้างทางเคมีของแป้ง	6
-ปรากฏการณ์การเกิดเจล	10
-โครงสร้างทางเคมีของแป้งเมล็ดมะขาม	14
-อนุพันธ์คาร์บอกซีเมทิลของแป้งเมล็ดมะขาม	16
-อนุพันธ์ฟอสเฟตของแป้งเมล็ดมะขาม	17
-สารขึ้นในการพิมพ์ผ้า	18
-การพิมพ์ผ้ากับสารขึ้นในการพิมพ์ผ้า	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การทดลอง	22
-เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	22
-สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	23
-วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	23
-วิธีการทดลอง	24
1. การเตรียมแป้ง เมล็ดมะขามปรับปรุง	24
2. การหาค่าองค์การแทนที่ของอนุพันธ์คาร์บอกซีเมทิล	26
3. การหาปริมาณฟอสฟอรัส	27
4. การวัดสมบัติทางกายภาพ	28
5. การทดสอบการพิมพ์ผ้า	29
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	34
-การเตรียมแป้ง เมล็ดมะขามปรับปรุง	34
-การวัดสมบัติทางกายภาพของสารขึ้น	35
-การทดสอบการพิมพ์ผ้า	39
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	40
-สรุปผลการศึกษา	40
-ข้อเสนอแนะ	42

ภาคผนวก

เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยและปริมาณน้ำที่ดูดซับ ของแป้งชนิดต่าง ๆ	10
ตารางที่ 2.2 แสดงอุณหภูมิการเกิดเจลของโคฟเลอร์	12
ตารางที่ 2.3 แสดงสมบัติของส่วนประกอบต่าง ๆ ของเนื้อในเมล็ดมะขาม	14
ตารางที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติระหว่างสารขั้วชนิดที่มีปริมาณเนื้อสารสูง และชนิดที่มีปริมาณเนื้อสารต่ำ	21
ตารางที่ 3.1 แสดงความเข้มข้นของอนุพันธ์ของแป้งเมล็ดมะขามที่เตรียมได้และ ความเหนียวของสารขั้วเชิงการค้า	30
ตารางที่ 3.2 แสดงสูตรการเตรียม stock paste	31
ตารางที่ 3.3 แสดงสูตรการเตรียมแป้งพิมพ์สำหรับลิรีแอกทีฟ	31
ตารางที่ 3.4 แสดงสูตรการเตรียมแป้งพิมพ์สำหรับสตีลเพอร์ส	33
ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเหนียวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของแป้งปรับปรุง และแป้งเมล็ดมะขาม	36
ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเหนียวที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของแป้ง ปรับปรุงและแป้งเมล็ดมะขาม	37
ตารางที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างนิเอกกับความเหนียวของแป้งปรับปรุง	38

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของอะไมโลสที่กระจายตัวอยู่ในน้ำที่ความเข้มข้นสูงและต่ำ	7
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะโครงร่างของอะไมโลเปกติน	8
รูปที่ 2.3 แสดงเม็ดแป้งข้าวโพดที่ถ่ายด้วยกล้องโพลาริซ์ไมโครสโคป	9
รูปที่ 2.4 แสดงความหนืดที่วัดได้จากเครื่องวัดความหนืดบาร์เบนเดอร์	12
รูปที่ 2.5 แสดงค่าแผนภาพของโครงสร้างของพอลิแซคคาไรด์ส่วนที่ 2 ของเนื้อใน เมล็ดมะขาม	15
รูปที่ 2.6 แสดงค่าแผนภาพของโครงสร้างของพอลิแซคคาไรด์ส่วนที่ 3 ของเนื้อใน เมล็ดมะขาม	15
รูปที่ 2.7 แสดงปฏิกิริยาการเกิด TKP-CM	16

บทที่ :

บทนำ



มะขามเป็นพืชเศรษฐกิจอย่างหนึ่ง มีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมอยู่ทางตอนใต้ของทวีปเอเชีย และ แอฟริกาตะวันออก โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีมากในป่าของประเทศอินเดีย ต้นมะขามเป็นที่รู้จักกันในชื่อ Tamarind สำหรับประเทศไทยมะขามมีขึ้นอยู่ทั่วไปแทบทุกภาคของประเทศ โดยจัดเป็นไม้ผลยืนต้นที่มีพื้นที่ปลูกมาก และมีการส่งออกขาย นำรายได้เข้าประเทศ โดยมะขามที่ส่งออกทั้งหมดเป็น มะขามเปรี้ยว ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปมะขามเปียก ประเทศที่เราส่งออกไปขายมีตั้งแต่ในทวีปเอเชียด้วยกัน ไปจนถึงประเทศตะวันออกกลาง แอฟริกา ยุโรป และสหรัฐอเมริกา นับว่ามีตลาดกว้างขวางมาก การที่เราส่งออกมะขามในรูปมะขามเปียก ทำให้มีเมล็ดมะขามเป็นของเหลือจำนวนมาก จึงควรที่จะมีการส่งเสริมให้มีการส่งเสริมให้มีการค้นคว้า และวิจัยเกี่ยวกับเมล็ดมะขามให้มากยิ่งขึ้น เพื่อนำสิ่งที่เหลือใช้จำนวนมากนี้กลับมาใช้ประโยชน์ต่อไป

ลักษณะทั่วไปของมะขาม

มะขามมีชื่อสามัญว่า	Tamarind
ชื่อวิทยาศาสตร์	<u>Tamarindus indica</u> linn.
อยู่ในวงศ์	Leguminosae
สกุล	Tamarindes
ชนิด	indica

1. ลักษณะลำต้นและใบ มะขามเป็นไม้ผลยืนต้นขนาดใหญ่ที่มีสีเขียวตลอดปี เจริญเติบโตได้รวดเร็วและมีอายุยืนมากกว่าร้อยปี มะขามเป็นพืชใบเลี้ยงคู่ ลักษณะของใบจะเป็นใบเล็ก ๆ ติดอยู่บนก้านใบใหญ่อีกทอดหนึ่ง เรียกใบชนิดนี้ว่าใบประกอบ ในก้านใบหนึ่ง ๆ จะมีใบย่อยประมาณ 24-32 ใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ลักษณะฝัก ฝักหรือผลมะขามเป็นชนิดเดี่ยวหรือฝักเดี่ยว แต่มีหลายเมล็ด ฝักมีลักษณะแบนใหญ่ ยาว 10-15 ซม. เปลือกฝักดิบจะมีสีเขียว เมื่อแก่จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล

3. เนื้อผล ส่วนที่เป็นเนื้อมะขามจะมีสีต่าง ๆ ตั้งแต่สีเหลือง สีน้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลแดง จนถึงสีน้ำตาลเข้มเกือบดำ ขึ้นอยู่กับพันธุ์ของมะขามนั้น เนื้อมะขามที่มีคุณภาพดีจะต้องไม่มีเส้นใย เปลือกฝัก หรือเมล็ดปน โดยที่ในเนื้อมะขามจะประกอบด้วย ความชื้น 20-30 เปอร์เซ็นต์ กรด 10-13 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาล 25-30 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณกรดและน้ำตาลจะเป็นสิ่งที่ชี้บอกถึงรสของเนื้อมะขามนั้น ๆ (กรดที่อยู่ในมะขามคือ กรดทาร์ทาริก 8-10 เปอร์เซ็นต์ กรดแล็กติก และ กรดออกซาลิก ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์)

4. เมล็ดมะขาม มีลักษณะแบนและมีรูปร่างไม่แน่นอน คือ อาจมีลักษณะกลมรี หรือเป็นสี่เหลี่ยมมุมมน

ลักษณะทั่วไปของ เมล็ดมะขาม

เมล็ดมะขามมีลักษณะแบนและมีรูปร่างไม่แน่นอน คืออาจมีลักษณะกลมรี หรือเป็นสี่เหลี่ยมมุมมนประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

1. เปลือกนอกเมล็ด เป็นส่วนที่มีลักษณะแข็งอยู่ภายนอกของเมล็ด มีสีน้ำตาลเข้ม และมีผิวที่มันเงา เมื่อนำเมล็ดมะขามไปคั่ว เปลือกนอกจะเปราะ ทำให้สามารถแยกออกจากส่วนเนื้อในเมล็ดได้

2. เนื้อในเมล็ด เป็นส่วนที่มีอยู่ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ของเมล็ดมีสีขาวนวล มีส่วนประกอบของสารหลายชนิด เช่น พอลิแซคคาไรด์ โปรตีน เส้นใยไขมัน แทนนิน น้ำตาลอิสระ และเกลืออนินทรีย์ เป็นต้น

เมื่อนำเมล็ดมะขามมาแยกเอาส่วนเนื้อในเมล็ดไปทำการบด จะได้ผงแป้งสีขาวนวล ซึ่งมีองค์ประกอบใกล้เคียงกับแป้งที่ได้จากธัญพืชชนิดอื่นได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรตีน	15.4 - 22.7	เปอร์เซ็นต์
น้ำมัน	3.9 - 7.4	เปอร์เซ็นต์
เส้นใยหยาบ	0.7 - 0.2	เปอร์เซ็นต์
คาร์โบไฮเดรต	65.1 - 72.2	เปอร์เซ็นต์
เถ้า	2.45 - 3.3	เปอร์เซ็นต์

โปรตีนในเมล็ดมะขามมีค่าสูงกว่า แป้งสาลี หรือแป้งข้าวโพด แต่ต่ำกว่า ข้าวฟ่างเท่านั้น แต่มีประโยชน์น้อยกว่าแป้งชนิดอื่น และแป้งเมล็ดมะขามเพียงชนิดเดียวมี ปริมาณสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายไม่เพียงพอ ถึงแม้ว่าจะมีโปรตีนสูงกว่าข้าวฟ่างชนิดอื่นก็ตาม

นอกจากจะสามารถใช้แป้งเมล็ดมะขามเป็นอาหารแล้ว ในสมัยสงครามโลก ครั้งที่ 2 ที่ประเทศอินเดีย ได้มีการนำแป้งเมล็ดมะขามไปใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เพื่อ ทดแทนแป้งจากเมล็ดพืชอย่างอื่น ๆ ที่ต้องนำไปเป็นอาหาร โดยใช้เป็นน้ำยาชุบด้ายยีน (sizing agent) จากนั้นได้มีการนำเอาแป้งเมล็ดมะขามมาใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ อย่างแพร่หลายทำให้เมล็ดมะขามมีคุณค่ามากขึ้น

สาเหตุในการนำแป้งเมล็ดมะขามมาใช้ทำเป็นสารขั้ว

เนื่องจากแป้งเมล็ดมะขามเป็นของเหลือ ที่มีปริมาณมากจากอุตสาหกรรมทำ มะขามเปียก และในประเทศไทยยังไม่มีการนำแป้งเมล็ดมะขามมาใช้ประโยชน์เท่าที่ควร นอกจากนี้แป้งเมล็ดมะขามมีสมบัติที่ดี คือ เมื่อกระจายตัวในน้ำเย็น จะอยู่ในลักษณะเป็น สารแขวนลอย เมื่อทิ้งไว้จะแยกตัวโดยสามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้เมื่อให้ความร้อน พบว่าความหนืดของแป้งเมล็ดมะขามที่แขวนลอยจะสูงกว่าแป้งชนิดอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาพบว่าแป้งเมล็ดมะขามมีสมบัติที่น่าสนใจอีกคือ

- เมื่อเตรียมเป็นอนุพันธ์ของแป้งเมล็ดมะขามแล้ว สามารถละลายได้ในน้ำเย็น
- อนุพันธ์ของแป้งเมล็ดมะขาม เมื่อทำเป็นสารชั้นสามารถที่จะใช้ในการพิมพ์ผ้า ลิติลเฟิลได้
- อนุพันธ์ของแป้งเมล็ดมะขามเมื่อเตรียมเป็นสารชั้นแล้วสามารถล้างออกได้ง่าย
- คงทนต่อการเก็บ
- มีราคาถูก

ดังนั้นในโครงการพิเศษนี้ จะศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแป้งเมล็ดมะขาม มาปรับปรุงโดยวิธีการทางเคมี เพื่อหาวิธีการปรับปรุงแป้งเมล็ดมะขามที่เหมาะสมในการนำไปใช้เป็นสารชั้น ทั้งในแง่คุณสมบัติการใช้งานและความเป็นไปได้ของกระบวนการที่จะนำไปใช้ในการผลิตในอุตสาหกรรม

วัตถุประสงค์ของการทำงานโครงการพิเศษ

1. เพื่อศึกษาการเตรียมสารชั้นจากแป้งเมล็ดมะขาม สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ
2. เพื่อศึกษาสมบัติของสารชั้นที่เตรียมจากอนุพันธ์ต่าง ๆ ของแป้งเมล็ดมะขาม
3. เพื่อศึกษาผลของสารชั้นที่เตรียมได้จากแป้งเมล็ดมะขามสำหรับใช้ในการพิมพ์ผ้าเปรียบเทียบกับสารชั้นที่ใช้ในเชิงการค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการดำเนินงานโครงการพิเศษโดยย่อ

1. เตรียมอนุพันธ์ฟอสเฟต และ อนุพันธ์คาร์บอกซีเมทิลของแป้งเมล็ดมะขาม หรือจากการปรับปรุงสมบัติของแป้งเมล็ดมะขาม โดยการย่อยโมเลกุลของแป้งให้เล็กลงแล้วทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุล (crosslinked)
2. ทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของสารชั้นที่เตรียมได้ เช่น อุณหภูมิในการเกิดเจล ผลของอุณหภูมิ และพีเอช ที่มีต่อความหนืด และความหนืดที่ความเข้มข้นต่าง ๆ
3. ทำการทดสอบการพิมพ์ผ้าของสารชั้นที่เตรียมได้ เมื่อเปรียบเทียบกับสารชั้นที่ใช้ในเชิงการค้า
4. วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการวิจัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำโครงการพิเศษ

1. ทำให้ทราบว่า แป้งเมล็ดมะขามสามารถที่จะเตรียมเป็นสารชั้นที่ใช้ในการพิมพ์ผ้าในอุตสาหกรรมสิ่งทอได้
2. ทำให้ทราบว่า วิธีการปรับปรุงแป้งเมล็ดมะขามที่เหมาะสมในการเตรียมเป็นสารชั้น
3. ทำให้ทราบว่า สารชั้นที่เตรียมจากแป้งเมล็ดมะขามสามารถนำไปใช้กับสีชนิดต่าง ๆ สำหรับการพิมพ์ผ้าชนิดใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

โครงสร้างทางเคมีของแป้ง

แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์หลัก 2 ชนิดคือ อะไมโลส (amylose) และ อะไมโลเพกทิน (amylopectin)

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เส้นตรง ประกอบด้วยหน่วยของแอนไฮโดรกลูโคส (anhydroglucose) ที่เชื่อมกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก $-D-(1,4)$ $[-D-(1,4)$ glucosidic bond] ขนาดโมเลกุลของอะไมโลสจะขึ้นกับแหล่งที่ให้แป้งและสภาวะของกระบวนการที่แยกแป้ง อะไมโลสประกอบด้วยหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสประมาณ 200-2000 หน่วย และที่ปลายข้างหนึ่งของโมเลกุลพอลิเมอร์หน่วยแอนไฮโดรกลูโคส มีหมู่ไฮดรอกซีปฐมภูมิ (primary hydroxyl) 1 หมู่ หมู่ไฮดรอกซีทุติยภูมิ (secondary hydroxyl) ที่มีลักษณะคล้ายกลุ่มที่เกิดจากอัลดีไฮด์ (aldehyde) ในรูปของอินเนอร์ฮีมิอะซีทัล (inner hemiacetal) 2 หมู่ ส่วนนี้เรียกว่า "reducing end" ส่วนอีกปลายที่เหลือ (nonreducing end) มีแอนไฮโดรกลูโคสที่มีหมู่ไฮดรอกซีปฐมภูมิ 1 หมู่ และหมู่ไฮดรอกซีทุติยภูมิ 3 หมู่ ส่วนแอนไฮโดรกลูโคสที่เหลือมีหมู่ไฮดรอกซีปฐมภูมิ 1 หมู่ และหมู่ไฮดรอกซีทุติยภูมิ 2 หมู่

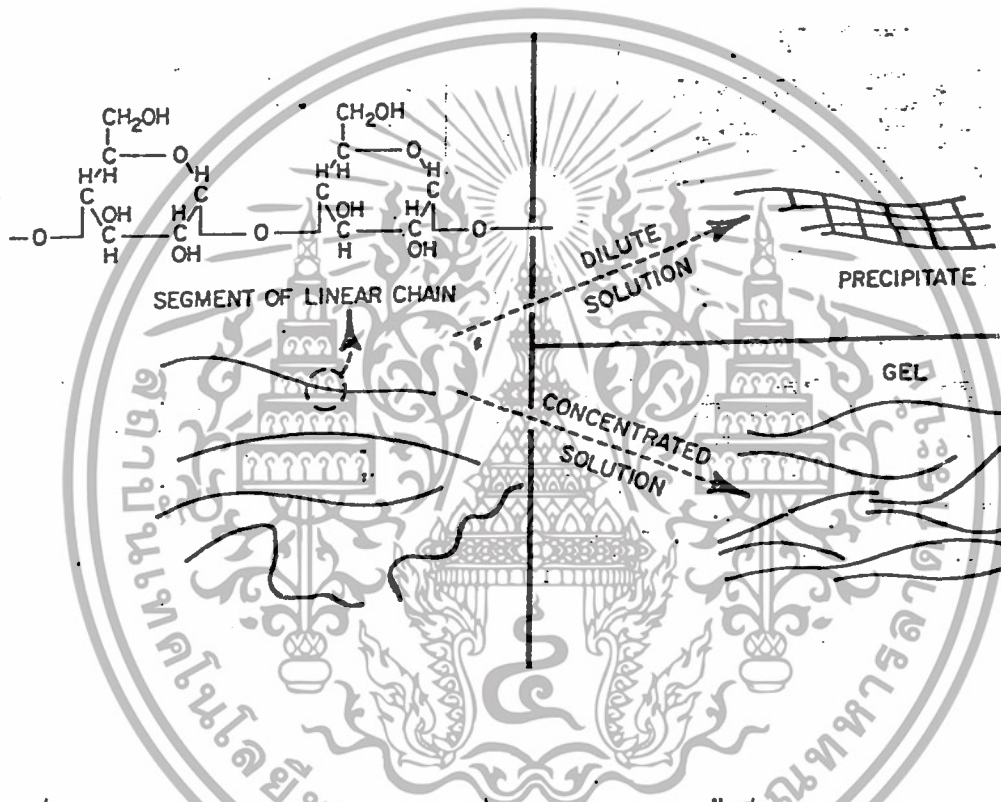
หมู่ไฮดรอกซีที่มีปริมาณมากทำให้พอลิเมอร์มีสมบัติไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) ทำให้ดูดความชื้นและกระจายตัวในน้ำได้ อย่างไรก็ตามเพราะโมเลกุลมีลักษณะที่เป็นเส้นตรง และมีหมู่ไฮดรอกซีทำให้อะไมโลสจัดเรียงตัวขนานกัน และใกล้กันพอที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล ทำให้เกิดโครงสร้างร่างตาข่ายขึ้น ทำให้สมบัติไฮโดรฟิลิกลดน้อยลง และสารละลายที่ได้จะมีลักษณะขุ่น

ในสารละลายเจือจาง จะเกิดจากการรวมกันตัวของอะไมโลสที่ติดกัน

เพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ทำให้เกิดการตกตะกอนได้ สำหรับที่ความเข้มข้นสูง ๆ ผลของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเตอริกฮินแดนซ์ (steric hindrance) จะขัดขวางการรวมตัว แต่จะมีการจัดตัวเพียงบางส่วนระหว่างช่วงของสายโซ่โมเลกุล ทำให้ได้เจลที่มีร่างแหสามมิติที่ยึดติดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยทั่วไปมักทำให้เกิดฟิล์มที่มีความแข็งแรง

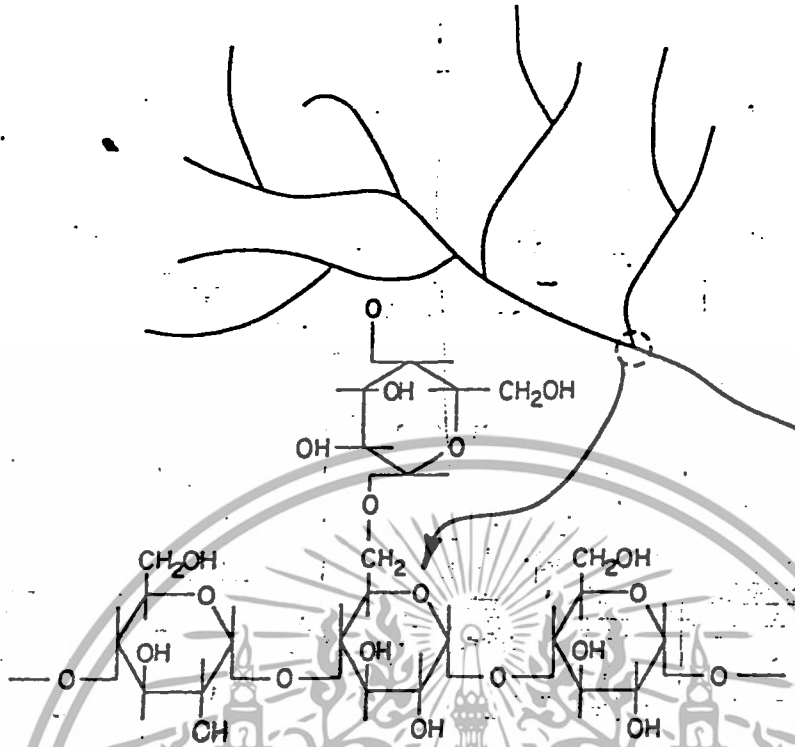
ปรากฏการณ์ยึดติดกันระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสเรียกว่า รีโทรเกรเดชั่น retrogradation ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของอะไมโลสที่กระจายตัวอยู่ในน้ำที่ความเข้มข้นสูงและต่ำ

อะไมโลเปกติน เป็นพอลิเมอร์ที่มีโซ่สาขา โมเลกุลประกอบด้วยหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส ต่อกันอยู่ในรูปแบบของอะไมโลสด้วยพันธะกลูโคซิดิก -D-(1,4) [-D-(1,4) glucosidic bond] และพันธะที่คาร์บอน ตำแหน่งที่ 6 ด้วยพันธะกลูโคซิดิก -D-(1-6) [-D-(1-6) glucosidic bond] แต่ละโซ่สาขาในอะไมโลอะไมโลเปกตินมีหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสประมาณ 20-30 หน่วย โครงสร้างของอะไมโลอะไมโลเปกติน และหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสที่เป็นโซ่สาขา แสดงในรูปที่ 2.2

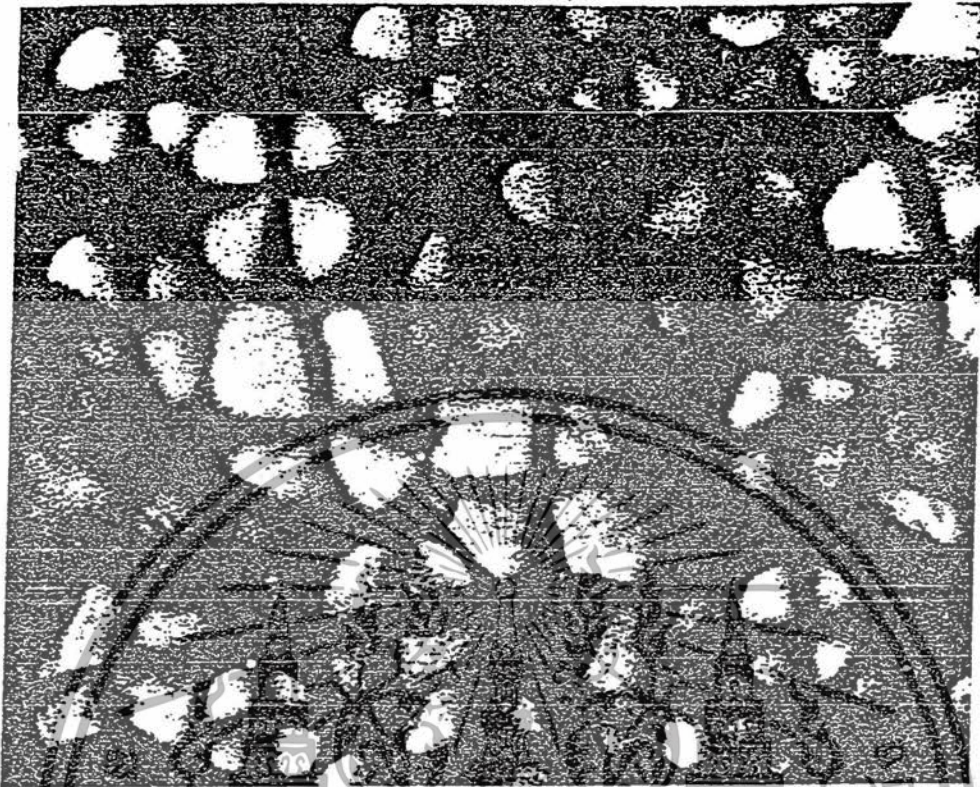
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะโครงสร้างของอะไมโลเพกติน

อะไมโลเพกตินเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่กว่าอะไมโลส และการมีโซ่สาขาของ อะไมโลเพกติน จึงลดการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ และขัดขวางการที่สายโซ่ จะเกิดการเรียงตัวให้ใกล้กันพอที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจน ด้วยเหตุนี้สารละลายของ อะไมโลเพกตินจึงมีลักษณะใส फिल्मที่ได้จากอะไมโลเพกตินไม่มีความแข็งแรงและไม่ สามารถโค้งงอได้เหมือน फिल्मที่ได้จากอะไมโลส

สายโซ่หลักของอะไมโลเพกตินและอะไมโลสอยู่ขนานติดกัน จะมีโอกาสที่จะ เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างส่วนที่ติดกันได้ ทำให้เกิดกลุ่มของโครงผลึก (micellar crystallites) ซึ่งจะเป็ตัวยึดให้เป็งอยู่เป็นเม็ด และมีสมบัติไบรฟริงเจนท์ (birefringent) ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นได้โดยการเกิดโพลาไรเซชันครอส (polarization cross) ดังแสดงในรูปที่ 2.3

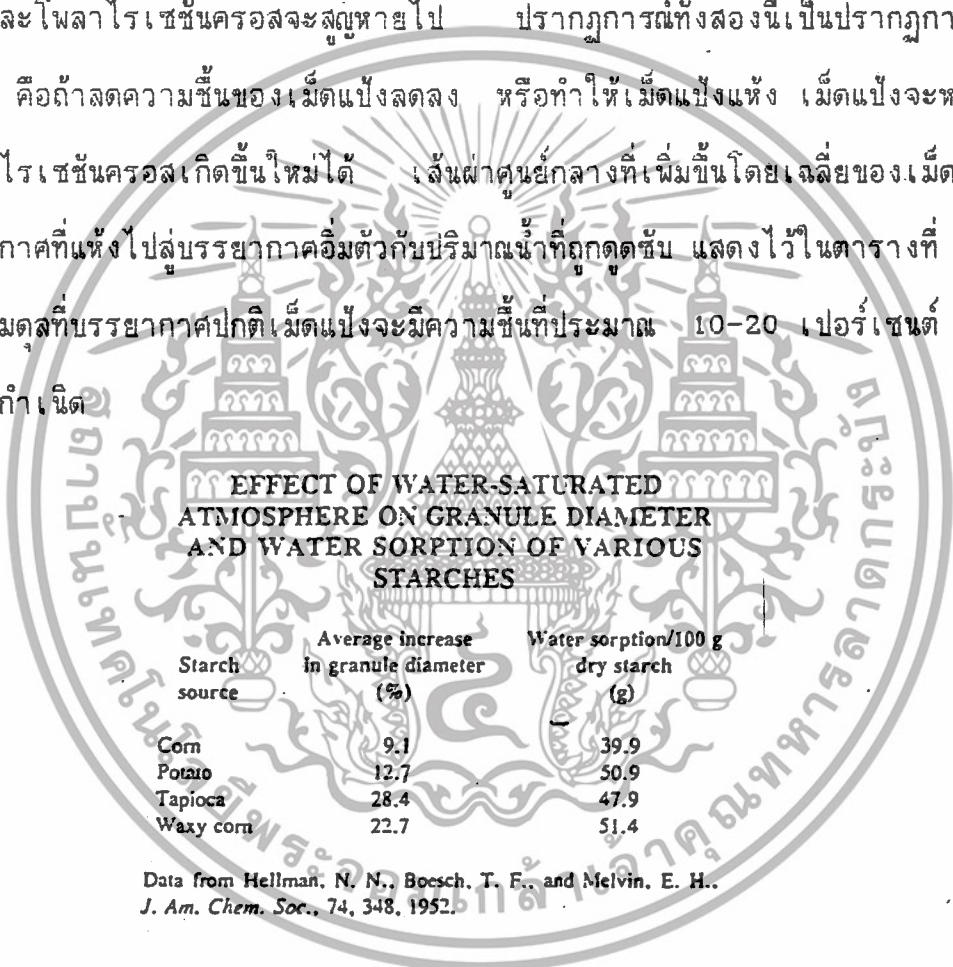


รูปที่ 2.๑ แสดงรูปของเม็ดแป้งข้าวโพดที่ถ่ายด้วยกล้องโพลาไรซ์ไมโครสโคป

โพลาไรซ์ชั้นที่สองของแป้งแวกซี (waxy starch) ซึ่งมีองค์ประกอบเกือบทั้งหมดเป็นอะไมโลเพกติน จะให้ผลเหมือนกับแป้งธรรมดา ด้วยเหตุนี้ อะไมโลเพกติน จึงเป็นโครงสร้างหลักของเม็ดแป้ง

ปรากฏการณ์การเกิดเจล

โดยทั่วไปเม็ดแป้งไม่ละลายในน้ำเย็น เมื่อนำเม็ดแป้งมาล่อด้วย กล้อง-
 โพลาริไรซ์ไมโครสโคป จะเกิดโพลาริเซชันครอส และแป้งจะมีขีดจำกัดในการดูดน้ำ
 เมื่อปล่อยในที่ที่มีความชื้นสูง เมื่อนำแป้งมากระจายตัวในน้ำ เม็ดแป้งจะเกิดการบวมตัว
 เพิ่มขึ้น และโพลาริเซชันครอสจะสูญหายไป ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้เป็นปรากฏการณ์ที่
 ผันกลับได้ คือถ้าลดความชื้นของเม็ดแป้งลดลง หรือทำให้เม็ดแป้งแห้ง เม็ดแป้งจะหดตัว
 และมีโพลาริเซชันครอสเกิดขึ้นใหม่ได้ เส้นผ่าศูนย์กลางที่เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยของเม็ดแป้ง
 จากบรรยากาศที่แห้งไปสู่บรรยากาศอิ่มตัวกับปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับ แสดงไว้ในตารางที่ 2.1
 เมื่อเข้าสู่สมดุลที่บรรยากาศปกติเม็ดแป้งจะมีความชื้นที่ประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ ขึ้น
 อยู่กับแหล่งกำเนิด



ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย และปริมาณน้ำที่ดูดซับ
 ของแป้งชนิดต่าง ๆ

เมื่อนำแป้งที่กระจายตัวในน้ำมาให้ความร้อนเหนืออุณหภูมิวิกฤตค่าหนึ่ง ซึ่งจะ
 เปลี่ยนแปลงตามชนิดของแป้งและปัจจัยอื่น ๆ พันธะไฮโดรเจนที่ยึดโครงสร้างเม็ดแป้งไว้
 จะอ่อนตัวลง ปล่อยให้ น้ำแทรก และล้อมรอบส่วนที่เป็นโซโมเลกุลของอะไมโลเพกทิน
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเหตุการณ์นี้เกิดขึ้นโมเลกุลเริ่มที่จะจัดตัวเป็นเกลียว ทำให้เกิดความดันซึ่งเป็นสาเหตุให้เม็ดแป้งคุดน้ำ และบวมตัวเป็นหลายเท่าของปริมาตรเริ่มต้น

ระหว่างการบวมตัว อะไมโลสจะพยายามแยกออกจากเม็ดแป้งและปล่อยให้ อะไมโล เปกตินมีน้ำล้อมรอบสูงขึ้น สารแขวนลอยเริ่มจะใส และความหนืดของ สารแขวนลอยเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงจุดที่เม็ดแป้งถูกน้ำล้อมรอบได้สูงสุด เมื่อให้ความร้อนต่อไปเม็ดแป้งจะแตก และปล่อยโมเลกุลของอะไมโลสออกมา ความหนืดจะลดลง เมื่อทำให้สารละลายเย็นความโปร่งใสจะลดลง และความหนืดมีแนวโน้มสูงขึ้น ในกรณีของธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพดและแป้งสาลี สารละลายจะเกิดเป็นเจลที่ความเข้มข้นสูง การวัดอุณหภูมิการเกิดเจล มีหลายวิธี วิธีที่ว่องไวสำหรับวัดอุณหภูมิการเกิดเจล คือ การส่องด้วยกล้องโพลาไรซ์ไมโครสโคป พร้อมกับให้ความร้อนบนแท่นอุณหภูมิที่เม็ดแป้งเริ่มสูญเสียไบร์ฟริงเจนท์ (birefringence) เป็นอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจล จุดสิ้นสุดการเกิดเจลเกิดขึ้นเมื่อ 98 เปอร์เซ็นต์ของเม็ดแป้งสูญเสียไบร์ฟริงเจนท์ อุณหภูมิการเกิดเจลของโคפלเลอร์ (Kofler gelization temperature) แสดงในตารางที่ 2.2 อีกวิธีเป็นการวัดความหนืดที่เพิ่มขึ้น เมื่อให้ความร้อนโดยใช้ เครื่องวัดความหนืดบราเบนเดอร์ (brabender viscometer) ซึ่งเป็นเครื่องวัดที่ ออกแบบให้ทำการวัดได้ต่อเนื่อง ในขณะที่ให้ความร้อน หรือให้ความเย็นแก่สารแขวนลอย ของแป้ง โดยสารแขวนลอยของแป้งในน้ำถูกให้ความร้อน ในถ้วยที่หมุนด้วยความเร็ว คงที่ การหมุนของตัวอย่างทำให้เกิดแรงหมุนรอบแกนโลหะที่ติดกับหมุดโลหะหลายตัวที่จุ่มลง มาในตัวอย่าง แรงหมุนนี้ถูกทำให้สมดุลโดยแรงทอร์ชั่น (torsion) ของการหมุนรอบ ตัวเองของแกนโลหะ และจะส่งสัญญาณไปยังทีกอย่างต่อเนื่อง ทำให้ได้กราฟที่แสดง ความหนืดของบราเบนเดอร์ (brabender viscosgraphs) ดังแสดงในรูป 2.4

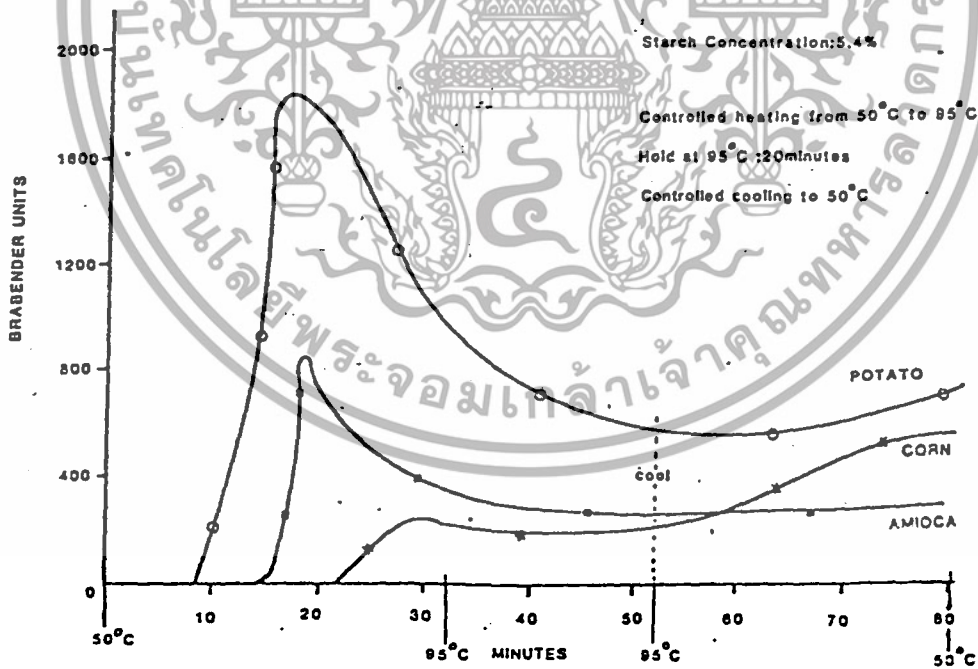
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KOFLER GELATINIZATION TEMPERATURE (°C) OF COMMON NATIVE STARCHES

Corn	62—73
Waxy maize	62.5—72
Sorghum	68—75
Waxy sorghum	67.5—74
Idaho potato	56—67
Maine potato	59—67.5
Dominican tapioca	58.5—70

Data from Schoch, T. J. and Maywald. E. C., *Anal. Chem.*, 28, 382, 1956.

ตารางที่ 2.2 แสดงอุณหภูมิการเกิดเจลของโคฟเลอร์



รูปที่ 2.4 แสดงความหนืดที่วัดได้จากเครื่องวัดความหนืดบาร์เบนเดอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายของแป้งได้แก่แป้งข้าวโพด และข้าวสาลี มีความสัมพันธ์กับปริมาณของโมเลกุลอะไมโลส ซึ่งจะขุ่นและเกิดเจลเมื่อเย็น ขณะที่แป้งจากมันฝรั่งยังมีความโปร่งใสมากกว่าและไม่เกิดเป็นเจลเมื่อเย็น แป้งข้าวโพดชนิดแวกซี (waxy corn starch) จะมีพฤติกรรมคล้ายแป้งมันฝรั่ง พฤติกรรมที่ต่างกันของแป้งมันฝรั่งและแป้งข้าวโพด อาจมาจากลักษณะที่มีปริมาณของอะไมโลสแตกต่างกัน และอีกปัจจัยหนึ่งในกรณีของแป้งมันฝรั่งที่มีหมู่ฟอสเฟตอยู่บ้าง

สมบัติของแป้งที่ยังไม่ปรับปรุง และสมบัติของเจลที่ได้จากการให้ความร้อนกับสารแขวนลอยของแป้งที่ยังไม่ปรับปรุง เป็นข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้ของแป้งที่ยังไม่ปรับปรุงในทางด้านพาณิชย์ เนื่องจากต้องให้ความร้อนแก่สารแขวนลอยจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ นอกจากนี้ยังรวมถึงในข้อบกพร่องในเรื่อง การขาดสมบัติการไหลอย่างอิสระหรือการไม่รวมตัวกับน้ำของเม็ดแป้ง การขาดความสามารถในการบวมและเพิ่มความหนืดในน้ำเย็น และภายหลังจากการให้ความร้อน ความหนืดสูงเกินไปหรือไม่สามารถควบคุมได้

ลักษณะบวมการตัวและความสามารถในการละลายของแป้ง สามารถเปลี่ยนแปลงโดยการปรับปรุงทางเคมี การปรับปรุงด้วยกรด (acid modification) เป็นวิธีการที่เก่าแก่ที่สุดและใช้อย่างกว้างขวางในกระบวนการทางการค้า ในการผลิตแป้งที่มีความหนืดต่ำ จะทำการผลมกรดที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจล

แป้งที่มีความหนืดสูงทำได้โดยการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน หรือ ปฏิกิริยาอีเทอร์ฟิเคชัน การทำปฏิกิริยานี้ จะทำให้พันธะไฮโดรเจนภายในเม็ดแป้งอ่อนตัวลง โดยการใส่หมู่แทนที่เข้าไปในโมเลกุลแป้งซึ่งทำให้อุณหภูมิการเกิดเจลต่ำลง และเพิ่มสมบัติการบวมตัวของแป้ง การลดลงของอุณหภูมิการเกิดเจลและการเพิ่มขึ้นของการบวมตัวจะขึ้นอยู่กับองศาการแทนที่ (degree of substitution) และธรรมชาติทางเคมีของหมู่แทนที่ จะเกิดการผลกกันระหว่างโมเลกุล ทำให้พันธะไฮโดรเจนที่เหลืออยู่แยกตัวออก

อย่างรวดเร็ว โมเลกุลของแป้งจะเป็นอิสระและสามารถละลายน้ำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังมีวิธีการปรับปรุงแป้งด้วยวิธีการอื่น ๆ รวมทั้งการเชื่อมพันธะระหว่างสายโซ่โมเลกุลที่ติดกันโดยใช้ โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต (sodium trimetaphosphate) อีพิกลอร์ไฮดริน(epichlorohydrin) ฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde) หรือสารเคมีตัวอื่น ๆ

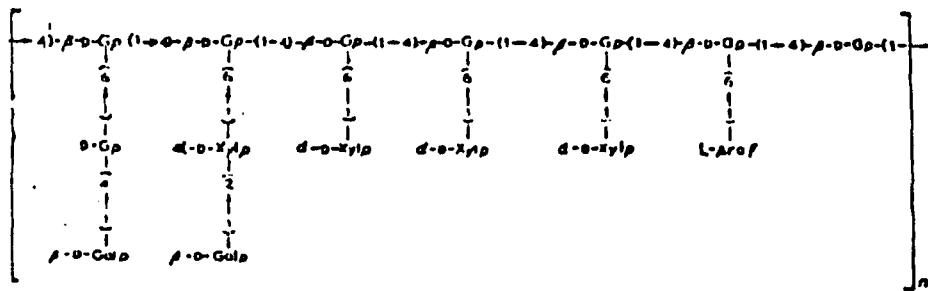
โครงสร้างทางเคมีของแป้งเมล็ดมะขาม

จากการค้นคว้าพบว่า โครงสร้างทางเคมีของแป้งเมล็ดมะขามเป็นสายโซ่โมเลกุลของพอลิแซคคาไรซ์ ซึ่งประกอบด้วย กาแลคโตส (galactose) ไชโลส (xylose) อะราบิโนส (arabinose) และ กลูโคส (glucose) ต่อเป็นโซ่โมเลกุลหลัก ในอัตราส่วนโมลของน้ำตาลก็แตกต่างกันไป ในแต่ละส่วนประกอบของเนื้อในเมล็ดมะขาม ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงสมบัติของส่วนประกอบต่าง ๆ ของเนื้อในเมล็ดมะขาม

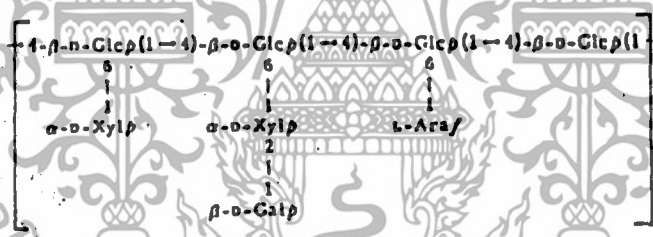
ส่วนประกอบ	ปริมาณ ไนโตรเจน (%)	อัตราส่วนโมลของน้ำตาล			
		กลูโคส	ไชโลส	กาแลคโตส	ออราไบโรส
1	7.8	3	1	1	1
2	0.4	8	4	2	1
3	2.6	4	2	1	1

ที่มา : Industrial Gums 2nd ed. 1973 pp.398
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เมื่อ Glc คือ กลูโคส Xyl คือ ไซโลส Gal คือ กาแลกโตส และ
Ara คือ แอร่าบิโนส

รูปที่ 2.5 แสดงแผนภาพของโครงสร้างของพอลิแซคคาไรด์ส่วนที่ 2 ของเนื้อใน
เมล็ดมะขาม



รูปที่ 2.6 แสดงแผนภาพของโครงสร้างของพอลิแซคคาไรด์ส่วนที่ 3 ของเนื้อใน
เมล็ดมะขาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุพันธ์คาร์บอกซีเมทิลของแป้งเมล็ดมะขาม (carboxymethyl tamarind kernel powder , CM-TKP)

จากโครงสร้างทางเคมีของแป้งเมล็ดมะขาม ประกอบด้วยยูนิตแซคคาไรด์สามส่วนที่มีหมู่ไฮดรอกซี (hydroxy group, -OH) เป็นจำนวนมากและจะมีลักษณะเฉพาะในการทำปฏิกิริยาเหมือนกับแอลกอฮอล์ โดยสามารถเกิดปฏิกิริยา เอสเทอร์ฟิเคชันและอีเทอร์ฟิเคชันได้ ซึ่งจะทำได้อนุพันธ์ที่เป็นประโยชน์มากขึ้น

การเตรียมอนุพันธ์คาร์บอกซีเมทิลของแป้งเมล็ดมะขาม ทำได้โดยการกระตุ้นหมู่ไฮดรอกซีในพอลิแซคคาไรด์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วทำปฏิกิริยากับกรดคลอโรอะซิติก หรือเกลือคลอโรอะซิเตต เกิดเป็น CM-TKP โดยมีปฏิกิริยาข้างเคียงคือ เกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำ กับ เกลือโซเดียมคลอโรอะซิเตตในสถานะที่เป็นต่าง ได้เป็นกรดไกลโคลิก



รูปที่ 2.7 แสดงปฏิกิริยาการเกิด TKP-CM

การที่อนุพันธ์คาร์บอกซีเมทิลของแป้งเมล็ดมะขามสามารถละลายน้ำได้ดี เป็นเพราะว่าอยู่ในรูปของเกลือโซเดียมของกรดซึ่งละลายน้ำได้ดี และเนื่องจากมีอะตอมออกซิเจนเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนได้มากขึ้น รวมทั้งการเพิ่มหมู่แทนที่เข้าไปในโมเลกุลของพอลิแซคคาไรด์ ทำให้น้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น ซึ่งจะมีผลให้ความหนืดของสารสูงขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุพันธ์ฟอสเฟตของแบริ่งเมล็ดมะขาม (Phosphate Tamarind Kernel Powder)

แบริ่งฟอสเฟตเป็นอนุพันธ์เอสเทอร์ของกรดฟอสฟอริก ถ้าแบริ่งมีหมู่ไฮดรอกซีเพียงหมู่เดียวจะมีการแทนที่ตำแหน่งเดียวของผลิตภัณฑ์ คือ starch- OPO_3H_2

หมู่ฟอสเฟตสามารถแทนที่ในแบริ่งโดยทำปฏิกิริยากับ ortho-, pyro-, or metaphosphates โมโนไฮโดรเจนฟอสเฟตกับไดไฮโดรเจนฟอสเฟตสามารถทำให้การเกิดการแทนที่ได้สูง ดังสมการ (4)



และสำหรับโพลีฟอสเฟตสามารถเกิดปฏิกิริยาแทนที่ของหมู่ฟอสเฟตในแบริ่งเมล็ดมะขามได้ดังสมการ (5)



ออร์โธฟอสเฟตที่เกิดขึ้น สามารถสามารถเกิดปฏิกิริยาการแทนที่กับแบริ่งเมล็ดมะขามได้อีก

การที่อนุพันธ์ฟอสเฟตของแบริ่งเมล็ดมะขามสามารถละลายน้ำได้ดี เป็นเพราะว่าอยู่ในรูปของเกลือโซเดียมของกรดซึ่งละลายน้ำได้ดี และเนื่องจากมีอะตอมออกซิเจนเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนได้มากขึ้น รวมทั้งการเพิ่มหมู่แทนที่เข้าไปในโมเลกุลของพอลิแซคคาไรด์ ทำให้น้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น ซึ่งจะมีผลให้ความหนืดของสารสูงขึ้นด้วย

สารขึ้นในการพิมพ์ผ้า

สารขึ้นจัดเป็นสารประเภทหนึ่งซึ่งเป็นตัวช่วยในการพิมพ์สีต่าง ๆ บนสิ่งทอ โดยใช้ร่วมกับสารอื่น ๆ เช่น สารช่วยในการกระจาย (dispersing agent) สารช่วยให้เปียก (wetting agent) สารกันฟอง (antifoaming agent) สารขึ้นอาจแบ่งได้ 2 ชนิด คือ ชนิดที่เมื่อใช้งานแล้วสามารถชะล้างออกได้ และ ชนิดที่ติดแน่น มีหน้าที่เพิ่มความชื้นให้กับสีพิมพ์ผ้า ซึ่งเมื่อทำการพิมพ์แล้ว ภาพที่ได้จะมีสายเส้นคมชัด สีไม่เลอะเลือน นอกจากนี้ยังเป็นตัวกลางในการเคลื่อนผ่านของสี (pigment) เข้าสู่เส้นใยในสิ่งทอ

สารขึ้นที่ดีต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. สามารถละลายในน้ำเย็นได้
2. ทำให้เปียกได้ง่าย มีการเกาะตัวกันดี แต่ไม่เกาะติดแน่นเกินไป
3. แผ่นฟิล์มของสารขึ้นเมื่อแห้งจะต้องไม่เปราะหรือหักง่าย
4. สามารถเข้ากับสารอื่น ๆ ในส่วนผสมได้ดี
5. จะต้องไม่มีผลต่อสี คือ ไม่ทำให้สีผิดเพี้ยนไปจากเดิม
6. มีความคงทนต่อการเก็บ
7. ในกรณีที่ เป็นสารขึ้นชนิดที่ล้างออกได้จะต้องสามารถกำจัดออกได้ง่าย
8. จะต้องมีราคาไม่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันสารชั้นที่ใช้กันในอุตสาหกรรมได้มาจากแหล่งต่าง ๆ คือ

1. กลุ่มที่ได้จากธรรมชาติ สามารถแบ่งย่อยได้เป็น

- จากพืชที่เป็นฉัณูพืช
- จากพืชที่ให้น้ำยางจากส่วนที่เป็นลำต้น เช่น กัมอาราบิก (gum arabic) กัมคาราชา (gum karaya)
- จากพืชที่ให้น้ำยางจากรากหรือเมล็ด เช่น โลคาสท์บีนกัน (locast bean gum) กัวกัม (guar gum)
- จากสาหร่ายทะเล เช่น โซเดียมแอลจีเนต (sodium alginate)

2. กลุ่มที่ได้จากการดัดแปลงจากธรรมชาติ

- อนุพันธ์ของแป้ง เช่น บริติชกัม (british gum) หรือ เดกซ์ตริน (dextrin)
- อนุพันธ์ของเซลลูโลส เช่น คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เมทิลเซลลูโลส (methyl cellulose) ไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลส (hydroxyethylcellulose) เป็นต้น
- อนุพันธ์ของพืชที่ให้น้ำยาง เช่น เมโปรกัม (meypro gum) นาฟกาคริสตัลกัม (nafka crystal gum)

3. กลุ่มที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นได้แก่ พอลิเมอร์ในกลุ่มของอะคริลิก และ โพลีไวนิลแอลกอฮอล์

สารชั้นชนิดหนึ่ง ๆ อาจจะไม่สามารถใช้งานได้กับสีทุกประเภท ดังนั้นในการเลือกใช้จะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมต่าง ๆ ด้วย เช่น สีประเภทรีแอกทีฟ (reactive dyes) ไม่สามารถใช้กับสารชั้นที่เป็นพวกแป้งได้ ขณะที่โซเดียมแอลจีเนตสามารถใช้ได้ผลดี

นอกจากนี้อาจจัดสารชั้นได้อีกประเภทหนึ่ง คือ ประเภทอิมัลชันซึ่งใช้กับสีนิมฟ์ประเภทที่มีน้ำมันในน้ำ สารชั้นประเภทนี้ได้แก่อนุพันธ์ของแอนไอออนิก แคทไอออนิก และนอนไอออนิก ของแป้ง หรือ เซลลูโลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพิมพ์ผ้ากับสารชั้นที่ใช้ในการพิมพ์ผ้า

การพิมพ์ผ้ามีหลักการเช่นเดียวกับการย้อมสีเฉพาะแห่ง ในหลักการโดยที่ตัวสีใด ๆ ที่สามารถให้สีที่เรียบบนผ้าได้ ก็สามารถพิมพ์บนผ้าได้ สำหรับประเภทของสีที่ใช้ในการพิมพ์ผ้าแบ่งได้ตามกลไกของการติดสี ได้แก่

1. สีพิกเมนต์ (pigment dye) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ ไม่ติดกับผ้าด้วยตัวของมันเอง ต้องใช้สารยึดติด (binder) ซึ่งมีการเลือกใช้แตกต่างกันตามชนิดของเส้นใย ขบวนการปฏิบัติง่าย แต่เนื้อผ้าค่อนข้างกระด้าง

2. สีดิสเพิส (disperse dye) เป็นสีที่เหมาะสมที่สุด สำหรับผ้าที่ผลิตจากเส้นใยพอลิเอสเตอร์ กระบวนการที่ทำให้สีดิสเพิสติดผ้านั้น ต้องทำการผกสีด้วยไอน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 180-210 องศาเซลเซียส เวลาประมาณ 5 นาที ทำให้สีแพร่กระจายเข้าสู่เส้นใยที่ไม่ชอบน้ำ และติดอยู่ภายในเส้นใย

3. สีรีแอกทีฟ (reactive dye) เป็นสีที่นิยมในการพิมพ์ผ้าด้วย แตกต่างจากสีอื่นตรงที่สีมีปฏิกิริยาเคมีกับเส้นใย ในระหว่างการผกสีและเข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของเส้นใย และ เนื้อผ้าบริเวณที่พิมพ์จะไม่กระด้าง

โดยปกติ ในกระบวนการพิมพ์ผ้านั้นต้องการของเหลวเป็นตัวกลาง ที่มีตัวสี และสารช่วยพิมพ์ที่จำเป็น อาจเป็นสารที่ละลาย หรือ สารแขวนลอย ในการพิมพ์ผ้ามักจะใช้น้ำเป็นตัวกลาง สารชั้นจะทำหน้าที่ป้องกันการแยกตัว ของสารที่ไม่ละลายในแป้งพิมพ์ นอกจากนี้สารชั้นยังให้ความหนืดที่พอเหมาะ และ ช่วยในการปรับการไหลของแป้งพิมพ์ให้เหมาะกับการใช้งาน เพราะความหนืดมีอิทธิพลต่อปริมาณของแป้งพิมพ์ การแพร่กระจายของแป้งพิมพ์บนพื้นที่ผิว และการเข้าสู่โครงสร้างของวัสดุเส้นใยเช่น แป้งพิมพ์ที่มีความหนืดสูงจะให้ผ้าที่มีสีไม่สม่ำเสมอ ในทางตรงกันข้ามถ้าความหนืดของแป้งต่ำไป แป้งพิมพ์จะซึมแพร่กระจายบนลวดลาย ทำให้ความคมชัดของลายสูญเสียบไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับปริมาณของสารชั้นแห้งที่ต้องการให้มีความหนืดที่พอเหมาะกับการพิมพ์
 ฝ้านั้นจะขึ้นอยู่กับ ชนิดของผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้ผลิตสารชั้นโดยเฉพาอย่างยิ่งเกี่ยวกับความ
 ยาวของสายโซ่โมเลกุล และองค์ประกอบของการเกิดกึ่งในสายโซ่โมเลกุลหลัก โดยเรา
 สามารถแบ่งออก ได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ ประเภทที่มีปริมาณเนื้อสารทั้งหมดในสารชั้นต่ำ
 และประเภทที่มีปริมาณเนื้อสารทั้งหมดในสารชั้นสูง โดยที่สารชั้นนี้จะต้องเข้ากันได้กับวัสดุที่
 ใช้พิมพ์และสารตัวอื่นที่เหมาะสม

ตารางที่ 2-4 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติระหว่างสารชั้นชนิดที่มีปริมาณเนื้อสารสูง
 และชนิดที่มีปริมาณเนื้อสารต่ำ

สมบัติ	ชนิดของสารชั้น	
	ที่มีปริมาณเนื้อสารสูง	ที่มีปริมาณเนื้อสารต่ำ
การไหล	น้อย	มาก
ความเข้มของสี	มาก	น้อย
ความหนืด	สูง	ปานกลางถึงต่ำ
ระดับของการผ่านผ้าสกรีน	ผ่านได้ยากกว่า	ปกติ
ลักษณะเนื้อผ้า เมื่อแห้ง	ให้สัมผัสที่ดี	ให้สัมผัสที่กระด้าง
ราคาต้นทุน	ต่ำ	สูง
ผลของการเพิ่มแรงเฉือน	ความหนืดลดลง	ความหนืดเปลี่ยนแปลง
ต่อความหนืด		เล็กน้อย
ธรรมชาติของพอลิ- แซคคาไรด์	สายโซ่โมเลกุลยาว ไม่มีกิ่ง	สายโซ่โมเลกุลสั้นและ มีกิ่งพันกันในโมเลกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อเผยแพร่ให้ผู้ใช้บริการอื่นในการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องมือที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

- เครื่องกวนแบบเชิงกล รุ่น SIK & FEKL บริษัท TOSHIBA
- เครื่องให้ความร้อน
- อ่างน้ำมันควบคุมอุณหภูมิ
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
- หม้อปฏิกิริยา ขนาด 2000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- ปีกเกอร์ขนาด 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- เทอร์โมมิเตอร์ ช่วงอุณหภูมิ-10 องศาเซลเซียส ถึง 300 องศาเซลเซียส
- ชุดเครื่องควบแน่น

2. เครื่องวัดความหนืด (Brookfield Synchro - Lectric Viscometer [LVTI]) ของบริษัท Brookfield Engineering Laboratory

3. เครื่องพีเอชมิเตอร์ (pH meter) รุ่น CG822 ของบริษัท SCHOTT - GERATE

4. ตู้อบ (oven) รุ่น UL80 บริษัท Memmert

5. เครื่องดูดสูญญากาศ (vacuum pump) รุ่น Aspirator A-35

บริษัท Tokyo Rikakikai

6. เครื่องชั่งละเอียด สามารถชั่งได้ละเอียด ± 0.001 กรัม รุ่น 1420 P

บริษัท Sartorius Laboroy

7. เครื่องบดสาร รุ่น Retsch Typermo บริษัท GmbH & Co.KG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. กรดไฮโดรคลอริก	Hydrochloric (HCl)	เกรตวิเคราะห
2. โซเดียมเททระบอเรต	Sodium tetraborate ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$)	เกรตการค้ำ
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์	Sodium hydroxide (NaOH)	เกรตการค้ำ
4. กรดคลอโรอะซิติก	Chloroacetic acid (ClCH_2COOH)	เกรตการค้ำ
5. โซเดียมคาร์บอเนต	Sodium carbonate (Na_2CO_3)	เกรตการค้ำ
6. โซเดียมซัลเฟต	Sodium sulfate (Na_2SO_4)	เกรตการค้ำ
7. เมทานอล	Methanol (MeOH)	เกรตการค้ำ
8. ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต	Disodiumhydrogen phosphate (Na_2HPO_4)	เกรตวิเคราะห
9. โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต	Sodiumdihydrogen phosphate (NaH_2PO_4)	เกรตการค้ำ
10. เททระโซเดียมไพโรฟอสเฟต	Tetrasodium pyrophosphate ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$)	เกรตการค้ำ
11. สีส Disperse Yellow D-7G 200		เกรตการค้ำ บริษัท ไอซีไอ
12. สีส Disperse Blue C-BR		เกรตการค้ำ บริษัท ไอซีไอ
13. สีส Procion Red P-4BN 200		เกรตการค้ำ บริษัท ไอซีไอ
14. สีส Procion Blue P-7RX		เกรตการค้ำ บริษัท ไอซีไอ
15. สีส Procion Yellow P-3R		เกรตการค้ำ บริษัท ไอซีไอ
16. สีส Procion Turquoise PA		เกรตการค้ำ บริษัท ไอซีไอ
17. สีส Procion Blue P-7RX		เกรตการค้ำ บริษัท ไอซีไอ
18. โซเดียมคลอเรต		เกรตการค้ำ
19. ยูเรีย		เกรตการค้ำ
20. โซเดียมคาร์บอเนต		เกรตการค้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21. โซเดียมแอลจีเนต Sodium alginate บริษัท Vic Chem

22.301 Extra บริษัท Vic Chem

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

แป้งเมล็ดมะขามบดละเอียด ขนาด 200 เมช

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมแป้งเมล็ดมะขามปรับปรุง

ตัวอย่างที่ 1

การเตรียมแป้งไฮโดไลส์ แบบที่ 1 (Hydrolyse-TKP I)

เตรียมแป้งเมล็ดมะขามให้มีความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ปั่นจนจนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเติมกรดไฮโดรคลอริกประมาณ 2-3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งอย่างช้า ๆ พร้อมปั่นจนเป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส นำมาบดให้ละเอียด นำแป้งที่ได้กระจายตัวในน้ำให้มีความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ และทำการปั่นจน พร้อมทั้งให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิระหว่าง 50-60 องศาเซลเซียส เติมโซเดียมเททระโบเรต 7.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้ง ปั่นจนประมาณ 30 นาที นำสารที่ได้มาทำให้แห้งในตู้อบและบดให้ละเอียด

ตัวอย่างที่ 2

การเตรียมแป้งไฮโดไลส์ แบบที่ 2 (Hydrolyse - TKP II)

เตรียมแป้งเมล็ดมะขามให้มีความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ปั่นจนจนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเติมกรดไฮโดรคลอริกประมาณ 2-3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างช้า ๆ พร้อมปั่นกวนเป็นเวลา 4 ชั่วโมง เติมน้ำลงไปในส่วนที่เตรียมได้ให้มี
ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ และทำการปั่นกวน พร้อมทั้งให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ
ระหว่าง 50-60 องศาเซลเซียส เติมนิโคเตียมเททระโบเรต 7.5 เปอร์เซ็นต์ของ
น้ำหนักแป้ง ปั่นกวนประมาณ 30 นาที นำสารที่ได้มาทำให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ
50-60 องศาเซลเซียสและบดให้ละเอียด

ตัวอย่างที่ 3

การเตรียมอนุพันธ์คาร์บอกซีเมทิล (CM-TKP)

ซึ่งกรดคลอโรอะซิติก 21 กรัมละลายในน้ำ 160 กรัม จากนั้นเติมนิโคเตียม
คาร์บอนเนต 10.5 กรัม นิโคเตียมซัลเฟต 5 กรัม เอททานอล 96 เปอร์เซ็นต์ 30 กรัม
หลังจากนั้นกระจายแป้ง 100 กรัม ลงในส่วนละลายด้วยการปั่นกวนและเติมน้ำละลาย
นิโคเตียมไฮดรอกไซด์ (8.9 กรัม ในน้ำ 40 กรัม) ทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส
เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ล้างด้วยเมทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ 3 ครั้ง ทำให้แห้งในตู้อบ
และบดให้ละเอียด

ตัวอย่างที่ 4

การเตรียมอนุพันธ์ฟอสเฟต โดยใช้เททระนิโคเตียมไพโรฟอสเฟต (Phosphate-TKP I)

ซึ่งแป้ง 180 กรัม แล้วนำไปกระจายตัวในส่วนละลายเททระนิโคเตียม
ไพโรฟอสเฟต (10 กรัม ในน้ำ 215 กรัม) โดยการปั่นกวน หลังจากนั้นนำไป
อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส บดให้ละเอียด จากนั้นนำแป้งใส่ในบีกเกอร์
สแตนเลสมาให้ความร้อนในอ่างน้ำมนควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส พร้อม
ทั้งปั่นกวนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อเย็นแล้วนำไปล้างด้วย เมทานอล 50 เปอร์เซ็นต์
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

250 ลูกบาศก์เซนติเมตร 3 ครั้ง (โดยการปั่นกวนในเมทานอลแล้วกรองด้วยเครื่องดูดสุญญากาศ) ทำให้แห้งในตู้อบประมาณ 50-60 ลูกบาศก์เซนติเมตรและบดให้ละเอียด

ตัวอย่างที่ 5

การเตรียมอนุพันธ์ฟอสเฟต โดยใช้โซ่ออร์โธฟอสเฟต (Phosphate-TKP II)

ซึ่งไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตโมโนไฮเดรต 57.7 กรัม และโซเดียมไดไฮโดรเจน 44.35 กรัม ละลายในน้ำ 106 กรัม ที่ 35 องศาเซลเซียส หลังจากนั้น นำแข็ง 100 กรัม มาปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที จนเข้ากันได้ดี กรองและนำสารมาอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 40-45 องศาเซลเซียส บดให้ละเอียด นำแข็งที่ได้มาใส่ในบีกเกอร์สแตนเลสและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งปั่นกวนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อเย็นแล้วนำไปล้างด้วยเมทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ปริมาณ 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร 3 ครั้ง (โดยการปั่นกวนในเมทานอลแล้วกรองด้วยเครื่องดูดสุญญากาศ) ทำให้แห้งในตู้อบประมาณ 50-60 ลูกบาศก์เซนติเมตรและบดให้ละเอียด

2. การหาค่าองค์การแทนที่ของอนุพันธ์คาร์บอกซีเมทิล

ซึ่ง CM-TKP ประมาณ 4 กรัม นำมากระจายตัวในเอทานอล กวนโดยใช้เครื่องกวนแม่เหล็กให้มีการกระจายตัวดี เติมกรดไนตริกเข้มข้น 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร จับเวลา 2 นาที ให้ความร้อนเป็นเวลา 5 นาที และกวนต่อไปอีก 15 นาที นำไปกรองด้วยกระดาษกรองวอชท์แมนเบอร์ 42 ล้างด้วยเอทานอล 5 ครั้ง ๆ ละ 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทดสอบ เอทานอลที่ล้างออกมา ด้วยสารละลายไดนิลเอมีน จะต้องไม่เกิดสีน้ำเงินขึ้น นำ CM-TKP ในรูปกรดที่กรองได้ไปอบแห้ง ชั่งน้ำหนัก 1 กรัมให้ได้น้ำหนักแน่นอน ละลายในน้ำ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N 25 ลูกบาศก์เซนติเมตรไทเทรตหาจุดยุติด้วยกรดซัลฟิวริก 0.1 N โดยใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในหน่วยงานราชการเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นนำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พินอลีนทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์

การคำนวณ

$$A = (BC - DE) / F$$

$$D.S. = 0.162 A / (1 - 0.058A)$$

เมื่อ A = กรัมสมมูลของกรดที่ใช้ไปต่อน้ำหนักเป็นกรัมของตัวอย่าง

B = ปริมาตรของ NaOH 0.1 N ที่ใช้ (ลบ. ชม.)

C = ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH (N)

D = ความเข้มข้นของสารละลาย H₂SO₄ (N)

E = ปริมาตรของ H₂SO₄ ที่ใช้ (ลบ. ชม.)

F = น้ำหนักของ CM-TKP (กรัม)

0.162 = หนึ่งส่วนพันของน้ำหนักแอนไฮโดรกลูโคสแต่ละหน่วย

0.058 = หนึ่งส่วนพันของหมู่แทนที่แต่ละหน่วย

3. การหาปริมาณฟอสฟอรัส

1. การเตรียมสารละลายแก้ว

ชั่งสารตัวอย่าง 1 กรัมในถ้วยกระเบื้อง นำไปเผาด้วยไฟอ่อน ๆ จนหมดควัน แล้วนำไปเผาต่อในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 470 องศาเซลเซียส จนกลายเป็นแก้วหมด ทิ้งไว้ให้เย็นเติมกรดไฮโดรคลอริก อัตราส่วน 1:1 จำนวน 15 ลูกบาศก์เซนติเมตร วางถ้วยเหนืออ่างน้ำเดือดเป็นเวลา 20 นาที เกลงในขวดปริมาตร 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร ล้างด้วยน้ำร้อนจนหมดเติมน้ำจนได้ปริมาตร เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้หนึ่งคืน กรองตะกอนด้วยกระดาษวอกซ์แมน เบอร์ 1 เก็บสารละลายใส่ที่กรองได้ไว้ใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

2. การเตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต

อบโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่เป็นการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา 12 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเตชิลเคเตอร์ ซึ่งน้ำหนัก 0.2197 กรัม ละลายน้ำให้ได้ ปริมาตร 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร เขย่าให้เข้ากัน สารละลายนี้จะมีฟอสฟอรัส 0.1 กรัม ต่อ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ตุตสารละลายที่เตรียมได้ 0.5 , 1 , 2 , 3 , 4 , 5 และ 6 ลูกบาศก์ เซนติเมตร ใสลงในขวดปริมาตร 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำการทดลองตามข้อ 4 ต่อไป 3.ปิเปตสารละลายเก่า 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในขวดปริมาตร 50 ลูกบาศก์ เซนติเมตร

4. เติมกรดไนตริกอัตราส่วน 1:2 จำนวน 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมน้ำลงไปจนถึง ครึ่งขวด

5. เติมสารเชิงซ้อนแอมโมเนียมวานาโดโมลิบเดต 15 ลูกบาศก์เซนติเมตร เขย่าขวดทันที แล้วเติมน้ำให้ได้ปริมาตร 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร เขย่าให้เข้ากัน

การเตรียมสารเชิงซ้อนแอมโมเนียมวานาโดโมลิบเดต ละลายแอมโมเนียม- โมลิบเดต 20 กรัมในน้ำ 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ละลายแอมโมเนียมวานาเดต 0.5 กรัมในน้ำเดือด 150 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อเย็น แล้วเติมกรดไนตริกเข้มข้นลงไป 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ผสมสารละลายทั้งสองเข้า ด้วยกัน เติมน้ำให้ครบ 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร

6. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาว 465 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง UV-visible spectrometer

4. การวัดสมบัติทางกายภาพ

1. การวัดความหนืดที่อุณหภูมิต่าง ๆ และอุณหภูมิของการเกิดเจล

ละลายแป้งที่เตรียมได้ให้มีความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ และให้ความร้อนที่

อุณหภูมิต่าง ๆ พร้อมกับวัดความหนืด

อุณหภูมิต่าง ๆ พร้อมกับวัดความหนืด ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวัดความหนักที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ละลายแป้งที่เตรียมได้ให้มีความเข้มข้น 2 , 4 , 6 , 8 , 10 และ 12 เปอร์เซ็นต์ และวัดความหนักของสารละลายแป้งที่เตรียมได้

3. การวัดความหนักที่พีเอชต่าง ๆ

ละลายแป้งที่เตรียมได้ให้มีความเข้มข้นหนึ่ง และปรับให้มีพีเอชต่าง ๆ โดยปรับให้เป็นกรดโดยการใส่กรดอะซิติก ถ้าปรับให้เป็นเบสจะใช้โซเดียมคาร์บอเนต และความหนักที่พีเอชต่าง ๆ

5. การทดสอบการพิมพ์ผ้า

การพิมพ์ผ้าสำหรับสรีร์เอกทีฟ

ขั้นที่ 1 เตรียมสารชั้น

นำแป้งปรับปรุงมาละลายในน้ำให้ได้ความหนักประมาณ 100,000-300,000 เซนต์พอยซ์ ดังตาราง 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงความเข้มข้นของสารข้นหนืดของแป้งเมล็ดมะขามที่ใช้เตรียม
ได้และความหนืดของสารข้นเชิงการค้า

สารข้น(thickener)	ความเข้มข้นของ แป้งปรับปรุง	ความหนืด (cps) ที่อุณหภูมิ 30 °c
ตัวอย่างที่ 1	11	250,000
ตัวอย่างที่ 2	9	110,000
ตัวอย่างที่ 3	11	243,000
ตัวอย่างที่ 4	12	150,000
ตัวอย่างที่ 5	13	300,000
301 Extra	12	140,000
Sodium alginate	12	175,000

หมายเหตุ 301 Extra และ Sodium alginate เป็นสารข้นที่ใช้ใน
เชิงการค้าสำหรับผลิตภัณฑ์ และ สิริเอกทีฟ ตามลำดับ

ขั้นที่ 2 เตรียม stock paste

นำสารข้นที่ได้มาผสมสูตรเป็น stock paste เพื่อให้เตรียมแป้งนิ่ม
สำหรับสิริเอกทีฟ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงสูตรการเตรียม stock paste

สารเคมีที่ใช้	เปอร์เซ็นต์
สารขี้	44
ยูเรีย	15
Matexil PA-L	1
น้ำ	86
โซเดียมไบคาร์บอเนต	4

ขั้นที่ 3 เตรียม แป้งพิมพ์ (Print Paste) สำหรับสรีนอกพิมพ์

นำ stock paste ที่เตรียมได้มาผสมกับสีดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงสูตรการเตรียม แป้งพิมพ์สำหรับสรีนอกพิมพ์

สารเคมีที่ใช้	เปอร์เซ็นต์
Procion dyes	2
Hot water	12
stock paste	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 4 การพิมพ์ผ้าและทำให้แห้ง

จะทำการพิมพ์สีรีแอกทีฟบนผ้าฝ้าย ด้วยวิธีสกรีนแบบราบ วางผ้าบนโต๊ะสกรีน ที่ทากาวเรียบรื้อแล้ว ยกบล็อกพิมพ์วางบนผ้า เทแป้งพิมพ์ และ พิมพ์ผ้า การพิมพ์จะ เกิดขึ้นในขณะที่ตัวสกรีนอยู่ในตำแหน่งลง หลังจากนั้นปรับอุณหภูมิที่โต๊ะให้สูงขึ้นจนขึ้นผ้าแห้ง

ขั้นที่ 5 การทำให้พิกเซลพิมพ์

โดยการนำขึ้นผ้าไปอบไอน้ำร้อนโดยใช้ไอน้ำร้อนอิ่มตัวที่อุณหภูมิ 102-105

องศาเซลเซียส ประมาณ 10 นาที

ขั้นที่ 6 กระบวนการหลังพิกเซล

ทำได้โดยแช่ผ้าพิมพ์ลงในอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส ที่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ wetting agent ละลายอยู่

หลังจากทำการพิกเซลผ้าพิมพ์แล้ว ต้องทำการซักล้าง เพื่อกำจัดสีที่ไม่ทำ ปฏิกิริยากับเส้นใยหรือสีที่เกาะหลวม ๆ บนเส้นใยออกไป นอกจากนี้ยังกำจัดสารขุ่นและ สารเคมีอื่น ๆ ออกไปในระหว่างการซักล้าง ผ้าพิมพ์หลังจากผ่านกระบวนการนี้แล้วจะมีความสดใส คงทน ผ้านุ่มมือขึ้น

การพิมพ์ผ้าสำหรับสติกเกอร์

ขั้นที่ 1 เตรียมสารขุ่น

เตรียมสารขุ่น เหมือนตารางที่ 3.1

ขั้นที่ 2 การเตรียม แป้งพิมพ์ (Print Paste) สำหรับสติกเกอร์

การเตรียมแป้งพิมพ์ถูกแสดงในตาราง 3.4

ตารางที่ 3.4 แสดงสูตรการเตรียมแป้งพิมพ์สำหรับลิติลเฟิล

สารเคมีที่ใช้	เปอร์เซ็นต์
สารขี้	50
ยูเรีย	15
โซเดียมคลอไรด์	2
น้ำ	26
dye disperse	2

ขั้นที่ 3 การพิมพ์ผ้าและทำให้แห้ง

จะทำการพิมพ์ลิติลเฟิลบนผ้าโพลีเอสเตอร์ ด้วยวิธีสกรีนแบบราบ วางผ้าบนโต๊ะสกรีนที่ทำการเรียบร้อยแล้ว ยกบล็อกพิมพ์วางบนผ้า เทแป้งพิมพ์ และ พิมพ์ผ้า การพิมพ์จะเกิดขึ้นในขณะที่ตัวสกรีนอยู่ในตำแหน่งลง ปรับอุณหภูมิที่โต๊ะให้สูงขึ้นจนขึ้นผ้าแห้ง

ขั้นที่ 5 การทำให้ผืนลิติลพิมพ์

โดยการนำขึ้นผ้าไปอบไอน้ำร้อนโดยใช้ไอน้ำร้อนอิ่มตัวที่อุณหภูมิ 180-200

องศาเซลเซียส ประมาณ 10 นาที

ขั้นที่ 6 ทำการรีดักชันเคลียร์ริง (reduction clearing)

ทำได้โดยแช่ผ้าพิมพ์ลงในอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส

ที่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ละลายอยู่

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

1. การเตรียมแป้งเมล็ดมะขามปรับปรุง

การเตรียมแป้งเมล็ดมะขามปรับปรุงสำหรับโครงการพิเศษนี้ ได้ทำการเตรียมทั้งแบบการเปลี่ยนแปลงอนุพันธ์ และการย่อยขนาดโมเลกุลของแป้งแล้วทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่ ด้วยวิธีต่าง ๆ 5 วิธีคือ

ตัวอย่างที่ 1 การเตรียมแป้งไฮโดรไลส์ แบบที่ 1 โดยทำการไฮโดรไลส์ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ทำให้แห้ง และนำมากระจายตัวในน้ำอีกครั้งเพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โดยใช้โซเดียมเททระโบเรต จะได้สารชั้นที่มีลักษณะเป็นผงสีเทา ปริมาณร้อยละของผลผลิตประมาณ 86 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเตรียมเป็นสารละลาย 8 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นของเหลวหนืดข้นและค่อนข้างโปร่งแสง มีค่าพีเอช อยู่ในช่วง 6-7 และมีความหนืดประมาณ 12,760 เซนติพอยล์

ตัวอย่างที่ 2 การเตรียมแป้งไฮโดรไลส์ แบบที่ 2 โดยทำการไฮโดรไลส์ด้วยกรดไฮโดรคลอริก และทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โดยใช้โซเดียมเททระโบเรต จะได้สารชั้นที่มีลักษณะเป็นผงสีขาว ปริมาณร้อยละของผลผลิตประมาณ 84 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเตรียมเป็นสารละลาย 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นของเหลวหนืดข้นและค่อนข้างโปร่งแสง มีค่าพีเอช อยู่ในช่วง 6-7 และมีความหนืดประมาณ 25,280 เซนติพอยล์

ตัวอย่างที่ 3 การเตรียมอนุพันธ์คาร์บอกซิเมทิลของแป้งเมล็ดมะขาม สารชั้นที่ได้มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองอ่อน ปริมาณร้อยละของผลผลิตประมาณ 59 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเตรียมเป็นสารละลาย 8 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นของเหลวหนืดข้นสีน้ำตาลอ่อนและค่อนข้างโปร่งแสง มีค่า พีเอช อยู่ในช่วง 6-7 และมีความหนืดประมาณ

๑๕,๕๕๐ เซนติพอยล์ และมีองค์การแทนที่ ๐.1๘

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 4 การเตรียมอนุพันธ์ฟอสเฟตของแป้งเมล็ดมะขาม โดยใช้
เททราโซเดียมไพโรฟอสเฟต สารชั้นที่ได้มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลอ่อนปริมาณร้อยละของ
ผลผลิตประมาณ 73 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเตรียมเป็นสารละลาย 8 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
มีลักษณะเป็นของเหลวหนืดข้นสีเหลืองและค่อนข้างโปร่งแสง มีค่า พีเอช อยู่ในช่วง 6-7
และมีความหนืดประมาณ 13,000 เซนติพอยส์

ตัวอย่างที่ 5 การเตรียมอนุพันธ์ฟอสเฟตของแป้งเมล็ดมะขาม โดยใช้
ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตและโซเดียมไดรไฮโดรเจนฟอสเฟต สารชั้นที่ได้มีลักษณะเป็น
ผงสีเหลืองปริมาณร้อยละของผลผลิตประมาณ 47 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเตรียมเป็นสารละลาย
8 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นของเหลวหนืดข้นสีเหลืองและค่อนข้างโปร่งแสง
มีค่า พีเอช อยู่ในช่วง 6-7 และมีความหนืดประมาณ 14,400 เซนติพอยส์

2. การวัดสมบัติทางกายภาพ

2.1 การวัดความหนืดที่อุณหภูมิต่าง ๆ และอุณหภูมิการเกิดเจล

จากตารางที่ 4.1 พบว่าความหนืดของ TKP และความหนืดของสารชั้น
ตัวอย่างที่ 3 , 4 และ 5 จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และความหนืดจะมีค่าเพิ่มขึ้น
อย่างรวดเร็ว และมีค่าสูงสุดเมื่อถึงช่วงอุณหภูมิการเกิดเจล โดย TKP อยู่ในช่วงประมาณ
90-92 องศาเซลเซียส ส่วนแป้งปรับปรุงจะมีช่วงอุณหภูมิการเกิดเจล ลดต่ำลงมา โดย
สารชั้นตัวอย่างที่ 3 อยู่ในช่วง 64-68 องศาเซลเซียส สารชั้นตัวอย่างที่ 4 อยู่ใน
ช่วง 70-74 องศาเซลเซียส และสารชั้นตัวอย่างที่ 5 อยู่ในช่วง 48-50 องศาเซลเซียส
ส่วนสารชั้นตัวอย่างที่ 1 และ 2 ช่วงการเกิดเจลมีค่าน้อยกว่า 30 องศาเซลเซียส เมื่อ
อุณหภูมิมีค่าสูงกว่าช่วงอุณหภูมิการเกิดเจล ความหนืดของแป้งปรับปรุงจะมีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของ
แป้งปรับปรุงและแป้งเมล็ดมะขาม

อุณหภูมิ	ความหนืด (cps)					
	TKP	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 4	ตัวอย่างที่ 5
30	24	2660	5900	1097	568	3400
34	23	2700	5800	1050	524	3300
38	21	-	5650	1100	530	3500
40	21	2480	5590	1250	560	3650
44	19	2140	5300	1700	654	4100
50	23	1880	4000	2100	1000	5700
54	28	1720	4000	2350	1500	2600
60	30	1460	-	3312	4920	1950
64	34	1368	-	5700	6300	-
68	45	1200	-	5950	-	-
70	49	1088	-	5150	8000	-
74	57	1000	-	4400	8800	-
80	128	880	-	-	7680	-
84	194	880	-	-	5500	-
90	6950	880	-	-	-	-
92	9440	-	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การวัดความหนืดที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับความเข้มข้นต่าง ๆ ของแป้งปรับปรุ้งและแป้งเมล็ดมะขาม

ความเข้มข้น ของ	ความหนืด(cps) ที่อุณหภูมิ 30 C					
	TKP	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 4	ตัวอย่างที่ 5
2	-	36	52	35	25	53
4	8	410	859	604	440	915
6	127	2688	5350	3240	2552	3928
8	275	12760	25280	16540	2300	14400
10	427	58000	106400	99000	47840	89480
12	2975	164000	224000	209600	150000	77760

จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ความหนืดจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามและแป้งปรับปรุ้งจะมีความหนืดมากกว่าแป้งเมล็ดมะขาม โดยมีความหนืดของสารชั้นตัวอย่างที่ 5 , สารชั้นตัวอย่างที่ 4 , สารชั้นตัวอย่างที่ 1 , สารชั้นตัวอย่างที่ 3 และ สารชั้นตัวอย่างที่ 2 มีค่าน้อยไปหามากตามลำดับ

3.3 การวัดความหนืดเมื่อพีเอชต่าง ๆ

ตารางที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับความหนืดของแป้งปรับปรุง

ค่าพีเอช ของ แป้งปรับปรุง	ความหนืด (cps) ของสารชั้น ที่อุณหภูมิ 30 °C				
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 4	ตัวอย่างที่ 5
3	6250	1810	5700	2800	5800
5	8100	2200	5700	2860	6100
6	7850	2406	7600	3200	6350
7	6900	2640	3800	2880	6650
8	9600	29600	4800	3160	6750
9	26250	-	6150	3180	6800
10	-	102400	6850	3200	6850

จากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าพีเอชมีผลต่อความหนืดของแป้งปรับปรุง โดยสารชั้นตัวอย่างที่ 1 และ สารชั้นตัวอย่างที่ 2 จะมีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น สารชั้นตัวอย่างที่ 4 และสารชั้นตัวอย่างที่ 5 จะมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดน้อยมาก เมื่อพีเอชเปลี่ยนแปลง และสารชั้นตัวอย่างที่ 3 จะมีความหนืดน้อยเมื่อพีเอชเป็นกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การทดสอบการพิมพ์

ได้ทดสอบการพิมพ์โดยใช้สี 2 ประเภทคือ สีรีแอคทีฟ (reactive dye) และสีดิสเพิร์ส (disperse dye)

3.1 ผลการทดสอบการพิมพ์สีรีแอคทีฟบนผ้าฝ้าย

ความเข้มและความสดใสของสี พบว่าสารชั้นที่เตรียมได้เมื่อไปพิมพ์ผ้าจะมี ความเข้มและความสดใสของสีพิมพ์น้อยกว่าสารชั้นที่ใช้ในเชิงการค้า sodium aglinate ความกระด้าง พบว่าสารชั้นที่เตรียมได้เมื่อนำไปพิมพ์ผ้าแล้วผ้ากระด้างมากกว่าผ้าที่พิมพ์ด้วยสารชั้นที่ใช้ในเชิงการค้า sodium aglinate ความเข้ากันได้ดีระหว่างสีกับสารชั้น พบว่าสารชั้นที่เตรียมสามารถเข้ากัน กับสีได้ยกเว้นสี Procion Yellow

3.2 ผลการทดสอบการพิมพ์สีดิสเพิร์ส

ความเข้มและความสดใสของสี พบว่าสารชั้นที่เตรียมได้เมื่อไปพิมพ์ผ้าจะมี ความเข้มและความสดใสของสีที่พิมพ์เท่ากับสารชั้นที่ใช้ในเชิงการค้า 301 EXTRA ยกเว้น ตัวอย่างที่ 2 ให้สีที่อ่อนกว่า ความกระด้าง พบว่าสารชั้นตัวอย่างที่ 2 และ ตัวอย่างที่ 3 เมื่อนำไป พิมพ์ผ้าจะมีความกระด้างน้อยที่สุด (มีความอ่อนนุ่ม) เมื่อเทียบกับการพิมพ์ที่ใช้สารชั้นที่ใช้ ในเชิงการค้า 301 EXTRA และ สารชั้นตัวอย่างที่ 4 , สารชั้นตัวอย่างที่ 5 และ สารชั้นตัวอย่างที่ 1 จะมีความกระด้างเท่ากันแต่น้อยกว่าสารชั้นที่ใช้ในเชิงการค้า ความเข้ากันได้ดีระหว่างสีกับสารชั้น พบว่าสารชั้นที่เตรียมได้สามารถ เข้ากันได้กับสีดิสเพิร์ส

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาพบว่า แป้งเมล็ดมะขามสามารถเตรียมเป็นสารขี้ที่ใช้ในอุตสาหกรรมได้ โดยเตรียมแป้งเมล็ดมะขามให้เป็น แป้งคาร์บอกซีเมทิล (Carboxyl methyl Tamarind Kernel Powder , CM-TKP) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาที่หมู่ไฮดรอกซีของแป้งเมล็ดมะขาม ทำให้เป็นกลายเป็นหมู่คาร์บอกซิลเมทิล ซึ่งจะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้มากขึ้น ทั้งยังเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลของแป้งเมล็ดมะขามด้วย หรือการทำปฏิกิริยาเปลี่ยนหมู่ไฮดรอกซีให้เป็นหมู่ฟอสเฟต ซึ่งจะได้แป้งฟอสเฟต (Phosphate Tamarind Kernel Powder , Phosphate-TKP) ที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้มากขึ้น และมีผลให้น้ำหนักโมเลกุลของแป้งเมล็ดมะขามเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับแป้งคาร์บอกซีเมทิล นอกจากนี้เรายังศึกษาการเพิ่มความหนืดของแป้งเมล็ดมะขามโดยการไฮโดรไลส์แป้งเมล็ดมะขามด้วยกรดก่อน แล้วค่อยทำการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของแป้งด้วย โซเดียมเททระบอเรต ถ้าไม่ทำการไฮโดรไลส์แป้งก่อนทำการเชื่อมโยงด้วยเบส จะทำให้แป้งเมล็ดมะขามที่ได้มีความหนืดมากเกินไปจนไม่สามารถนำไปพิมพ์ผ้าได้

สำหรับการเตรียมแป้งคาร์บอกซีเมทิล สามารถเตรียมได้โดยนำแป้งเมล็ดมะขามมากระจายตัวในสารละลายเกลือของกรดคลอโรอะซิติก ซึ่งเตรียมจากกรดคลอโรอะซิติกกับโซเดียมคาร์บอเนตและโซเดียมซัลเฟต ในตัวกลางที่เป็นแอลกอฮอล์ และทำปฏิกิริยาในที่สภาวะที่อุณหภูมิต่ำ (ประมาณ 0 องศาเซลเซียส)

สำหรับการเตรียมแป้งฟอสเฟต สามารถเตรียมได้โดยนำแป้งไปกระจายตัวในสารละลายที่มีสารประกอบไพโรฟอสเฟต หรือของผสมของไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตกับโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต หลังจากนั้นทำให้แห้งและนำไปบด แล้วทำปฏิกิริยาโดยทำที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำหรั้บการเตรียมแ้บ้งไอโอรไลล์ สามารถเตรียมได้โดยนำแ้บ้งไป
กระจายตัวในน้ำก่อนแล้วทำการย่อยด้วยกรดไอโอรคลอริก หลังจากนั้นทำให้แห้งและ
นำไปบด แล้วจึงไปกระจายตัวในน้ำอีกที จากนั้นทำปฏิกิริยาเชื่อมโ้ยระหว่างสายโซ่
โมเลกุลด้วยโซ่เดียมเทรระบอเรตประมาณ 7.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักของแ้บ้ง โดย
ระยะในการไอโอรไลล์ช่วงแรกให้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง

จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพ พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความหนืด
ของสารชั้นที่เตรียมจากแ้บ้ง เมล็ดมะขาม อุนพันธ์ฟอสเฟตของแ้บ้ง เมล็ดมะขาม ที่
เตรียมจาก ออโธฟอสเฟตและไพโรฟอสเฟต และอุนพันธ์คาร์บอกซีเมทิล จะมีค่า
เพิ่มขึ้น จนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลแล้วความหนืดจะลดลง อุณหภูมิการเกิดเจลของ
แ้บ้งคาร์บอกซีเมทิล 64-70 องศาเซลเซียส อุณหภูมิการเกิดเจลของแ้บ้งฟอสเฟตที่
เตรียมจากออโธฟอสเฟต 48-50 องศาเซลเซียส อุณหภูมิการเกิดเจลของแ้บ้งฟอสเฟต
ที่เตรียมจาก ไพโรฟอสเฟต 70-74 องศาเซลเซียส ส่วนแ้บ้งไอโอรไลล์เมื่ออุณหภูมิ
สูงขึ้นปรากฏว่าความหนืดลดลงเรื่อย ๆ ส่วนแ้บ้งเมล็ดมะขามจะมีอุณหภูมิการเกิดเจล
90-94 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นที่มีต่อความหนืดพบว่า เมื่อความเข้มข้นของ
แ้บ้ง เมล็ดมะขามและแ้บ้ง เมล็ดมะขามปรับปรุง เพิ่มขึ้นความหนืดก็เพิ่มขึ้นตาม

และจากการศึกษาผลของพีเอชที่มีผลต่อความหนืดพบว่า เมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น
สารชั้นที่เตรียมจากอุนพันธ์ของแ้บ้ง เมล็ดมะขามจะมีความหนืดเพิ่มขึ้น ยกเว้นอุนพันธ์
คาร์บอกซีเมทิลจะมีความหนืดมาก เมื่อพีเอชเป็นกลาง และมีความหนืดลดลงเมื่อพีเอช
เป็นกรดหรือเบส

จากการทดสอบความสามารถเป็นสารชั้นในการพิมพ์ผ้าพบว่า สารชั้นที่เตรียม
จากอุนพันธ์ของแ้บ้ง เมล็ดมะขามเหมาะกับการพิมพ์ผ้าสีดิลเฟิล โดยแ้บ้งคาร์บอกซีเมทิล
แ้บ้งฟอสเฟต และแ้บ้งไอโอรไลล์ แบบที่ 1 จะให้ผลในเรื่องความเข้มของสีเท่ากับ

สารชั้นที่ใช้ในเชิงการค้า 301 EXTRA ส่วนแ้บ้งไอโอรไลล์ แบบที่ 2 จะมีความเข้มของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลึกลงกว่าเล็กน้อย เมื่อพิมพ์ลงบนผ้าโพลีเอสเตอร์ ส่วนในเรื่องกรรมกระด้างของ เนื้อผ้าปรากฏว่า แป้งคาร์บอกซีเมทิล และ แป้งไฮโดรไลส์ แบบที่ 2 มีความกระด้าง น้อยที่สุด แป้งฟอสเฟตที่เตรียมจากทั้ง 2 วิธี และแป้งไฮโดรไลส์ แบบที่ 1 รองลงมา และสารชั้นที่ใช้ในเชิงการค้า 301 EXTRA มีความกระด้างมากที่สุด

ข้อ เสนอแนะ

จากการทำโครงการพิเศษนี้วิธีที่เหมาะสมจะทำสารชั้นจากแป้งเมล็ดมะขาม คือ แป้งไฮโดรไลส์ แบบที่ 1 ที่มีการย่อยแป้ง ด้วยกรดไฮโดรคลอริกประมาณ 4 ชั่วโมง ทำ แป้งให้แห้งและบด หลังจากนั้นนำแป้งมากระจายตัวใหม่และทำการเชื่อมโยงโมเลกุลด้วย โซเดียมเทตระซอเวต 7.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้ง ทำให้แห้ง และบด ซึ่งให้ผลใน เรื่องความเข้มของสีเท่ากับสารชั้นที่ใช้ในเชิงการค้า 301 EXTRA ความกระด้างของ เนื้อผ้าน้อยกว่าสารชั้นที่ใช้ในเชิงการค้า 301 EXTRA

ควรมีการศึกษากการทำแป้งไฮโดรไลส์ แบบที่ 1 ต่อไป โดยการเพิ่มขนาด เป็นระดับโรงงานต้นแบบจำลอง (pilot scale) ซึ่งสิ่งที่จำเป็นในการพิจารณา คือ การทำให้แป้งกระจายตัวได้ดี ปริมาณของกรด ปริมาณสารที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยง และ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ถ้าสามารถทำในหม้อปฏิกิริยาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ อาจทำปฏิกิริยาไฮโดรไลส์ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง เพื่อลดเวลาในการทำปฏิกิริยา นอกจากนี้ควรพิจารณาถึงกระบวนการทำให้แห้ง และการบดแป้ง ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ เวลามาก ดังนั้นควรรู้ข้อบกพร่องหรือเครื่องมือ เพื่อลดเวลาของกระบวนการเหล่านี้ เช่น การใช้สเปรย์ดราย หรือ ด้รุ่มดราย

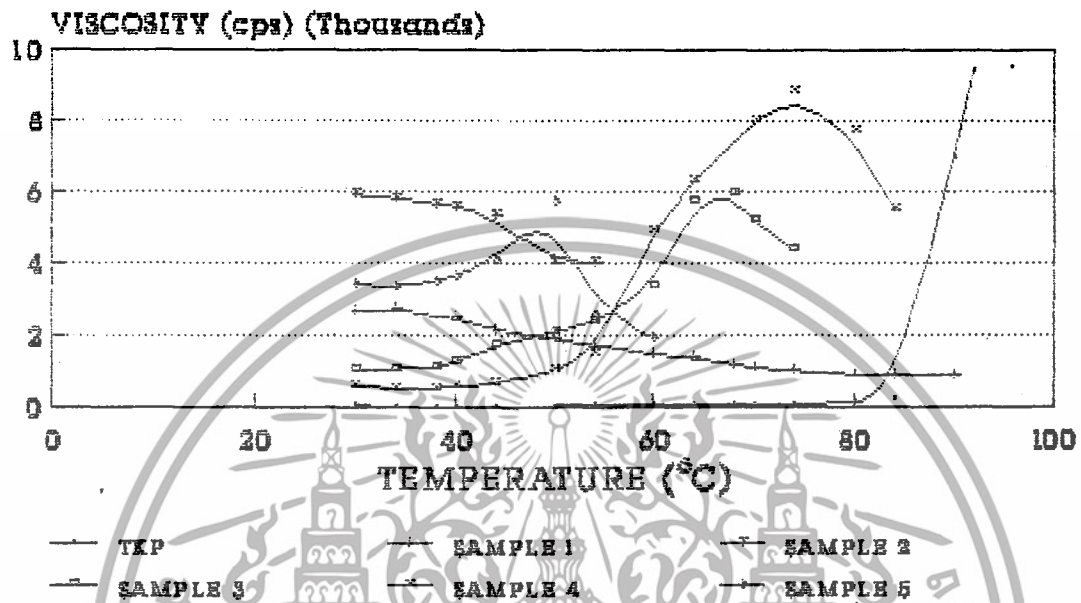
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

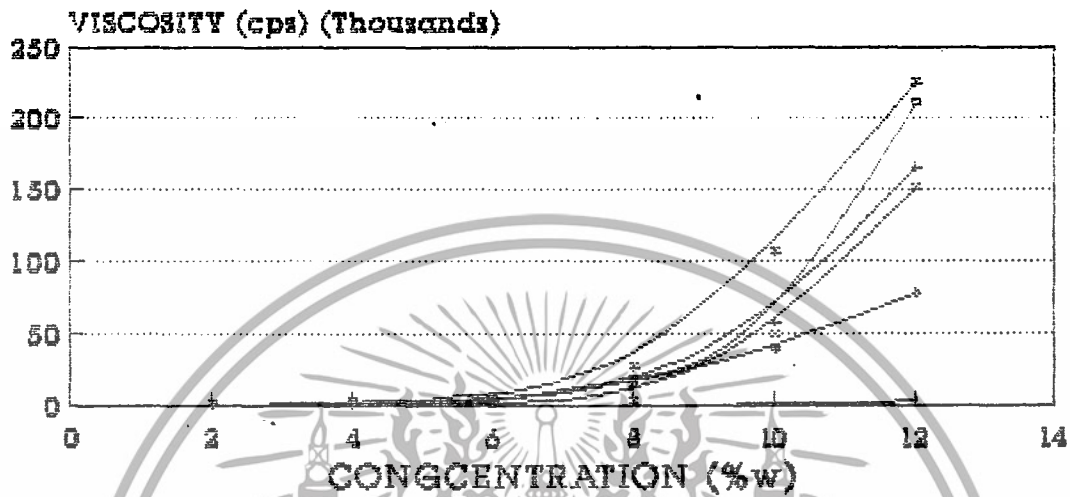
VISCOSITY

EFFECT OF TEMPERATURE ON VISCOSITY



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VISCOSITY RELATION OF CONCENTRATION AND VISC



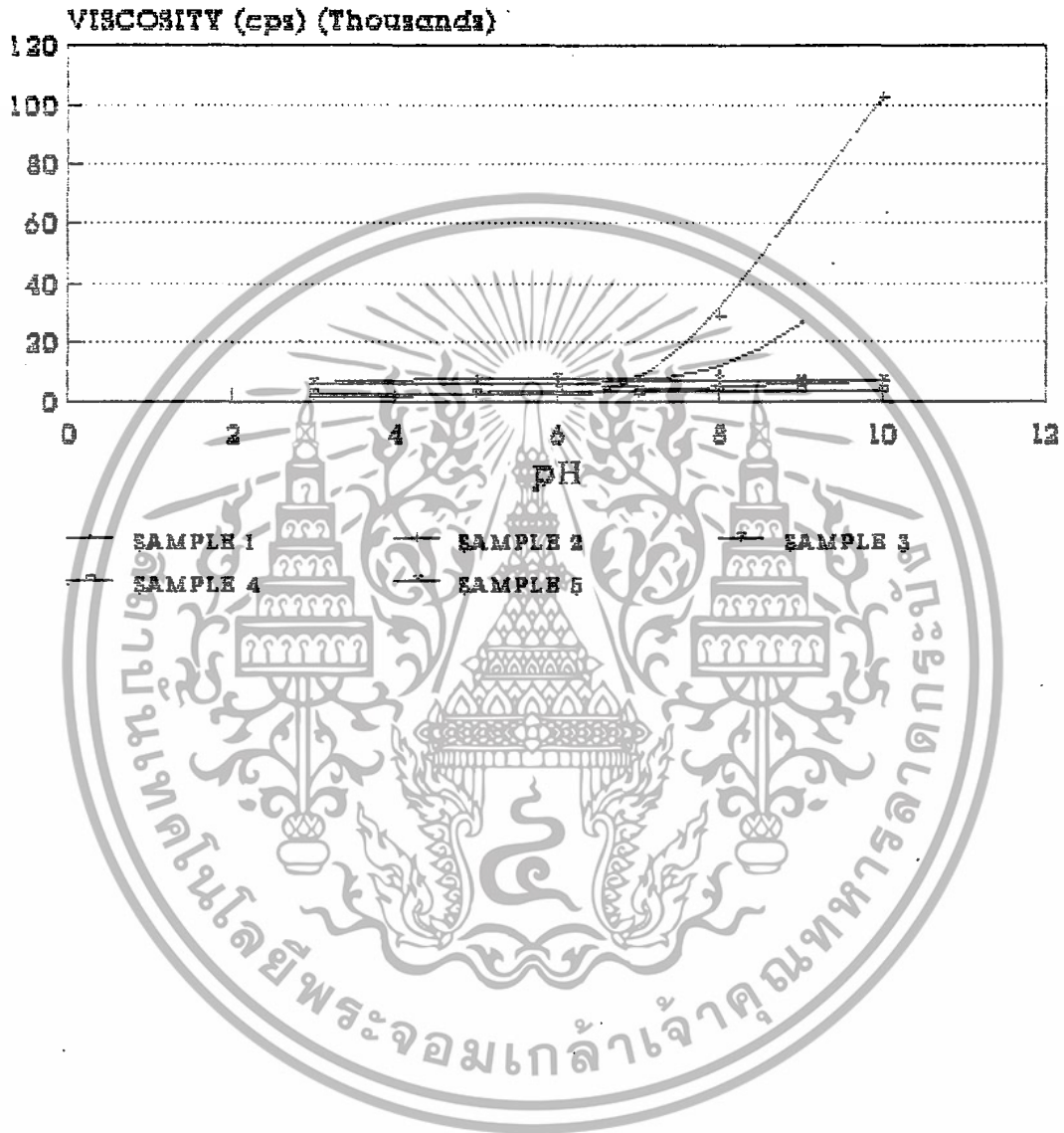
— TKP
— SAMPLE 1
— SAMPLE 2
— SAMPLE 3
— SAMPLE 4
— SAMPLE 5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VISCOSITY

EFFECT OF pH ON VISCOSITY



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. Rao, P.S. and Srivastava, H.C. Tamarind in Industrial Gums, 2nd ed., pp. 424-489, Academic Press Inc., London, 1964.
2. บรรจง นวลพลับ. มะขามหวาน พิมพ์ครั้งที่ 3. หน้า 10-11, 65 สำนักพิมพ์
ฐานเกษตรกรรม, กรุงเทพฯ, 2528
3. O.B. Wurzburg. Induction in Modified Starch : Properties and Uses, pp. 1-15, CRC Press Inc., Florida, 1987.
4. Harry W. Leach Gelatinization of Starch in Chemistry and Technology, 2nd ., pp. 289-307, Academic, New York, 1969.
5. Raip W. Kerr, Riverside, and Frank C. Cleveland "Orthophosphate Ester of Starch." U.S. Pat 2,884,413 Apr. 28, 1959.
6. D.B. Solarek Phosphorylated Starches and Miscellaneous Inorganic Ester, pp.97-112, CRC Press Inc., Florida, 1987.
7. Robert J. Smith and Joylouis Caruso Determination of Phosphorus in Method in Carbohydrate Chemistry, pp. 42-45 , Academic Press, London ,1964.
8. Eugena F. Paschall Phosphation with Inorganic Phosphate Salt in Method in Carbohydrate Chemistry , pp. 294-297, Academic Presss, London, 1964.
9. J. Bassett, R.C. Danney, Glt Jeffery and J. Mendhom Vogel's Textbook of Quantitative Inorganic Analysis, 4th ed., pp.756-757, Great Britain, 1978.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. Harry W. Leach Gelatinization of Starch in Chemistry and Technology, vol 2., 2nd ed., pp. 289-304, Academic Press Inc., New York, 1967.
11. R. M. Hamilton and E.F. Paschall, Production and Uses of Starch Phosphate in Chemistry and technology, vol 2., 2nd ed., pp. 351-367, Academic Press Inc., New York, 1967.
12. Hugh J. Roberts Nondegradative Reaction of Starch in Chemistry and Techonology, vol 2., 2nd ed., pp. 439-489, Academic Press Inc., New York, 1967.
13. Raymon R. Myers and Carl J. Knauss. Mechanical Properties of Starch Pasetts in Chemistry and Technology, vol 2., 2nd ed., pp 393-407 ,Academic Press Inc., New York, 1967.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำเอกสาร