



โครงการ การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ	การพัฒนาแถบสีจากสารให้สีในเปลือกองุ่นเพื่อบ่งชี้ความไวต่อค่า (Development of a color strip from colorants in grape for alkali indicator)	
ชื่อนิสิต	นายปกรณ์สิทธิ์ พ่วงโต นางสาวพลอยภัสสร พันธุ์ขอ นางสาวสุรีย์พร คำแพง	
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์	
ปีการศึกษา	2561	

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงการทางวิชาการที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงการทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด

The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the senior project authors' files submitted through the faculty.

หัวข้อ การพัฒนาแอปพลิเคชันจากสารให้สีในเปลือกกุ้งเพื่อป้องกันความไวต่อค่า

นิสิตผู้ดำเนินโครงการ นายปกรณ์สิทธิ์ พ่วงโต

นางสาวพลอยภัสสร พันธุ์ขอ

นางสาวสุรีย์พร คำแพง

ภาควิชา เทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญดา เกตุเมฆ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาภรณ์ นพคุณคิลกรัตน์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมในโครงการ รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิษฐา ธานานวงศ์

รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรนนท์ เจนจรัสสกุล

ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ยอมรับรายงานโครงการวิทยาศาสตร์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญดา เกตุเมฆ)



อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญดา เกตุเมฆ)



อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาภรณ์ นพคุณคิลกรัตน์)



อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิษฐา ธานานวงศ์)



อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรนนท์ เจนจรัสสกุล)

นิสิตผู้ดำเนินโครงการ นายปรกรณ์สิทธิ์ พ่วงโค รหัสนิสิต 5832622823
นางสาวพลอยภัสสร พันธุ์ขอ รหัสนิสิต 5832627023
นางสาวสุรีย์พร คำแพง รหัสนิสิต 5832647523

ชื่อเรื่อง การพัฒนาแถบสีจากสารให้สีในเปลือกองุ่นเพื่อบ่งชี้ความไวต่อต่าง

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. พิชญดา เกตุเมฆ

ผศ.ดร. สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมในโครงการ รศ.ดร. ขนิษฐา ธนานุวงศ์

รศ.ดร. ชีรนนท์ เจนจรัสสกุล

บทคัดย่อ เครื่องหมายบ่งบอกวันเดือนปีที่ผลิต และวันหมดอายุที่กำลังได้รับความนิยมเป็นการคาดคะเนวันหมดอายุของสินค้าภายใต้การเก็บรักษาในสภาวะที่ควบคุม หากสินค้าไม่ได้ถูกจัดเก็บไว้ในสภาวะนั้น วันหมดอายุที่ระบุบนบรรจุภัณฑ์จะ ไม่สอดคล้องกับความสดของอาหารที่บรรจุ ในโครงการนี้จะศึกษาและพัฒนาแถบสีวัดความสดของอาหาร โดยตรง โดยใช้สารให้สีธรรมชาติที่สกัดจากเปลือกองุ่น ชื่อว่าแอนโทไซยานิน โดยนำมาทำเป็นสารเคลือบเพื่อเคลือบกระดาษและทำเป็นหมึกพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟี สารเคลือบถูกผลิตโดยผสมสารให้สีจากเปลือกองุ่นกับพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ และน้ำ ตามสัดส่วนการทดลองแบบซิมเพิลแฟคทริส ทั้งหมด 7 ส่วนผสมที่ต่างกัน สำหรับหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟี ได้ผสมสารให้สีจากเปลือกองุ่นกับสารเคลือบผิวฐานน้ำรุ่น W8930 และ NN238307 โดยพิจารณาปริมาณของสารสีที่ใช้ผสมจากความเข้มข้นและการพิมพ์ติดบนฟิล์มด้านพอลิโพรพิลีน สารเคลือบและหมึกพิมพ์ถูกนำมาทดสอบการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อได้รับ แก๊สกลุ่มเอมีน ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปเกิดการเน่าเสียจะปล่อยแก๊สกลุ่มเอมีนออกมา แถบสีที่เตรียมไว้จะถูกติดลงบนฟิล์มพลาสติกที่ใช้สำหรับบรรจุอาหาร ปิดผนึกเข้ากับถาดบรรจุอาหาร ที่ด้านในบรรจุสารละลายแอมโมเนีย แช่วินดู่เย็นแล้วนำออกมาวัดสีทุก 30 นาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่า การเปลี่ยนสีของแถบสีที่ได้จากการเคลือบและการพิมพ์สัมพันธ์กับเวลาและความเข้มข้นของแอมโมเนีย ค่าความต่างสี ΔE_{00}^* ระหว่างแถบสีก่อนได้รับไอระเหยงจากแอมโมเนียและหลังได้รับไปเป็นเวลา 30 ถึง 240 นาที จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลานานขึ้นและเมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียเพิ่มขึ้น

ภาควิชา เทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์

คณะวิทยาศาสตร์

ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนิสิตผู้ดำเนินงาน... *ปรกรณ์สิทธิ์ พ่วงโค*

ลายมือชื่อนิสิตผู้ดำเนินงาน... *พลอยภัสสร พันธุ์ขอ*

ลายมือชื่อนิสิตผู้ดำเนินงาน... *สุรีย์พร คำแพง*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาหลัก... *พิชญดา เกตุเมฆ*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาหลัก... *สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม... *ขนิษฐา*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม... *ชีรนนท์*

Research Students	Mr. Pakornsit Pongto	ID No. 5832622823
	Ms. Ploypassorn Punkhor	ID No. 5832627023
	Ms. Sureeporn Khampaeng	ID No. 5832647523
Project title	Development of a color strip from colorants in grape for alkali indicator	
Project Advisors	Assoc. Prof. Dr. Pichayada Katemake	
	Asst. Prof. Dr. Supaporn Noppakundilokrat	
Project Co-advisors	Assoc. Prof. Dr. Kanitha Tananuwong	
	Assoc. Prof. Dr. Theeranun Janjarasskul	

Abstract

Manufactured and/or expired date on packaging is used for estimating the expired date of product under controlled condition. If the packaged product is stored in different condition as specified on the package, the expired date is invalid and the freshness of the product will not relate to the expired date. Our project is aimed to study and develop color label that directly indicate freshness of product. Natural dye from grape peel (Brenntag AC 12r WSP) called Anthocyanin was used to produce coating for paper and flexographic ink for printing on polypropylene (PP) layer in our experiment. Seven coating formulations were mixed according to simplex lattice design using 3 components: natural dye, polyvinyl alcohol (PVA) and water and were coated on filter paper. Two formulations of printing ink were mixed using natural dye plus water based varnish W8930 and natural dye plus water based varnish NN238307 and printed on the PP-multilayer film. The criteria of choosing amount of dye were color strength and printability of the ink on PP. The coatings on paper and printing inks on PP were tested their color changes when they were exposed to ammonia vapor. In fish, ammonia gas is released from gills as a metabolic waste from protein breakdown. The prepared paper color label obtained from coating were attached on the PP-multilayer film and glued the film on plastic tray containing ammonia solution. The printed PP-multilayer film was directly glued on the same type of plastic tray. Later, both were kept in the refrigerator (2-7 degrees C) The concentrations of ammonia were 0.5, 1.0, 5.0 and 10 mM. The color measurement of color label was carried out, every 30 min until 240 min, before and after keeping in the refrigerator. It was found that the change of color, indicating by CIE 1976 color difference, increased with time and concentration for both types of color label.

Department of Imaging and Printing Technology
Faculty of Science
Academic year 2018

Student's signature.....  
Student's signature.....  
Student's signature.....  
Main advisor's signature..... 
Main advisor's signature..... 
Co-advisor's signature..... 
Co-advisor's signature..... 

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยฉบับนี้จะไม่สามารถประสบความสำเร็จได้ หากไม่ได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญดา เกตุเมฆ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาภรณ์ นพคุณดิถรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิษฐา ธนานุวงศ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรนนท์ เจนจรัสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และ คำปรึกษาต่าง ๆ อีกทั้งแนะแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาในการทำโครงการ กราบขอบพระคุณ อาจารย์มา ณ ที่นี้

ผู้ดำเนินโครงการนี้ ขอขอบพระคุณ นายกนต์ธร พุทชาคำ ที่เป็นผู้ริเริ่มการทดลองพัฒนาตัวบ่งชี้การเน่าเสีย สำหรับบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะที่ใช้กับพลาสติกต่าง ขอขอบพระคุณอาจารย์ในภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ทุกท่านที่ให้ความรู้ และคำปรึกษาในเรื่องต่าง ๆ เป็นอย่างดี ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิวิวรรณ พัฒนาฤดี และ อาจารย์ธำรงรุจน์ สุนทรกุล อาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความกรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำการทดลองในโครงการนี้ ขอขอบคุณ นายสมชาย ภาวจินวร เจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยสอนวิธีการใช้เครื่องมือ เครื่องพิมพ์ IGT F1 และคอยตอบข้อสงสัยต่าง ๆ เกี่ยวกับโครงการนี้ ขอขอบคุณ นางบังอร พะยอมแย้ม เจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้ให้ความช่วยเหลือเรื่องเอกสารต่าง ๆ ในการดำเนินงาน และขอขอบคุณ พี่อนุฎ รัตสำโรง และพี่จตุพร เลิศบุญเรือนกุล ที่ช่วยแนะนำการใช้งานอุปกรณ์ต่าง ๆ และดูแลในขณะทำการทดลอง

ขอขอบพระคุณ บริษัท บลิสเวิร์ก (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความกรุณาในการให้ตัวอย่างสารเคลือบฐานน้ำ มาใช้ในโครงการวิจัยเพื่อใช้ทำสูตรหมึกพิมพ์ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่อโครงการนี้ ขอขอบพระคุณบริษัท เบรนนีแท็ก อินกรีเดียนส์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความกรุณาในการให้ตัวอย่างสีย้อมธรรมชาติ มาใช้ในโครงการวิจัยเพื่อใช้เป็นสารให้สีแก่หมึกพิมพ์ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่อโครงการนี้ ผู้ทำงานวิจัยนี้ขอขอบคุณ นายวิษณุพล จันทรา ที่ช่วยหาพลังงานผิวของพลาสติกสำหรับการทดลองนี้

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์งบประมาณสนับสนุนในการทำโครงการเสริมประสบการณ์นี้

ผู้ดำเนินโครงการ

สารบัญ

สารบัญเรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
2.1 อินดิเคเตอร์	2
2.2 แอนโทไซยานิน	2
2.3 สารให้สีจากเปลือกองุ่น	2
2.4 แคโรทโม่วง	3
2.5 การเกิดเอมีนของเนื้อสัตว์	3
2.6 การบรรจุเนื้อสัตว์	3
2.7 พลาสติก	4
2.8 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางแสงของกระดาษ	5
2.9 หมึกเฟล็กโซกราฟี	6
2.10 การวัดค่าสีในระบบสี CIELAB	7
2.11 สายละลายไดน์	7
2.12 K-bar	8
2.13 ถ้วยวัดการไหล (Zahn cup)	10
2.14 เครื่องวัดความหนืด brookfield	11
2.15 มาตรฐานการทดสอบการยึดติดของหมึกและสารเคลือบด้วยดินสอ	12

2.16	การออกแบบการทดลองแบบผสม (Mixture design)	12
บทที่ 3 การทดลอง		13
3.1	วัสดุอุปกรณ์	13
3.2	วิธีดำเนินการทดลอง	15
3.2.1	การเตรียมสารละลายสำหรับทดสอบการเปลี่ยนสีด้วยกรด – ด่าง	17
3.2.1.1	การเตรียมสารละลายแอมโมเนีย	17
3.2.1.2	เตรียมสารละลายสีข้อมจากเปลือกกุ้ง	17
3.2.1.3	วัดค่า pH ของสารต่าง ๆ	17
3.2.2	การเตรียมและทดสอบการเปลี่ยนสีด้วยกรด - ด่าง ของสารเคลือบกระดาษ	17
3.2.2.1	การทดสอบสมบัติกระดาษ	17
3.2.2.2	ออกแบบสูตรสารเคลือบ	18
3.2.2.3	เตรียมสารเคลือบกระดาษ	19
3.2.2.4	วัดความหนืดของสารเคลือบ	19
3.2.2.5	การเตรียมกระดาษเคลือบด้วยสารเคลือบ	19
3.2.2.6	การหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายแอมโมเนียที่ใช้ในการทดลอง	19
3.2.2.7	การทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของกระดาษเคลือบสีข้อมจากเปลือกกุ้งในบรรจุภัณฑ์อาหาร	20
3.2.2.8	การวัดค่าสี $L^* a^* b^*$ ตัวอย่าง	20
3.2.2.9	การคำนวณค่าความต่างสี (ΔE)	20
3.2.2.10	การทำนายและเลือกสูตรสารเคลือบกระดาษที่เหมาะสมด้วยโปรแกรมมินิแทบ	20
3.2.2.11	การเตรียมสูตรสารเคลือบกระดาษที่เหมาะสม	20
3.2.2.12	การเลือกและเตรียมสารเคลือบกระดาษเพื่อเปรียบเทียบความต่างของสารสกัดสีข้อมแอนโทไซยานิน ที่มาจากแหล่งต่างกัน	20
3.2.2.13	การทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีและ วัดค่าสี $L^* a^* b^*$	21
3.2.2.14	การคำนวณค่าความต่างสี (ΔE)	21
3.2.3	การเตรียมและทดสอบการเปลี่ยนสีด้วยกรด-ด่างของหมึกพิมพ์จากสารเคลือบฐานน้ำบนฟิล์มชนิด บรรจุภัณฑ์อาหาร	21
3.2.3.1	การวัดสมบัติฟิล์มสำหรับปิดผนึกบรรจุภัณฑ์อาหาร	21
3.2.3.2	การวัดความหนืดของสารเคลือบฐานน้ำ	21
3.2.3.3	การเตรียมหมึกจากสารเคลือบฐานน้ำ W8930	21

3.2.3.4	การเตรียมหมึกจากสารเคลือบฐานน้ำ NN238307	22
3.2.3.5	การพิมพ์สูตรหมึกลงบนฟิล์มด้านพอลิโพรพิลีนด้วยระบบเฟล็กโซกราฟี	22
3.2.3.6	การพิมพ์สูตรหมึกลงบนฟิล์มด้านพอลิโพรพิลีนด้วย Kbar เบอร์ 3	23
3.2.3.7	การทดสอบการเปลี่ยนแปลงสี	23
3.2.3.8	การหาค่าความต่างสี	23
3.2.3.9	เลือกสูตรหมึกพิมพ์ที่เหมาะสม	23
3.2.3.10	การเตรียมหมึกเพื่อเปรียบเทียบความต่างของสารสกัดสีข้อมแอนโทไซยานินที่มาจากแหล่งต่างกัน	23
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล		24
4.1	การศึกษาการเตรียมกระดาษที่เคลือบด้วยสารที่เปลี่ยนสีด้วยต่าง	24
4.1.1	ผลการวัดค่า pH	24
4.1.2	ผลการทดสอบสมบัติกระดาษ	25
4.1.2.1	ผลการวัดความหนาของกระดาษ	25
4.1.2.2	ผลการวัดการดูดซับน้ำ (Cobb test)	25
4.1.2.3	ผลการวัดการต้านทานอากาศของกระดาษ (Air resistance)	26
4.1.2.4	ผลการวัดความพรุนของกระดาษ (Porosity)	27
4.1.2.5	ผลการวัดสมบัติเชิงแสงของกระดาษ	27
4.1.3	ผลการวัดความหนืด	28
4.1.4	ผลการทดสอบหาความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนีย	29
4.1.5	ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีกระดาษเคลือบสารเคลือบ เพื่อทำนายสูตรสารเคลือบกระดาษที่เหมาะสม	30
4.1.5.1	ค่าความต่างสีของสารเคลือบกระดาษบนกระดาษกรองเบอร์ 1 ทั้ง 7 สูตร	30
4.1.5.2	การเปลี่ยนแปลงสีของสารเคลือบผิวบนกระดาษกรองเบอร์ 4 ทั้ง 7 สูตร	30
4.1.5.3	การเปลี่ยนแปลงสีของสารเคลือบบนกระดาษกรองเบอร์ 1 และ 4 ที่เวลา 240 นาที	31
4.1.6	ผลการทำนายสูตรสารเคลือบที่เหมาะสมจากการออกแบบของผสม	32
4.1.6.1	สูตรที่เป็นไปได้ทั้งหมด	32
4.1.6.2	การเลือกสูตรที่เหมาะสม	32
4.1.6.3	ความหนืดของสูตรที่เหมาะสม	33
4.1.6.4	การเปลี่ยนแปลงสีของสูตรที่เหมาะสม	33
4.1.7	ผลของชนิดแอนโทไซยานินต่อการเปลี่ยนสีของสารเคลือบ	33

4.1.7.1	การเลือกสูตรสารเคลือบเพื่อเปรียบเทียบ	33
4.1.7.2	การเปลี่ยนแปลงสีของสารเคลือบที่ใช้แอนโทไซยานินต่างชนิด	33
4.2	การศึกษาการเตรียมหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีสำหรับพิมพ์ฟิล์มพนักบรรจุภัณฑ์อาหารที่เปลี่ยนสีได้ด้วยสารละลายต่าง	34
4.2.1	ผลการทดสอบสมบัติฟิล์ม	34
4.2.1.1	ผลการวัดค่ามุมสัมผัส (Contact angle)	34
4.2.1.2	ผลการวัดค่าพลังงานผิว (Surface energy)	35
4.2.2	ผลการแห้งตัวและการยึดติดของสารเคลือบฐานน้ำบนฟิล์มด้าน PP	35
4.2.3	ผลการหาสูตรหมึกพิมพ์ที่เหมาะสมที่ใช้พิมพ์จากสารเคลือบฐานน้ำ	36
4.2.3.1	การเตรียมหมึกพิมพ์จากสารเคลือบฐานน้ำ W8930	36
4.2.3.2	การเตรียมหมึกพิมพ์จากสารเคลือบฐานน้ำ NN238307	36
4.2.4	ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพิมพ์บน PP	37
4.2.5	การหาความหนาที่เหมาะสมด้วย K-bar	39
4.2.6	การเตรียมหมึกจากสารละลายสีย้อมแอนโทไซยานินจากแครอทม่วง	39
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	41
5.1	สรุปผลการทดลอง	41
5.2	ข้อเสนอแนะ	41
เอกสารอ้างอิง		42
ภาคผนวก ก	รูปภาพแสดงสมบัติเชิงแสงของกระดาษแต่ละชนิด	44
ภาคผนวก ข	ตารางการวัดค่าสมบัติกระดาษ และฟิล์ม	49
ภาคผนวก ค	ตารางการวัดค่า pH	51
ภาคผนวก ง	ตารางแสดงค่าอัตราส่วนที่คำนวณได้จาก Mixture Design ที่ปริมาตรสุทธิ 40 มิลลิลิตร	52
ภาคผนวก จ	ตารางการวัดค่าความหนืด	53
ภาคผนวก ฉ	รูปผลการเคลือบหมึกด้วย K-bar เบอร์ต่าง ๆ บนฟิล์ม	54
ภาคผนวก ช	ตารางการวัดค่า CIE L* a* b* ในการหาความเข้มข้นแอมโมเนียที่เหมาะสมตั้งแต่ 0-180 นาที	55
ภาคผนวก ซ	ตารางค่าความต่างสีในการหาความเข้มข้นแอมโมเนียที่เหมาะสมตั้งแต่ 0 – 180 นาที	56
ภาคผนวก ฅ	ตารางการวัดค่า CIE L*a*b* ของสารเคลือบกระดาษ (กระดาษกรองเบอร์ 1) ตั้งแต่เวลา 0 - 240 นาที	57

ภาคผนวก ญ ตารางการวัดค่า CIE L*a*b* ของสารเคลือบกระดาษ (กระดาษกรองเบอร์ 4) ตั้งแต่เวลา 0 - 240 นาที	60
ภาคผนวก ก ตารางค่าความต่างสีของสารเคลือบกระดาษ (กระดาษกรองเบอร์ 1) ตั้งแต่เวลา 0 - 240 นาที	63
ภาคผนวก ฎ ตารางค่าความต่างสีของสารเคลือบกระดาษ (กระดาษกรองเบอร์ 4) ตั้งแต่เวลา 0 - 240 นาที	66
ภาคผนวก ฐ ตารางการวัดค่า CIE L*a*b* ของหมึกพิมพ์บนฟิล์มด้าน PET ตั้งแต่เวลา 0-240 นาที	69
ภาคผนวก ถ ตารางค่าความต่างสีของหมึกพิมพ์บนฟิล์มด้าน PET ตั้งแต่เวลา 0 - 240 นาที	70
ภาคผนวก ท รูปผลการเปลี่ยนแปลงสีของสารเคลือบกระดาษ ตั้งแต่เวลา 0 – 240 นาที	72
ภาคผนวก ธ รูปผลการเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพิมพ์บนฟิล์ม ตั้งแต่เวลา 0 – 240 นาที	75

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของหมึกฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสำหรับพิมพ์บนวัสดุที่ไม่ดูดซับ	6
ตารางที่ 2.2 อัตราส่วนของฟอร์มาร์ไมด์และเซลโลโซล และค่าแรงดึงผิว	8
ตารางที่ 2.3 รายละเอียดของ Standard K Bar แบบ Close Wound	9
ตารางที่ 2.4 รายละเอียดของ Standard K Bar แบบ Spirally Wound	9
ตารางที่ 2.5 สูตรสำหรับแปลงค่าของ Zahn Cups	11
ตารางที่ 2.6 ค่าแฟกเตอร์เพื่อคำนวณค่าความหนืดของของไหล	11
ตารางที่ 3.1 สูตรสารเคลือบสำหรับทดสอบกับกระดาษ	18
ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนของสารเคลือบ W8930 และปริมาตรสีข้อมที่ความเข้มข้นต่างกัน	22
ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนต่าง ๆ ของสารเคลือบ NN238307 และปริมาตรสีข้อมที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยปริมาตร	22
ตารางที่ 4.1 การวัดค่า pH ด้วย pH meter	24
ตารางที่ 4.2 การวัดค่า Universal indicator paper pH 1-14	24
ตารางที่ 4.3 ค่าสี CIELAB ของกระดาษแต่ละชนิด	27
ตารางที่ 4.4 การทดสอบสมบัติการแห้งตัวและการยึดติด	35
ตารางที่ 4.5 สมบัติการเปลี่ยนสีของสูตรหมึกที่มีสีข้อมปริมาณต่างกัน	36
ตารางที่ 4.6 สมบัติการเปลี่ยนสีของสูตรหมึกที่มีสีข้อมปริมาณต่างกัน	37
ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบหาความหนาของหมึกที่เหมาะสมด้วย K-bar	39

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของ Cyanidin 3 Oglucoside	2
รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของ Cyanidin-3-diglucoside-5 glucoside	3
รูปที่ 2.3 อุปกรณ์การทดสอบการซึมซับน้ำ ด้วยวิธี Cobb test	5
รูปที่ 2.4 ระบบสี CIELAB	7
รูปที่ 2.5 K-Bar แบบ Close Wound และแบบ Spirally Wound	8
รูปที่ 2.6 ถ้วยวัดการไหล (Zahn Cup)	10
รูปที่ 2.7 การออกแบบการทดลองแบบซิมเพิลิกแลตทิส	12
รูปที่ 3.1 เครื่อง IGT F1 Printability Tester	13
รูปที่ 3.2 เครื่อง Spectrophotometer ColorTouch PC	14
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทดลองสารเคลือบกระดาษ	15
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการทดลองหมึกพิมพ์บนฟิล์มจากสารเคลือบฐานน้ำ	16
รูปที่ 3.5 กระดาษเคลือบสารเคลือบสูตรที่ 7 ที่ติดไว้บนฟิล์ม	19
รูปที่ 4.1 ความหนาของกระดาษแต่ละชนิด	25
รูปที่ 4.2 ค่าการดูดซับน้ำของกระดาษแต่ละชนิด	26
รูปที่ 4.3 เวลาที่อากาศไหลผ่านกระดาษต่างชนิด	26
รูปที่ 4.4 กราฟ Porosity index	27
รูปที่ 4.5 ความหนืดของสารเคลือบ	28
รูปที่ 4.6 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีเมื่อใช้สารละลายแอมโมเนียที่ต่างความเข้มข้น	29
รูปที่ 4.7 ค่าความต่างสีของสารเคลือบบนกระดาษกรองเบอร์ 1	30
รูปที่ 4.8 ค่าความต่างสีของสารเคลือบบนกระดาษกรองเบอร์ 4	31
รูปที่ 4.9 ค่าความต่างสีของสารเคลือบกระดาษทุกสูตรที่เวลา 240 นาที บนกระดาษกรองเบอร์ 1 และ 4	31
รูปที่ 4.10 ผลการทำนายสูตรสารเคลือบที่เหมาะสมที่เป็นไปได้ทั้งหมดจากโปรแกรมมินิแทบ	32
รูปที่ 4.11 สูตรสารเคลือบที่เหมาะสม	32
รูปที่ 4.12 ค่าความต่างสีของสารเคลือบสูตรที่ 8 บนกระดาษกรองเบอร์ 4	33
รูปที่ 4.13 ค่าความต่างสีของสารเคลือบจากสารละลายแอนโทไซยานินต่างชนิดกัน	34
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่ามุมสัมผัสของสาร	35
รูปที่ 4.15 ค่าความต่างสีของหมึกสูตร NN-5 และ W-8 บน PP เมื่อทดสอบกับต่าง ในเวลาต่าง ๆ	37
รูปที่ 4.16 ค่าความต่างสีของหมึกสูตร NN-5 และ W-8 ที่เวลา 0-30 นาที	38
รูปที่ 4.17 สารละลายสีข้อมแอนโทไซยานินจากแคโรทม่วงเมื่อผสมกับสารเคลือบฐานน้ำที่อัตราส่วนในสูตร W-8 เมื่อเคลือบด้วย K-bar เบอร์ 3 บนฟิล์มด้าน PP	40
รูปที่ 4.18 สารละลายสีข้อมแอนโทไซยานินจากแคโรทม่วงเมื่อผสมกับสารเคลือบฐานน้ำที่อัตราส่วนในสูตร NN-5 เมื่อเคลือบด้วย K-bar เบอร์ 3 บนฟิล์มด้าน PP	40

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ

เนื่องจากปัจจุบันการเลือกซื้อสินค้า บรรจุภัณฑ์ หรือ อาหารในการบริโภคของมนุษย์มีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งการเลือกซื้อสินค้าควรต้องมีการคำนึงถึงหลายสิ่งก่อนที่จะตัดสินใจในการเลือกซื้อ เช่น ความจำเป็นในการใช้งาน ความสวยงามของสินค้า และวัน เดือน ปี ที่ผลิตกับหมดอายุ ซึ่งบรรจุภัณฑ์เกือบทุกประเภทจะมี เครื่องหมายหรือตัวเลขบ่งบอกวันเดือนปีที่ผลิต และ/หรือวันเดือนปีหมดอายุกำกับไว้ แต่หมายเลขดังกล่าวก็เป็นเพียงการคาดคะเนวันหมดอายุจากวันเวลาในการเก็บรักษาภายใต้มาตรฐานที่ต้องควบคุม เช่น อุณหภูมิ สภาพแวดล้อม ฯลฯ ซึ่งถ้าหากไม่ได้มีการเก็บรักษาตามมาตรฐานที่ตัวสินค้าระบุไว้ อาจทำให้สินค้าที่อยู่ภายในบรรจุภัณฑ์หมดอายุก่อนเวลาที่ระบุไว้บนตัวบรรจุภัณฑ์ หรือทำให้วันเวลาหมดอายุมีการเปลี่ยนแปลง และคลาดเคลื่อนไปได้ เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีการตอบสนองต่อความเป็นกรด-ด่างที่สัมพันธ์กับเวลา โดยใช้สารให้สีธรรมชาติประเภทแอนโทไซยานินจากเปลือกองุ่นและแครอทสีม่วง เพื่อเป็นตัวบ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง ในการทดลองนี้จึงมุ่งศึกษาผลของ ความเป็นกรด-ด่างและเวลา ที่ทำให้สีของสารสีธรรมชาติในเปลือกองุ่นเปลี่ยนแปลงไปเมื่อนำมาเคลือบบนกระดาษและพิมพ์ลงบนแผ่นฟิล์ม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อเตรียมสารเคลือบและหมึกพิมพ์ที่สามารถเปลี่ยนสีด้วยความเป็นกรด-ด่าง

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่าง และเวลาต่อการเปลี่ยนแปลงสีของกระดาษแถบสีที่ได้จากสารเคลือบที่มีสารให้สีธรรมชาติจากเปลือกองุ่นเป็นองค์ประกอบ

1.2.3 เพื่อศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่าง และ เวลาต่อการเปลี่ยนแปลงสีชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ฟเล็คโซกราฟีที่มีสารให้สีธรรมชาติจากเปลือกองุ่นเป็นองค์ประกอบ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 เตรียมสารเคลือบกระดาษจากสารให้สีในเปลือกองุ่น

1.3.2 เพื่อตรวจสอบบัตติของกระดาษที่เหมาะสมกับการนำมาทำแถบสีจากสารให้สีในเปลือกองุ่น

1.3.3 ออกแบบสูตรสารเคลือบ และเตรียมแถบสีจากสารให้สีในเปลือกองุ่น และทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีด้วยสารละลายแอมโมเนีย ที่ความเข้มข้น และช่วงเวลาต่าง ๆ

1.3.4 เตรียมหมึกฟเล็คโซกราฟีจากสารเคลือบฐานน้ำ และสีจากสารให้สีในเปลือกองุ่น

1.3.5 ออกแบบสูตรหมึกฟเล็คโซกราฟี และเตรียมแถบสีจากสารให้สีในเปลือกองุ่น และทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีด้วยสารละลายแอมโมเนีย ที่ความเข้มข้น และช่วงเวลาต่าง ๆ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

1.4.1 ด้านความรู้และประสบการณ์ต่อตัวนิสิตเอง

1.4.1.1 นิสิตได้รู้เกี่ยวกับขั้นตอนวิธีการเตรียมสารเคลือบและหมึกพิมพ์ฟเล็คโซกราฟี

1.4.1.2 นิสิตได้เรียนรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสีของสารให้สีจากธรรมชาติประเภทแอนโทไซยานิน

1.4.2 ความรู้ ความเข้าใจที่นำไปสู่การแก้ไขปัญหาของสังคมหรือสภาพแวดล้อม

1.4.2.1 ได้สารเคลือบกระดาษและหมึกพิมพ์ฟเล็คโซกราฟีจากสารให้สีธรรมชาติ

1.4.2.2 สามารถนำสารเคลือบและหมึกพิมพ์ฟเล็คโซกราฟี ไปใช้เป็นเครื่องหมายที่บอกลถึงวันเวลาในการผลิตและหมดอายุตามสภาพการใช้งานจริง

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อินดิเคเตอร์

อินดิเคเตอร์ คือ โมเลกุลอินทรีย์ขนาดใหญ่ มีลักษณะการทำงานคล้ายสีย้อม โดยเป็นตัวบ่งชี้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ซึ่งจะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของ ไฮโดรเจนไอออน อินดิเคเตอร์ส่วนใหญ่มีสมบัติเป็นกรดอ่อน ๆ

อินดิเคเตอร์มีหลายชนิด และจะเปลี่ยนสีที่ระดับ pH ต่างกัน ที่พบได้ทั่วไป ก็คือ “กระดาษลิตมัส” ควรเลือกใช้ อินดิเคเตอร์ให้เหมาะสม และถูกต้องเหมาะสมกับงานที่ใช้เพื่อสามารถแสดง "ค่าความเป็นกรด-ด่าง" โดยประมาณของตัวอย่าง ได้ถูกต้อง [1]

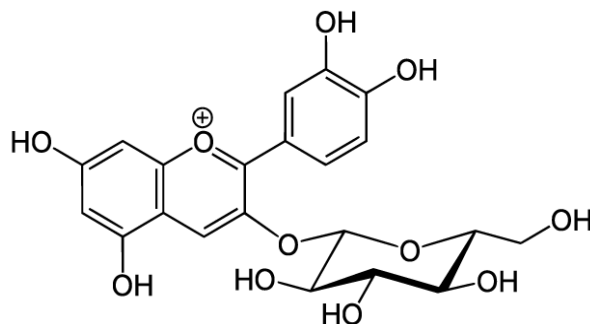
2.2 แอนโทไซยานิน

ในอดีตนักวิจัยจำนวนมาก มีความสนใจศึกษาประโยชน์ด้านสุขภาพ ที่ได้จากการบริโภคผัก และผลไม้ โดยนักวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่สมบัติของฟลาโวนอยด์ ซึ่งเป็นวงสรีของสารประกอบฟีนอลิกที่พบในอาหาร แอนโทไซยานิน เป็นฟลาโวนอยด์กลุ่มหนึ่งที่โดดเด่น เพราะมีสมบัติที่น่าสนใจหลายอย่าง

แอนโทไซยานินจากพืชเป็นสารที่ให้สีแดง และม่วง พบในผัก ผลไม้ ธัญพืชและดอกไม้หลายชนิด ซึ่งเป็นสารให้สีที่ได้รับความนิยมอย่างมากในอุตสาหกรรมสีที่ได้จากอาหาร เนื่องจากสามารถให้สีที่สดใส และมีประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยเป็นส่วนประกอบของยาสมุนไพรโบราณที่ใช้ในชาวอินเดียในอเมริกาเหนือ ชาวยุโรป และจีน รวมถึงลดโอกาสการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ บำรุงหลอดเลือด และเพิ่มความคมชัดในการมองเห็น [2] โดยทั่วไปนิยมใช้ เมทานอล เอทานอล แอซีโตนเป็นตัวทำละลาย เพื่อสกัดเอาสารแอนโทไซยานินจากพืชมาใช้ประโยชน์

2.3 สารให้สีจากเปลือกองุ่น

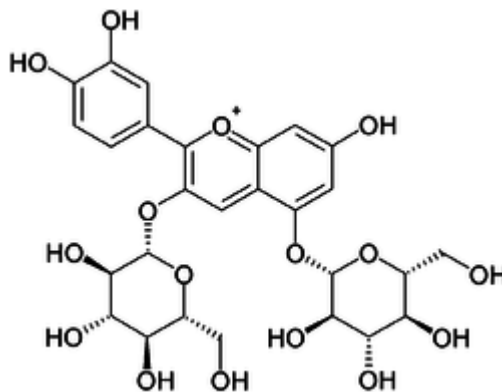
เปลือกองุ่นเป็นแหล่งที่มีสารแอนโทไซยานินสะสมในปริมาณมาก ส่งผลให้ผลองุ่นมีสีแตกต่างกัน ตั้งแต่สีแดง ไปจนถึงแดงดำ ขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้น และสัดส่วนของสารแอนโทไซยานินที่สะสมอยู่ในเปลือกองุ่น แอนโทไซยานินในเปลือกองุ่นนั้น นอกจากจะมีหน้าที่ในการป้องกันแสงยูวี เชื้อโรค และดึงดูดแมลงแล้ว ยังมีสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระอีกด้วย [3] สารให้สีกลุ่มแอนโทไซยานินที่พบในองุ่น คือ cyanidin-3-o-glucoside โครงสร้างทางเคมีแสดงในรูปที่ 2.1 เปลือกองุ่นที่มีน้ำหนักสด 100 กรัม จะประกอบด้วยแอนโทไซยานิน 5.67 มิลลิกรัม ซึ่งมีสมบัติตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง เมื่อค่า pH อยู่ในช่วงระหว่าง 1-4.5 [4]



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของ cyanidin-3-o-glucoside [5]

2.4 แครอทม่วง

แอนโทไซยานินสามารถสกัดได้จากแครอทม่วง ซึ่งเป็นสารให้สีแดงจากธรรมชาติที่เป็นตัวเลือกที่น่าสนใจ ในการนำมาใช้เป็นสารให้สีในอาหาร เช่น เยลลี่ หรือลูกอมเคลือบน้ำตาล และยังมีสมบัติในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่เกิดในน้ำมันดอกทานตะวัน ที่ก่อให้เกิดกลิ่นหืนได้อีกด้วย จึงเป็นที่น่าสนใจเนื่องจากเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการใช้ทดแทนสารแอนติออกซิแดนท์แบบสังเคราะห์ สำหรับสารให้สีกลุ่มแอนโทไซยานินที่พบในแครอทม่วง คือ cyanidin-3-diglucoside-5-glucoside โครงสร้างทางเคมีแสดงในรูปที่ 2.2 ในแครอทม่วงที่มีน้ำหนักสด 100 กรัม ประกอบด้วยแอนโทไซยานินถึง 168.7 มิลลิกรัม ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่สูง และสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง ในช่วงระหว่าง pH 1-10 ได้ ด้วยการเปลี่ยนสี เมื่อค่า pH น้อยกว่า 1 และมากกว่า 4 [6]



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของ cyanidin-3-diglucoside-5-glucoside [7]

2.5 การเกิดเอมีนของเนื้อสัตว์

เอมีนเป็นสารอินทรีย์น้ำหนักโมเลกุลต่ำ ที่พบได้ทั่วไปในร่างกาย ซึ่งเป็นกิจกรรมทางชีวภาพที่มีอิทธิพลอย่างมาก ต่อการทำงานทางกายภาพ โดยจะทำงานอย่างเป็นปกติก็ต่อเมื่อพบเอมีนเข้มข้นเพียงเล็กน้อยอยู่ในเนื้อเยื่อ แต่เมื่อเก็บเนื้อสัตว์จำพวกอาหารทะเลไว้เป็นเวลานานและควบคุมสภาพแวดล้อมได้ไม่ดีพอ ปริมาณความเข้มข้นของเอมีนจะเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ และภายในเนื้อสัตว์จะมีเอนไซม์ ที่เป็น decarboxylase enzyme ทำหน้าที่เปลี่ยนกรดอะมิโน ให้กลายเป็น ไบโอเจนิคเอมีน (biogenic amine) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ อีกทั้ง เมื่อได้รับเข้าสู่ร่างกายในปริมาณสูงยังทำให้เกิดอาการเวียนหัว คลื่นไส้ ได้อีกด้วย ดังนั้น จึงควรมีตัวบ่งชี้ที่สามารถบ่งบอกให้รับรู้ได้ เมื่อปริมาณเอมีนในเนื้อสัตว์มีมากเกินไป เพื่อความปลอดภัยและไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค [8]

2.6 การบรรจุเนื้อสัตว์

เนื้อสัตว์ประเภทอาหารทะเล โดยเฉพาะปลาสด เป็นอาหารที่เน่าเสียง่าย จึงจำเป็นต้องมีการเก็บรักษา ที่ถูกวิธีและเหมาะสม เพื่อป้องกันการเน่าเสียที่อาจเกิดขึ้นได้ระหว่างการแปรรูป ไปจนถึงการบรรจุภัณฑ์ ซึ่งมีหลายปัจจัยที่สำคัญ ที่มีผลต่อคุณภาพ ความสด รวมถึงจำนวนแบคทีเรีย ก่อนส่งถึงมือผู้บริโภค ซึ่งดูได้จาก กลิ่น รสชาติ ความฉ่ำของเนื้อ ผิวเนื้อ และสี ที่เป็นตัวบ่งบอก โดยการเก็บรักษาต้องเป็นวิธีที่ดีต่อสิ่งแวดล้อม และมีประสิทธิภาพในส่วนของตัวบรรจุภัณฑ์

ควรได้รับการปรับให้เหมาะสมโดยคำนึงถึงด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจตลอดห่วงโซ่คุณค่าทั้งหมด บรรจุภัณฑ์ ควรมีความแข็งแรงเพียงพอต่อการใช้งาน เป็นมิตรต่อผู้ใช้ ง่ายต่อการใช้งานของผู้บริโภค การค้าปลีก และการขนส่ง [9]

2.7 พลาสติก

พลาสติกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ เทอร์โมเซตพลาสติก และเทอร์โมพลาสติก

เทอร์โมเซตพลาสติก (Thermoset plastic)

เป็นพลาสติกที่มีสมบัติเฉพาะตัว ได้แก่ ทนต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ทนสารเคมี เกิดคราบหรือรอยเปื้อนยาก พลาสติกชนิดนี้เมื่อถูกหลอมเป็นรูปทรงใด จะเป็นรูปทรงนั้นอย่างถาวร ไม่สามารถนำมาหลอมใหม่ได้ เนื่องจากเกิดการเชื่อมขวางของสายโซ่โพลิเมอร์ของพอลิเมอร์ (cross linking among polymer chains) ทำให้หลังจากที่พลาสติกเย็นตัวลงและแข็งเป็นรูปทรงแล้ว ไม่สามารถทำให้อ่อนตัวลงได้อีกโดยการใช้ความร้อน แต่เมื่ออุณหภูมิสูงถึงระดับพลาสติกชนิดนี้ จะสลายตัวทันที การผลิตพลาสติกชนิดนี้ให้มีรูปทรงต่าง ๆ ต้องใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงและโดยส่วนมากต้องการแรงอัดร่วมด้วย เช่น เมลามีน พอลิยูรีเทน พอลิฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นต้น [10]

เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)

เป็นพลาสติกที่เมื่อได้รับความร้อน จะอ่อนตัว จึงสามารถนำไปขึ้นรูปได้หลายครั้งโดยที่สมบัติของพลาสติกยังคงเดิม พลาสติกชนิดนี้เป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบเส้น และแบบกิ่ง เช่น พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน พอลิสไตรีน เป็นต้น [9]

พอลิโพรพิลีน (polypropylene, PP) เป็นพลาสติกที่มีโครงสร้างเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน มีโครงสร้างอยู่ในกลุ่มของพอลิโอเลฟิน มีสมบัติที่ดีหลายอย่าง เช่น ความเหนียว ความทนต่อสารเคมี ความทนรอยขีดข่วน และการคงรูป แต่เนื่องจากพลาสติกชนิดนี้มีโครงสร้างเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้วเป็นหลัก และพลังงานผิวต่ำ ทำให้ความสามารถในการยึดติดต่ำ อาจต้องมีการปรับผิวหน้าเพื่อให้มีสมบัติการยึดติดที่ดีและสอดคล้องกับการใช้งานในอุตสาหกรรม เช่น การยึดติดของพลาสติกกับหมึกพิมพ์ หรือ สารเคลือบ [10]

พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (polyethylene terephthalate, PET) เป็นพลาสติกที่มีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของแก๊สได้เป็นอย่างดี จึงมีการใช้งานบรรจุอาหารที่มีความไวต่อแก๊ส นอกจากนี้ ยังมีสมบัติเด่นอีก เช่น มีความเหนียวที่ดี แต่ข้อเสีย คือไม่สามารถปิดผนึกด้วยความร้อนได้ จึงนิยมนำไปใช้เคลือบเพื่อทำฟิล์มหลายชั้น

ไนลอน (nylon) เป็นฟิล์มที่มีสมบัติต่างกับฟิล์มทั่วไป คือ มีความสามารถในการขวางกั้นอากาศที่ดี กล่าวคือ ขอมให้อากาศผ่านทะลุฟิล์มน้อย ด้วยสมบัติที่ดีนี้จึงมีการนำไปใช้ในด้านบรรจุภัณฑ์สินค้าที่อ่อนไหวต่อความชื้น อีกทั้งยังมีการนำไปใช้ในการทำฟิล์มหลายชั้น ซึ่งนิยมใช้ฟิล์มไนลอนเป็นชั้นกลาง อีกสองด้านเป็นพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตเพื่อให้ได้สมบัติที่ต้องการ

ฟิล์มหลายชั้น

การใช้งานฟิล์มพลาสติกในงานบรรจุภัณฑ์นั้น การใช้ฟิล์มเพียงชนิดเดียวอาจให้สมบัติที่ต้องการได้ไม่เพียงพอ จึงมีการใช้งานฟิล์มหลายชั้น หรือ ฟิล์มมัลติเลเยอร์ ซึ่งฟิล์มชนิดนี้จะเคลือบพลาสติกชนิดต่าง ๆ เข้าด้วยกันเพื่อสร้างฟิล์มที่ประกอบไปด้วยฟิล์มต่างชนิดกัน เพื่อให้ได้สมบัติของฟิล์มชนิดต่าง ๆ มารวมกัน ฟิล์มบางชนิดอาจมีสมบัติในการขวางกั้นแก๊สที่ดี แต่ขวางกั้นความชื้นไม่ดี หรือฟิล์มบางชนิดอาจจะมีสมบัติการขวางกั้นแก๊สที่ไม่ดี แต่มีความสามารถในการขวางกั้นความชื้นดี เมื่อนำฟิล์มทั้งสองชนิดนี้มาประกบกัน จะได้ฟิล์มที่มีสมบัติในการขวางกั้นทั้งแก๊ส ความชื้นดี

2.8 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางแสงของกระดาษ

กระดาษแต่ละชนิดมีสมบัติเฉพาะที่แตกต่างกัน เช่น การซึมซับน้ำ ความต้านอากาศ และความพรุน การซึมซับน้ำ

การซึมซับน้ำคือ การที่น้ำสามารถถูกซึมซับเข้าไปในผิวของกระดาษที่เปียกน้ำ มีวิธีการทดสอบด้วยกันหลายวิธี โดยหนึ่งในนั้นคือ cobb test

Cobb test (รูปที่ 2.3) สามารถวัดปริมาณน้ำที่ซึมเข้าไปในผิวหน้าของกระดาษในระยะเวลาที่กำหนด ส่วนใหญ่จะกำหนดที่ 60 หรือ 180 วินาที หน่วยของการวัด คือ กรัมต่อตารางเมตร ซึ่งการทดสอบการซึมน้ำมีความสำคัญอย่างมากต่อสมบัติของการพิมพ์และการกำหนดเกรดของกระดาษ [11]



รูปที่ 2.3 อุปกรณ์การทดสอบการซึมซับน้ำ ด้วยวิธี cobb test [11]

ความต้านอากาศ (air resistant)

การต้านอากาศของกระดาษอาจเรียกได้อย่างไม่เป็นทางการว่า เป็นการเคลื่อนที่ของของไหลเป็นรูปตัว Z มีปัจจัยที่ทำให้การต้านของอากาศนั้นแตกต่างกัน เช่น ความราบเรียบของกระดาษ การซึมซับของเหลว ประสิทธิภาพการไหลผ่านกระดาษของของไหล เป็นต้น ปัจจัยที่ส่งผลต่อการต้านอากาศของกระดาษนั้น คือ โครงสร้างภายในและผิวหน้าของกระดาษ โดยโครงสร้างภายในนั้นแตกต่างกันส่วนมากที่ ชนิด ความยาว การอุ้มน้ำ ทิศทางการวางตัวและการอัดแน่นของเส้นใย รวมถึงชนิดและปริมาณของสารเติมเต็ม การวัดความต้านอากาศของกระดาษนั้นมีความสำคัญอย่างมากในการทดสอบเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตกระดาษด้วยเช่นกัน

ความพรุน (porosity)

ความพรุนเป็นหนึ่งในสมบัติของกระดาษซึ่งสามารถทดสอบได้หลายวิธีด้วยกัน ซึ่งความพรุนนั้นสามารถทดสอบได้ด้วยการทดสอบที่ลักษณะการอัดของเส้นใยกระดาษทั้งขนาดเล็ก ขนาดใหญ่และเม็ดสีเข้าด้วยกัน การใช้สารเคมีเติมแต่งและปัจจัยในกระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิต ความพรุนนั้นไม่สามารถชี้เฉพาะเจาะจงได้ว่า ในกระดาษแต่ละชนิดหรือแต่ละแผ่นนั้นมีความพรุนเท่ากัน เพราะความหนาและความราบเรียบไม่เท่ากัน เพื่อให้กระดาษมีเกรดที่ดีขึ้นจึงต้องมีการเคลือบสารบนผิวหน้าของกระดาษเพื่อปรับปรุงและควบคุมความพรุน ความพรุนของกระดาษมีความสำคัญต่อกระดาษที่ใช้ในการซึมซับของเหลว เช่น กระดาษชำระ เป็นต้น [12]

2.9 หมึกเฟล็กโซกราฟี

การพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟี เป็นวิธีการพิมพ์ที่ใช้เทคนิค Letterpress สามารถเรียกได้ว่าเป็นการพิมพ์ที่นิยมขึ้นมาจากบริเวณรอบ ๆ ที่ไม่มีการพิมพ์ ซึ่งการทำงานของกรพิมพ์ระบบนี้จะประกอบด้วยลูกโม่หลัก ๆ ที่แตกต่างกัน ได้แก่ โม่จ่ายหมึก (inking (fountain) roller) โมนิล็อกซ์ (anilox roller) โม่แม่พิมพ์ (plate cylinder) และ โม่กดพิมพ์ (impression cylinder) [13]

องค์ประกอบของหมึกพิมพ์แบ่งได้ 4 องค์ประกอบ คือ

1. **สารให้สี:** มีหน้าที่ให้สีส้นแก่หมึกพิมพ์ ทั้งนี้สารให้สียังสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ สีข้อม และ สารสี
สีข้อม: สามารถละลายได้ในระบบตัวทำละลาย ให้สีส้นที่สดใส แต่ความคงทนต่อแสงน้อย
สารสี: เป็นอนุภาคของของแข็งที่มีสี ไม่ละลายในตัวทำละลายแต่ละกระเจายตัวอยู่ภายในของเหลว สีส้นไม่สดใสเท่าสีข้อม แต่มีความคงทนต่อแสงสูงกว่า
2. **สารยึด:** เป็นเรซินที่ละลายด้วยตัวทำละลาย มีหน้าที่กระจายสารสีไม่ให้เกาะกลุ่มกัน ยึดติดสารให้สีบนวัสดุพิมพ์ ให้ความสามารถในเรื่องความทนการขัดถูของหมึกพิมพ์
3. **ตัวทำละลาย:** ใช้ละลายสารยึดและสีข้อม
4. **สารเติมแต่ง:** ใส่เพื่อเพิ่มสมบัติอื่น ๆ ตามที่ต้องการ เช่น สารปรับความหนืด สารลดฟอง สารกันเชื้อรา เป็นต้น [14]

สูตรตัวอย่างของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟี แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของหมึกเฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสำหรับพิมพ์บนวัสดุที่ไม่ดูดซับ [15]

องค์ประกอบ	สัดส่วนโดยปริมาตร
35% pigment dispersion	50.0
acrylic solution polymer	10.0
acrylic emulsion	30.0
water	5.0
organic amine	1.0
polyethylene wax compound	3.0
surfactant	0.5
organic anti-foam	0.5
รวม	100.0

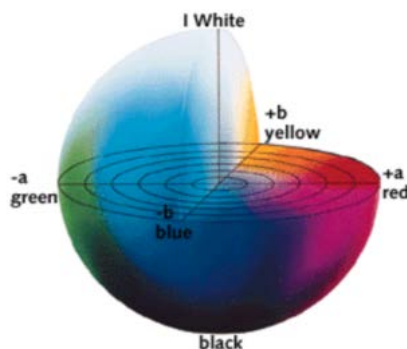
2.10 การวัดค่าสีในระบบสี CIELAB

ค่าสีในระบบสี CIELAB ได้มาจากการคำนวณองค์ประกอบทั้ง 3 ในช่วงของความยาวคลื่นที่มนุษย์สามารถรับรู้ได้ในช่วง 380-760 นาโนเมตร คือ ค่าการกระจายพลังงานของแหล่งกำเนิดแสง (Spectral power distribution) ค่าการสะท้อนแสงของวัตถุภายใต้แหล่งกำเนิดแสง และฟังก์ชันความไวแสงของตามนุษย์ (Color-matching functions) เป็นค่าไตรสติมูลัส XYZ (Tri-Stimulus) จากนั้น ใช้ค่าไตรสติมูลัส XYZ เพื่อแปลงไปเป็นค่าสีในระบบต่าง ๆ เช่น $L^*a^*b^*$ และ $L^*c^*h^*$

ระบบสี CIELAB ถูกกำหนดขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1976 โดยหน่วยงานชื่อว่า Commission International Del'Eclairage หรือ CIE เพื่อแก้ปัญหาการแปลค่าสีของระบบ xyY ซึ่งเป็นปริภูมิสีที่มีสเกลไม่สม่ำเสมอ ความต่างของสีที่มองเห็นไม่สอดคล้องกับค่าสีที่ได้ ระบบสี CIELAB เป็นปริภูมิสีแบบสเกลสม่ำเสมอ (Uniform scale color space) ค่าความต่างสีที่ได้จึงสอดคล้องกับที่มองเห็นมากขึ้น

ระบบ CIELAB ระบุค่าสีด้วยค่า $L^*a^*b^*$ โดย L^* หมายถึง ความสว่างของสี a^* และ b^* เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่บอกทิศทางของสี [16] ดังแสดงในรูปที่ 2.4

- +a หมายถึง สีแดง
- a หมายถึง สีเขียว
- +b หมายถึง สีเหลือง
- b หมายถึง สีน้ำเงิน



รูปที่ 2.4 ระบบสี CIELAB [17]

2.11 สายละลายไคน์

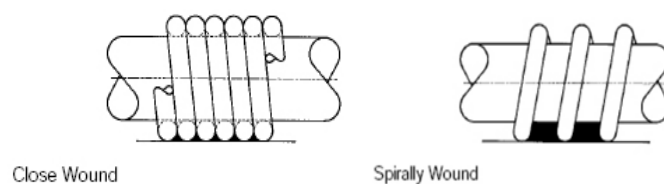
สารละลายไคน์ หรือ dyne solution สามารถใช้ในการตรวจสอบค่าพลังงานผิวของวัสดุ เตรียมโดยผสมฟอร์มาร์ไมด์ และเซลโลโซล เข้าด้วยกันในอัตราส่วนต่าง ๆ จะได้สารละลายไคน์สำหรับตรวจสอบพลังงานผิว อัตราส่วนของฟอร์มาร์ไมด์และเซลโลโซล และค่าแรงตึงผิวแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 อัตราส่วนของฟอร์มาไรต์และเซลโลโซล และค่าแรงดึงผิว [18]

ปริมาณของฟอร์มาไรต์ (%)	ปริมาณของเซลโลโซล (%)	ค่าแรงดึงผิว/เซนติเมตร
0	100.0	30
2.5	97.5	31
10.5	89.5	32
19.0	91.0	33
26.5	73.5	34
35.5	65.0	35
42.5	57.5	36
48.5	51.5	37
54.0	46.0	38
59.0	41.0	39
63.5	38.5	40
67.5	32.5	41
71.5	28.5	42
74.7	25.3	43
78.0	22.0	44
80.3	19.7	45
83.0	17.0	46
87.0	13.0	48
90.7	9.3	50
93.7	6.3	52
96.5	3.5	54
99.0	0.1	56

2.12 K-bar

แถบ K-Bar ผลิตโดยการดึงลวดเหล็กไว้บนแท่งเหล็กให้เป็นร่องที่มีรูปร่างเหมือนกัน ร่องเหล่านี้สามารถควบคุมความหนาของชั้นฟิล์มเปียกได้อย่างแม่นยำ K-Bar แบบ Close wound bars (รูปที่ 2.5) จะทำให้เกิดความหนาของสารเคลือบตั้งแต่ 4 ถึง 120 ไมโครเมตร และยังให้ความหนาของสารเคลือบได้สูงถึง 500 ไมโครเมตร โดยใช้ K Bar แบบ Spirally wound bars [19]



รูปที่ 2.5 K-Bar แบบ Close Wound (ซ้าย) และแบบ Spirally Wound (ขวา) [19]

โดย K-Bar เป็นวิธีที่นิยมใช้ เนื่องจากมีข้อดีหลายอย่าง เช่น

- ง่ายและราคาถูก
- ใช้กับความหนาได้ตั้งแต่ 4-500 ไมโครเมตร สำหรับความหนาฟิล์มเปียก
- ให้ความหนาเท่ากันในการเคลือบแต่ละครั้ง เมื่อใช้แผ่นยางรองปาดเฉพาะ
- แห้งและลวดทำมาจากสแตนเลส
- K bars มีเลขและรหัสสีบ่งบอกความลึกของร่อง
- ใช้เปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ได้มากกว่า 2 ชนิด

ซึ่ง K-bar หมายเลขต่าง ๆ จะมีความลึกของร่องต่างกัน และให้ความหนาที่แตกต่างกัน ทั้งแบบ Close Wound ดังตารางที่ 2.3 และแบบ Spirally Wound ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 รายละเอียดของ Standard K Bar แบบ Close Wound หมายเลขต่าง ๆ

Bar No.	Colour Code	เส้นผ่าศูนย์กลางเส้นลวด		ความหนาชั้นฟิล์มขณะเปียก	
		INS	MM	INS	µm
0	White	0.002	0.05	0.00015	4
1	Yellow	0.003	0.08	0.00025	6
2	Red	0.006	0.15	0.0005	12
3	Green	0.012	0.31	0.0010	24
4	Black	0.020	0.51	0.0015	40
5	Horn	0.025	0.64	0.0020	50
6	Orange	0.030	0.76	0.0025	60
7	Brown	0.040	1.00	0.0030	80
8	Blue	0.050	1.27	0.0040	100
9	Tan	0.060	1.50	0.0050	120

ตารางที่ 2.4 รายละเอียดของ Standard K Bar แบบ Spirally Wound หมายเลขต่าง ๆ

Bar No.	เส้นผ่าศูนย์กลางเส้นลวด		ความหนาชั้นฟิล์มขณะเปียก	
	INS	MM	INS	µm
150	0.010	0.25	0.006	150
200	0.014	0.36	0.008	200
300	0.020	0.51	0.012	300
400	0.030	0.76	0.016	400
500	0.040	1.00	0.20	500

2.13 ถ้วยวัดการไหล (Zahn cup)

Zahn cup มีหลายเบอร์ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ถ้วยวัดการไหล (Zahn Cup) [20]

Zahn cup เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดความหนืดขนาดพกพาสำหรับของไหล เช่น สี หมึก สารเคลือบ น้ำเชื่อม น้ำมัน เป็นต้น ค่าความหนืดที่ได้จากการวัดด้วย Zahn cup มีค่าเป็น Zahn seconds ซึ่งคือเวลาในหน่วยวินาทีที่ของเหลวปริมาณ 44 มิลลิลิตรใช้ในการไหลผ่านรูของ Zahn cup

Zahn cup มีทั้งหมด 5 เบอร์ สามารถใช้วัดความหนืดได้ตั้งแต่ 18 – 1725 centistokes โดยแต่ละเบอร์จะต่างกันที่รูเปิดให้ของเหลวไหลที่ด้านล่างของถ้วย [20]

วิธีการใช้งาน

1. จุ่ม Zahn cup ลงในของเหลวที่ต้องการวัด โดยให้ของเหลวมีอุณหภูมิตามต้องการ
2. ยก Zahn cup ขึ้นเหนือของเหลวพอประมาณ เริ่มจับเวลาตั้งแต่ปาก Zahn cup พื้นผิวของของเหลว
3. หยุดเวลาเมื่อสายของของเหลวขาด ค่าที่ได้คือ Zahn seconds
4. หากเวลาที่ได้น้อยกว่า 20 วินาทีให้ลดเบอร์ Zahn cup หากมากกว่า 40 วินาที ให้ไปใช้ Zahn cup เบอร์ที่สูงขึ้น การแปลงเวลา Zahn seconds เป็นความหนืดในหน่วย centistokes (cSt) สามารถได้จากสมการที่ 2.1

$$V = K (t-C) \quad (2.1)$$

เมื่อ V คือ Kinematic Viscosity (cSt)
 t คือ Efflux time (Zahn seconds)
 K, C คือ ค่าคงที่

ซึ่งค่าคงที่ K และ C ที่ใช้ในการแปลงค่าของ Zahn cup เบอร์ต่าง ๆ จะมีค่าที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 สูตรสำหรับแปลงค่าของ Zahn cup เบอร์ต่าง ๆ [20]

เบอร์ Zahn cup	สูตร	ช่วงเวลา (วินาที)
1	$V = 1.1 (t-29)$	45-80
2	$V = 3.5 (t-14)$	25-80
3	$V = 11.7 (t-7.5)$	20-75
4	$V = 14.8 (t-5)$	20-80
5	$V = 23 (t-0)$	20-75

2.14 เครื่องวัดความหนืด brookfield

เครื่องวัดความหนืด brookfield หรือ brookfield viscometer คือ เครื่องวัดความหนืดประเภท Rotational viscometer ซึ่งจะเป็นการวัดจาก torque ที่สามารถเอาชนะความหนืดได้ หรือ แรงที่ทำให้ของไหลเกิดการเคลื่อนที่ ซึ่งจะมีการติดมอเตอร์กับด้านหนึ่งของเข็มวัด (spindle) และใช้สปริงในการหมุน spindle อีกด้านหนึ่งที่จุ่มอยู่ในของไหล ให้เคลื่อนที่ไปตามมอเตอร์

การใช้เครื่องวัดความหนืดชนิดนี้จะเหมาะกับการวัดของไหลที่มีความหนืดน้อยไปจนถึงความหนืดสูง รวมถึงการวัดความหนืดที่ต้องทำเป็นประจำและต้องการค่าที่แม่นยำ ควรเลือกประเภท และขนาดของเข็มวัดให้เหมาะสม รวมถึงการคำนวณความเร็วรอบที่เหมาะสม ควรอ่านค่าจากหน้าปัดให้อยู่ในช่วง 10-100 หากมากกว่า 100 ให้ปรับความเร็วรอบช้าลง และเมื่อต่ำกว่า 10 ควรปรับความเร็วรอบให้สูงขึ้น และเมื่อได้ค่าความเร็วมาแล้วจึงนำไปคูณกับค่าแฟกเตอร์ ที่แสดงในตารางที่ 2.6 ที่แนบมากับเครื่อง ก็จะได้ค่าความหนืดของของไหลนั้น [21]

ตารางที่ 2.6 ค่าแฟกเตอร์เพื่อคำนวณค่าความหนืดของของไหล [21]

ความเร็ว (rpm)	RV Series Factor Spindle No.7
0.5	80,000
1	40,000
2.5	16,000
5.0	8,000
10.0	4,000
20.0	2,000
50.0	800
100.0	400

2.15 มาตรฐานการทดสอบการยึดติดของหมึกและสารเคลือบด้วยดินสอ

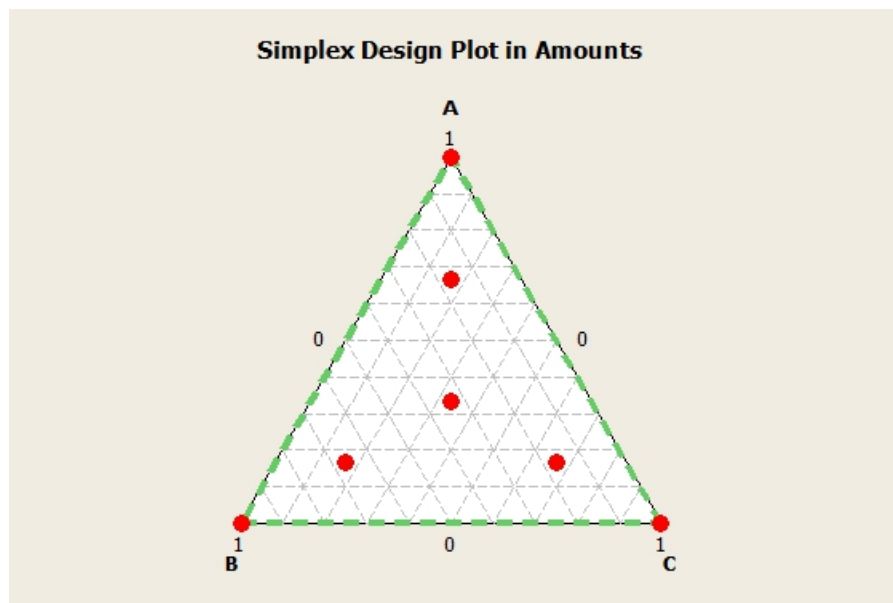
วิธีการทดสอบด้วย Pencil Test ASTM-D336-05 เป็นการประเมินความต้านทานของสารเคลือบ (ความแข็งของฟิล์ม) ที่มีผลต่อการขีดข่วนจากการขีดด้วยดินสอที่มีความแข็งต่างกัน (6B ถึง มากกว่า 6H) ภายใต้น้ำหนักบนพื้นผิวของสารเคลือบเป็นระยะทาง 10 - 12 มิลลิเมตร (½ นิ้ว) [22]

2.16 การออกแบบการทดลองแบบผสม (Mixture design)

การออกแบบการทดลองแบบผสมเป็นการใช้เทคนิคคณิตศาสตร์และสถิติในการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ผลจากองค์ประกอบเชิงปริมาณตั้งแต่ 2 องค์ประกอบขึ้นไป โดยที่องค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบมีความสัมพันธ์ต่อกัน เมื่อรวมองค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบจะมีปริมาณรวมเป็น 1 หรือร้อยละ 100 หรือกล่าวได้ว่าหากมีองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่งที่มีปริมาณสูงขึ้น องค์ประกอบอื่นจะมีสัดส่วนลดลง ในการทดลองนี้ใช้การออกแบบการทดลองแบบผสมแบบซิมเพล็กซ์แลตทิซ (Simplex-Lattice) [23]

การออกแบบซิมเพล็กซ์แลตทิซ (Simplex-Lattice) มีพิกัด คือ องค์ประกอบแต่ละอย่างในการทดลอง p องค์ประกอบและ m ระดับ ซึ่งสามารถคำนวณระดับได้ดังนี้ $A_{\{p,m\}} X_i = 0, 1/m, 2/m, \dots, 1$ เมื่อ $i = 1, 2, \dots, p$ และ m คือสัดส่วนขององค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบตั้งแต่ 0-1 (0-100%)

ตัวอย่างการออกแบบการทดลองแบบซิมเพล็กซ์แลตทิซที่มี 3 องค์ประกอบ และ 1 ระดับ จากโปรแกรมมินิแทบ จึงได้จุดในการทดลอง 7 จุด



รูปที่ 2.7 การออกแบบการทดลองแบบซิมเพล็กซ์แลตทิซ 7 จุดการทดลอง

บทที่ 3 การทดลอง

3.1 วัสดุอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

3.1.1.1 สารละลายแอมโมเนีย ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร จากบริษัท Panreac Applichem ITW Reagents ประเทศเยอรมนี

3.1.1.2 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ น้ำหนักโมเลกุล 88,000 จากบริษัท JAPAN VAM & POVAL CO.,LTD. ประเทศญี่ปุ่น

3.1.1.3 สารเคลือบฐานน้ำ W8930 จากบริษัท บลิสเวิร์ก จำกัด ประเทศไทย

3.1.1.4 สารเคลือบฐานน้ำ NN238307 จากบริษัท บลิสเวิร์ก จำกัด ประเทศไทย

3.1.1.5 สารสกัดสีข้อมจากเปลือกองุ่น PR-70130 จากบริษัท BRENNTAG INGREDIENTS PUBLIC CO.,LTD. ประเทศไทย

3.1.1.6 หมึกทดสอบ TK-21 Low Penetration LENETA Paper-Testing Ink for Uncoated Paper-Testing Ink จากบริษัท Leneta Company, Inc. สหรัฐอเมริกา

3.1.1.7 ไดไอโอดีมีเทน (AR grade) จากบริษัท Sigma - Aldrich ประเทศสิงคโปร์

3.1.2 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์

3.1.2.1 เครื่อง IGT F1 Printability Tester จากบริษัท IGT Testing Systems Pte. Ltd. ประเทศเนเธอร์แลนด์



รูปที่ 3.1 เครื่อง IGT F1 Printability Tester [25]

3.1.2.2 เครื่อง Cobb Tester จากบริษัท Regmed ประเทศบราซิล

3.1.2.3 เครื่อง Air Leak Tester จากบริษัท Toyo Seiki Co., Ltd. ประเทศญี่ปุ่น

3.1.2.4 เครื่องวัดสี Konica Minolta CM-700D Spectrophotometer จากบริษัท KONICA MINOLTA, INC. ประเทศญี่ปุ่น

3.1.2.5 เครื่องวัดสี Spectrophotometer รุ่น ColorTouch PC จากบริษัท Technidyne Corporation สหรัฐอเมริกา

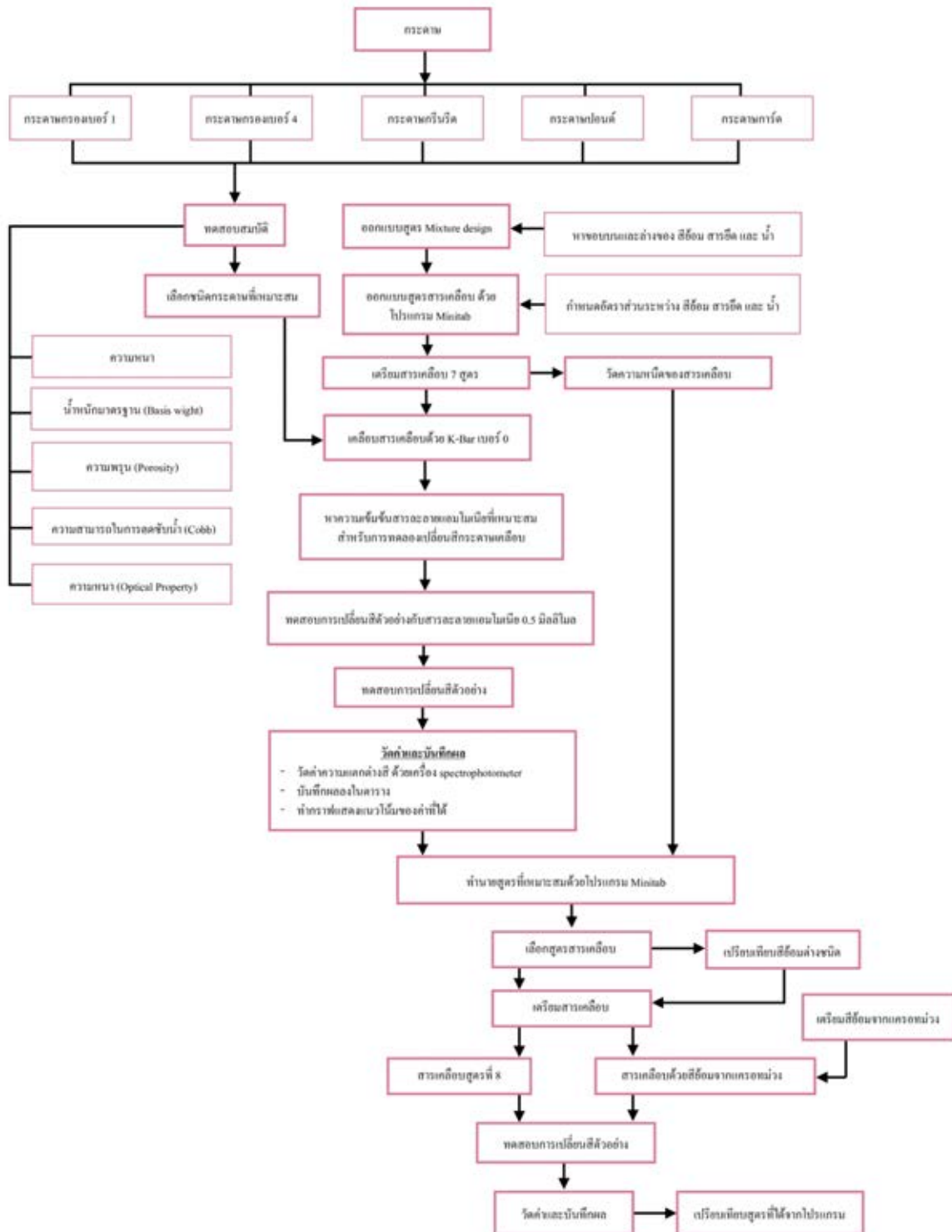


รูปที่ 3.2 เครื่อง Spectrophotometer ColorTouch PC [26]

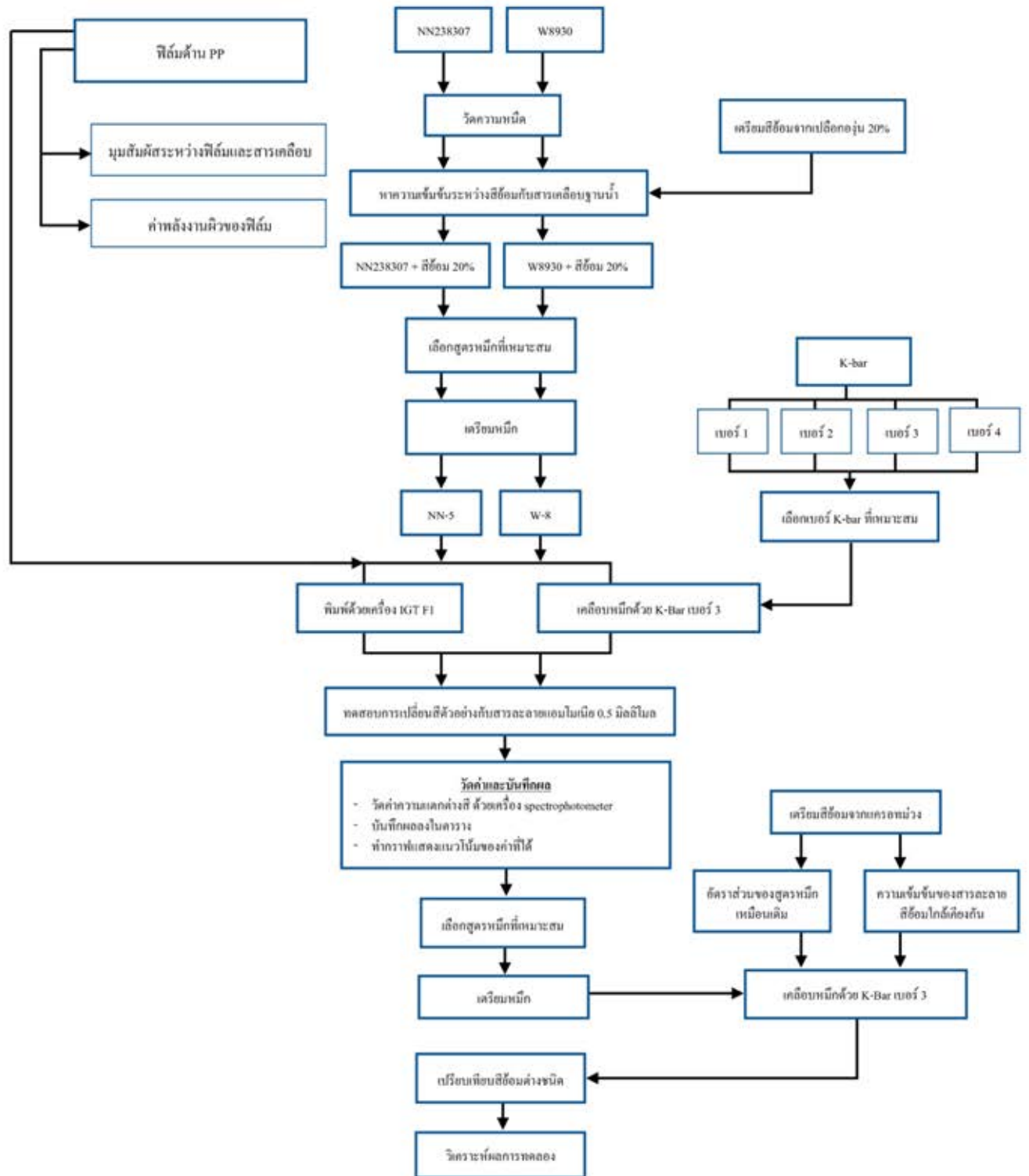
- 3.1.2.6 เครื่อง Thickness gauge จากบริษัท Frank ประเทศเยอรมนี
- 3.1.2.7 เครื่องทดสอบวัดมุมสัมผัส จากบริษัท KYOWA INTERFACE SCIENCE CO., LTD. ประเทศญี่ปุ่น
- 3.1.2.8 ชุด K-bar
- 3.1.2.9 Zahn cup เบอร์ 2, 3 และ 4
- 3.1.2.10 ชุดดินสอดทดสอบ 1H - 5H
- 3.1.2.11 กระดาษ
 - 3.1.2.11.1 กระดาษปอนด์
 - 3.1.2.11.2 กระดาษกรีนรีด
 - 3.1.2.11.3 กระดาษกรองเบอร์ 1 และเบอร์ 4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร ยี่ห้อ Whatman
 - 3.1.2.11.4 กระดาษการ์ดขาว
 - 3.1.2.11.5 กระดาษสา
- 3.1.2.12 เครื่อง Hot plate
- 3.1.2.13 pH มิเตอร์ รุ่น HI98107 จากบริษัท Hanna Instruments, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.1.2.14 ฟิล์มสำหรับปิดผนึกถาดอาหาร แบบ ฟิล์มหลายชั้นของ PP Nylon และ PET
- 3.1.2.15 เครื่องชั่งน้ำหนัก
- 3.1.2.16 แท่งแก้วคน
- 3.1.2.17 ซ้อนตักสาร
- 3.1.2.18 ไมโครปิเปต ขนาด 100-1000 ไมโครลิตร จากบริษัท BrandTech® Scientific, Inc. สหรัฐอเมริกา
- 3.1.2.19 บีกเกอร์
- 3.1.2.20 ขวดแก้วเก็บสาร
- 3.1.2.21 หลอดหยด
- 3.1.2.22 ตู้เย็น TOSHIBA
- 3.1.2.23 เทอร์โมมิเตอร์ จากบริษัท Brannan ประเทศอังกฤษ
- 3.1.2.24 เครื่องวัดความหนืด Brookfield Viscometer แบบอ่านค่าตัวเลข รุ่น RVT สหรัฐอเมริกา
- 3.1.2.25 ปืนกาว และ กาวแท่ง

3.2 วิธีดำเนินการทดลอง

ขั้นตอนดำเนินงานเริ่มจากขั้นตอนการเตรียมแถบสีสำหรับทดสอบการเปลี่ยนสีด้วย กรด - ด่าง โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วนหลักคือ การทดสอบการเปลี่ยนสีด้วยกรด - ด่าง ของสารเคลือบกระดาษ และ การทดสอบการเปลี่ยนสีด้วยกรด-ด่างของหมึกพิมพ์บนฟิล์มจากสารเคลือบฐานน้ำ โดยมีขั้นตอนการทดลองส่วนของสารเคลือบกระดาษ และ หมึกพิมพ์บนฟิล์มจากสารเคลือบฐานน้ำ ดังรูปที่ 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทดลองสารเคลือบกระดาษ



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการทดลองหมึกพิมพ์บนฟิล์มจากสารเคลือบฐานน้ำ

3.2.1 การเตรียมสารละลายสำหรับทดสอบการเปลี่ยนสีด้วยกรด – ด่าง

3.2.1.1 การเตรียมสารละลายแอมโมเนีย

เตรียมสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 100 มิลลิโมล โดยใช้โมโครปิเปตดูดสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร 1.582 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกรองจนถึงระดับที่ขีดไว้ตรงบริเวณคอขวด ปิดฝาขวดให้แน่น เขย่าโดยพลิกขวดไปมาให้สารละลายเข้ากัน เทใส่ขวดเก็บสารเคมีขนาด 250 มิลลิลิตร

เตรียมสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 0.5, 1, 5 และ 10 มิลลิโมล จากสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 100 มิลลิโมล ที่เตรียมไว้ โดยดวงสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 100 มิลลิโมล ปริมาตร 1.25, 2.5, 12.5 และ 25 มิลลิลิตร สำหรับเตรียมสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 0.5, 1, 5 และ 10 มิลลิโมล ตามลำดับ ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกรองจนถึงระดับที่ขีดไว้ตรงบริเวณคอขวด ปิดฝาขวดให้แน่น เขย่าโดยพลิกขวดไปมาให้สารละลายเข้ากัน เทใส่ขวดเก็บสารเคมีปริมาตร 250 มิลลิลิตร

3.2.1.2 เตรียมสารละลายสีข้อมจากเปลือกองุ่น

เตรียมสารละลายสารสกัดสีข้อมจากเปลือกองุ่น โดยชั่งสารสกัดสีข้อมจากเปลือกองุ่น 3.75 กรัม และ 5 กรัม ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร แต่ละขวด จากนั้นเติมน้ำกรอง ให้ได้ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายสีข้อมจาก เปลือกองุ่นที่มีความเข้มข้นร้อยละ 15 และ 20 น้ำหนักโดยปริมาตร ตามลำดับ

3.2.1.3 วัดค่า pH ของสารต่าง ๆ

วัดค่า pH ของสารด้วย pH meter และ กระดาษ Universal indicator

3.2.2 การเตรียมและทดสอบการเปลี่ยนสีด้วยกรด - ด่าง ของสารเคลือบกระดาษ

3.2.2.1 การทดสอบสมบัติกระดาษ

กระดาษที่ใช้ในการทดสอบมี 5 ชนิด ได้แก่ กระดาษกรองเบอร์ 1, กระดาษกรองเบอร์ 4, กระดาษกรีนริด, กระดาษปอนด์ และ กระดาษการ์ด

3.2.2.1.1 ความหนาของกระดาษ (Thickness test)

ตัดกระดาษแต่ละชนิดขนาด 10 x 10 เซนติเมตร ชนิดละ 1 แผ่น และเปิดเครื่องวัดความหนา และ นำกระดาษไปวางในบริเวณที่ใช้สำหรับวัด เลือกคำสั่ง Test บนหน้าจอแล้วรอให้หน้าจอแสดงสัญลักษณ์สีเขียวที่บริเวณมุมล่างขวาของหน้าจอ กดเลือกคำสั่ง measure เพื่อทำการวัดความหนาของกระดาษแล้วบันทึกค่าที่วัดได้ จากนั้นเปลี่ยนบริเวณการวัดความหนาของกระดาษโดยทำซ้ำ 5 ครั้ง สำหรับการวัดกระดาษ 1 แผ่น และนำค่าที่บันทึกได้ไปคำนวณหาความหนาเฉลี่ยของกระดาษแต่ละชนิด

3.2.2.1.2 การดูดซับน้ำ (Cobb test)

ตัดกระดาษแต่ละชนิดขนาด 12.5 x 12.5 เซนติเมตร จำนวน 6 แผ่น ด้าน A จำนวน 3 แผ่น และ ด้าน B จำนวน 3 แผ่น นำไปชั่งน้ำหนักก่อนทำการทดสอบ ทำการทดสอบ ด้วยเครื่อง Cobb tester เป็น เวลา 60 วินาที โดยเทน้ำออกวินาทีที่ 50 และเมื่อครบเวลา นำกระดาษออกมาชั่งน้ำหนักส่วนเกินโดยใช้ลูกกลิ้งโลหะ แล้วนำไปชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบ ค่าการดูดซับน้ำหาได้จากน้ำหนักหลังการทดสอบลบด้วยน้ำหนักก่อนการทดสอบ

3.2.2.1.3 การต้านทานอากาศของกระดาษ (Air resistance)

ตัดกระดาษแต่ละชนิดขนาด 10 x 10 เซนติเมตร อย่างละ 3 แผ่น นำกระดาษที่เตรียมไว้ไปทำการทดสอบความสามารถในการต้านทานอากาศด้วยเครื่อง Air Leak Tester โดยไขที่ใส่กระดาษออกและดึงกระบอกวัดขึ้นสูงสุด ไขไม้ค้ำดันให้กระบอกวัดอยู่กับที่ จากนั้นใส่กระดาษลงในช่องสำหรับใส่กระดาษแล้ว ไขให้แน่น และปล่อยไม้ค้ำ เริ่มจับ เวลาเมื่อกระบอกวัดเลื่อนมาถึงเลข 150 และหยุดเวลาเมื่อถึงเลข 250 บันทึกเวลาที่ได้และนำค่าที่ได้ไปคูณค่าแฟกเตอร์ (ช่วง 150 – 250 ค่าแฟกเตอร์เท่ากับ 1) เพื่อให้ได้เป็นค่ามาตรฐาน หลังจากนั้น ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง ในแต่ละด้านของกระดาษแต่ละชนิด และนำค่าที่ได้มาเฉลี่ย

3.2.2.1.4 ความพรุนของกระดาษ (Porosity)

ตัดกระดาษแต่ละชนิดจำนวน 1 แผ่นขนาด 10 x 30 เซนติเมตร และใช้ K bar เบอร์ 8 ปาดหมึกทดสอบ TK-21 Low Penetration LENETA Paper-Testing Ink for Uncoated Paper- Testing Ink ลงบนกระดาษจับเวลา 1 นาที ใช้เกรียงปาดหมึกออก จากนั้นเช็ดหมึกออก จากกระดาษ ทิ้งไว้ให้แห้ง นำไปวัดค่า CIE Y ด้วยเครื่อง Konica Minolta CR-400 Chroma Meter และคำนวณหาค่า Porosity Index ด้วยสมการที่ 3.1

$$\text{Porosity Index (\%)} = \frac{Y_{\text{Unstained}} - Y_{\text{stained}}}{Y_{\text{stained}}} \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ $Y_{\text{Unstained}}$ คือ ค่า CIE Y โดยวัดจากด้านหลังของกระดาษบริเวณที่ไม่มีหมึกทดสอบ
และ Y_{stained} คือ ค่า CIE Y โดยวัดจากด้านหลังของกระดาษบริเวณที่มีหมึกทดสอบ

3.2.2.2 ออกแบบสูตรสารเคลือบ

ออกแบบสูตรสารเคลือบดังตารางที่ 3.1 ด้วยการทดลองแบบผสม (Mixture Design) แบบซิมเพลกแลตทิส 3 องค์ประกอบ 1 ระดับ โดยกำหนดสูตรทั้งหมด 7 สูตร และมีขอบเขตของน้ำ, สีข้อม และ PVA คือ 11-12.50, 0.05-0.50 และ 1.09-1.50 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 สูตรสารเคลือบสำหรับทดสอบกับกระดาษ

สูตร	อัตราส่วน		
	น้ำ	สีข้อม	PVA
1	1.00	0.00	0.00
2	0.33	0.33	0.33
3	0.67	0.17	0.17
4	0.00	1.00	0.00
5	0.17	0.17	0.67
6	0.00	0.00	1.00
7	0.17	0.67	0.17

3.2.2.3 เตรียมสารเคลือบกระดาษ

ต้ม PVA ในน้ำที่อุณหภูมิสูงกว่า 80 องศาเซลเซียสด้วย hot plate ตามปริมาณในตารางที่ 3.2 ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้ PVA ละลายจนเป็นเนื้อเดียวกัน พักไว้ให้เย็น จากนั้นเติมสารละลายสี ย้อมจากเปลือกกุ้ง ความเข้มข้นร้อยละ 20 น้ำหนัก โดยปริมาตร ที่ได้จากข้อ 3.2.1.2 ตามปริมาณในตารางที่ 3.2 ให้ได้ ปริมาตรสุดท้าย 40 มิลลิลิตร บรรจุใส่ขวดเก็บสารเคมีขนาด 100 มิลลิลิตร

3.2.2.4 วัดความหนืดของสารเคลือบ

เตรียมสารเคลือบสำหรับการทดสอบความหนืด โดยต้ม PVA ในน้ำที่อุณหภูมิสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส เทียบตามอัตราส่วนในตารางที่ 3.1 ให้ได้ปริมาตรสุดท้าย 300 มิลลิลิตร ต้มในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร นำไปวัดความหนืดด้วย Zahn cup เบอร์ที่เหมาะสมโดยจับเวลา หยุดเวลาเมื่อสารเคลือบเริ่มขาดสาย และ เครื่อง วัดความหนืด Brookfield แบบอ่านค่าตัวเลข ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในอ่างน้ำแข็ง โดยวัดซ้ำ 3 ครั้ง และนำค่าเฉลี่ยเวลาและค่าที่อ่านได้ไปคำนวณหาความหนืดจากสูตรในตารางที่ 2.5 และ 2.6 ตามลำดับ เพื่อนำค่าความหนืดไปใช้ในการทำนายสูตรสารเคลือบในหัวข้อ 3.2.2.10 ด้วยโปรแกรมมินิแทบ

3.2.2.5 การเตรียมกระดาษเคลือบด้วยสารเคลือบ

นำกระดาษกรองเบอร์ 1 และ 4 มาเคลือบด้วยสารเคลือบ 7 สูตรที่เตรียมในข้อที่ 3.2.2.3 ด้วย K-bar เบอร์ 0 โดยผู้ทดลองคนเดียวกัน จำนวน 2 แผ่น ต่อชนิดกระดาษต่อสูตร ในการเคลือบแต่ละแผ่นเพื่อให้ ได้ความหนาของชั้นฟิล์มขณะเปียกใกล้เคียงกัน จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้ง

3.2.2.6 การหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายแอมโมเนียที่ใช้ในการทดลอง

หาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายแอมโมเนียโดยนำกระดาษกรองที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบ (สูตรที่ 7) จากข้อที่ 3.2.2.5 มาตัดให้ได้ขนาด 2 x 2 เซนติเมตร ติดบนฟิล์มสำหรับปิดผนึกอาหาร อย่างละ 1 แผ่น จากนั้นใส่สารละลายแอมโมเนียที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (0.5, 1, 5 และ 10 มิลลิโมลาร์) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ที่มีวัสดุดูดซับเป็นกระดาษทิชชูจำนวน 5 แผ่นตัดครึ่ง ลงในถาดพลาสติกแต่ละถาด และปิดผนึกด้วยกาวแห้งโดยปืนกาว ดังรูปที่ 3.5 นำไปแช่ไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิประมาณ 2 - 7 องศาเซลเซียส จับเวลา วัดค่าสีด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทุก 30 นาที จนครบ 3 ชั่วโมง นำไปคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงสี และเลือกแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นที่เหมาะสม โดยเลือกความเข้มข้นที่มีการเปลี่ยนแปลงสีอยู่ในช่วงเวลา 0-180 นาที



รูปที่ 3.5 กระดาษเคลือบสารเคลือบสูตรที่ 7 ที่ติดไว้บนฟิล์ม

3.2.2.7 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของกระดาษเคลือบสีข้อมจากเปลือกกุ้งในบรรจุภัณฑ์อาหาร

นำกระดาษที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบที่เตรียมไว้ ทั้ง 7 สูตร จากข้อที่ 3.2.2.5 มาตัดให้ได้ขนาด 2 x 2 เซนติเมตร มาติดบนฟิล์มปิดผนึกกล่องบรรจุอาหาร โดยหันด้านที่เคลือบสารเคลือบขึ้นด้านบน จากนั้น ใส่แอมโมเนีย ที่ความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 3.2.2.6 โดยแช่ไว้ใน ตู้เย็นตั้งแต่ 0 - 240 นาที และ นำออกมาวัดค่าสีด้วยเครื่อง สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ทุก 30 นาที จนครบ 4 ชั่วโมง และ บันทึกค่าสี CIELAB ด้วยโหมด SPIN และ SPEX

3.2.2.8 การวัดค่าสี L* a* b* ตัวอย่าง

เปิดเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และคาลิเบรตเครื่องทุกครั้งเมื่อเริ่มใช้งาน จากนั้น เชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ ด้วยสายยูเอสบี ใช้โปรแกรม SpectraMagic NX ในการทำงาน เลือก แหล่งกำเนิดแสงและฟังก์ชันความไวแสง ของตามนุษย์เป็น D65 และ 2 องศา ตามลำดับ วัดสีของกระดาษเคลือบสีข้อมจากเปลือกกุ้ง โดยตรงบนตัวอย่างที่ติดในบรรจุภัณฑ์อาหารด้านบนที่ปิดผนึก

3.2.2.9 การคำนวณค่าความต่างสี (ΔE)

นำค่าสี CIELAB ในโหมด SPEX ที่วัดได้จากข้อ 3.2.2.8 มาคำนวณค่าความต่างสีด้วยสมการที่ 3.2

$$\Delta E = \left((L_0 - L_i)^2 + (a_0 - a_i)^2 + (b_0 - b_i)^2 \right)^{1/2} \quad (3.2)$$

เมื่อ i คือ เวลาต่าง ๆ ที่วัดค่าสี

และ L_0, a_0, b_0 คือ ค่าสี CIELAB ที่เวลา 0 นาที

ค่าความต่างสีที่ได้จะเป็นค่าความต่างสีของตัวอย่างที่เวลานั้น เมื่อเทียบกับเวลาเริ่มต้น เพื่อนำไปใช้ในการทำนายสูตรสารเคลือบในข้อ 3.2.2.10 ต่อไป

3.2.2.10 การทำนายและเลือกสูตรสารเคลือบกระดาษที่เหมาะสมด้วยโปรแกรมมินิแทบ

นำค่าความหนืดของสารเคลือบที่ได้ในข้อ 3.2.2.4 และค่าความต่างสีที่คำนวณได้ในข้อ 3.2.2.9 มาใส่ ในโปรแกรมมินิแทบ กำหนดขอบเขตที่ต้องการของสมบัติสารเคลือบกระดาษ และสร้างกราฟแสดงขอบเขตของสัดส่วนองค์ประกอบแต่ละชนิดของสารเคลือบที่ให้สมบัติสารเคลือบกระดาษในช่วงที่กำหนด และเลือกสูตรสารเคลือบที่เหมาะสม (สูตรที่ 8) โดยพิจารณาจากค่าการเปลี่ยนแปลงสีที่เห็นการเปลี่ยนแปลงสีชัดเจน และใช้ปริมาณสารที่เหมาะสม

3.2.2.11 การเตรียมสูตรสารเคลือบกระดาษที่เหมาะสม

เตรียมสารเคลือบสูตรที่เหมาะสม (สูตรที่ 8) เหมือนขั้นตอนในข้อที่ 3.2.2.3 และ 3.2.2.5 ตามอัตราส่วนของสารในสูตรที่เลือกจากโปรแกรมมินิแทบ

3.2.2.12 การเลือกและเตรียมสารเคลือบกระดาษเพื่อเปรียบเทียบความต่างของสารสกัดสีข้อมแอนโทไซยานินที่มาจากแหล่งต่างกัน

พิจารณาค่าความต่างสีที่ได้จากการคำนวณค่าจากข้อที่ 3.2.2.9 และเลือกสูตรที่มีค่าความต่างสีมากที่สุดที่เวลา 0-240 นาที เพื่อทำการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของสารสกัดสีข้อมจากแอนโทไซยานินที่มาจากแหล่งต่างกัน ในการทดลองนี้จะใช้สารสกัดสีข้อมจากแครอทม่วงมาใช้ในการเปรียบเทียบ โดยเตรียมสารเคลือบกระดาษด้วยวิธีในข้อที่ 3.2.2.3 และ 3.2.2.5 ใช้ปริมาณน้ำส้ม PVA คือ 36.97 มิลลิลิตร PVA 3.96 กรัม และสารละลายสีข้อมแอนโทไซยานินจากแครอทม่วง 3.03 มิลลิลิตร จะได้สารเคลือบกระดาษที่มีปริมาณแอนโทไซยานินของแครอทม่วงเท่ากับปริมาณแอนโทไซยานินจากเปลือกกุ้ง

3.2.2.13 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีและ วัดค่าสี L* a* b*

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อที่ 3.2.2.7 และ 3.2.2.8 แต่เปลี่ยนเป็นสารเคลือบกระดาษสูตรที่เหมาะสม ที่เตรียมได้จากข้อ 3.2.2.11 และสารเคลือบกระดาษสูตรที่มีสารสกัดสีเชื่อมแอนโทไซยานินจากแครอทม่วง ที่เตรียมได้จากข้อ 3.2.2.12 นำผลที่ได้มาพิจารณาเปรียบเทียบกัน เพื่อดูความแตกต่างระหว่างแหล่งที่มาของแอนโทไซยานิน

3.2.2.14 การคำนวณค่าความต่างสี (ΔE)

นำค่าสี L* a* b* ที่วัดได้จากข้อ 3.2.2.13 มาคำนวณหาค่าความต่างสีด้วยสมการที่ 3.2 ในข้อที่ 3.2.2.9

3.2.3 การเตรียมและทดสอบการเปลี่ยนสีด้วยกรด-ด่างของหมึกพิมพ์จากสารเคลือบฐานน้ำบนฟิล์มผนึกบรรจุภัณฑ์อาหาร

3.2.3.1 การวัดสมบัติฟิล์มสำหรับปิดผนึกบรรจุภัณฑ์อาหาร

3.2.3.1.1 ค่ามุมสัมผัส (Contact angle)

นำฟิล์มสำหรับปิดผนึกถาดอาหารด้านพอลิโพรพิลีน (PP) มาตัดให้ได้ขนาด 1 x 2 นิ้ว และนำไปติดกับฐานโลหะ แล้วใช้หลอดหยดหยดน้ำลงบนฟิล์ม และทำการปรับตั้งเครื่อง วัดมุมสัมผัสของน้ำ วัดมุมสัมผัสของน้ำบนฟิล์มทั้งด้านซ้ายและด้านขวาของหยด วัดค่าซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำค่าที่ได้มาเฉลี่ย ทำการทดสอบซ้ำ อีกครั้ง แต่เปลี่ยนน้ำเป็น ไดโอะไดมิเทน

3.2.3.1.2 ค่าพลังงานผิว

ผสมฟอร์มาร์ไมด์และเซลโลโซลเข้าด้วยกันจากนั้นใช้ก้านสำลีชุบสารละลายที่ผสมไว้ ทาลงบนฟิล์มด้านที่ต้องการหาค่าพลังงานผิวให้ได้พื้นที่ขนาด 1 x 1 นิ้ว หากสารละลายที่ทาลงไปรวมตัวเป็นหยดภายในเวลา 2 วินาที ให้ทดลองใหม่โดยผสมฟอร์มาร์ไมด์และ เซลโลโซลในอัตราส่วนที่ให้ค่าแรงดึงผิวต่ำลง หากสารละลายที่ทาลงไปไม่รวมตัวเป็นหยด หลังเวลา 2 วินาที ให้ทดลองใหม่โดยผสมสารละลายในอัตราส่วน ที่ให้ค่าแรงดึงผิวสูงขึ้น หากทาแล้วสารละลายที่รวมตัวเป็นหยดหลังเวลา 2 วินาทีเล็กน้อย แสดงว่าค่าพลังงาน ผิวของฟิล์มที่ทดสอบมีค่าเท่ากับค่าแรงดึงผิวตามอัตราส่วนของสารที่ผสม ดังตารางที่ 2.2

3.2.3.2 การวัดความหนืดของสารเคลือบฐานน้ำ

เทสารเคลือบฐานน้ำ W8930 ปริมาตร 300 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร นำไปวัดความหนืดด้วย Zahn cup เบอร์ที่เหมาะสม ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในอ่างน้ำแข็ง วัดความหนืดซ้ำ 3 ครั้ง โดยจับเวลาหยุดเวลาเมื่อสารเคลือบฐานน้ำเริ่มขาดสาย นำค่าเฉลี่ยเวลาไปคำนวณหาความหนืดจากสูตรในตารางที่ 2.5 และทำการทดลองวัดความหนืดซ้ำโดยเปลี่ยนเป็นสารเคลือบฐานน้ำ NN238307

3.2.3.3 การเตรียมหมึกจากสารเคลือบฐานน้ำ W8930

นำสารเคลือบฐานน้ำ W8930 มาผสมกับ สารละลายสารสกัดสีเชื่อมจากเปลือกองุ่น ความเข้มข้นร้อยละ 15 น้ำหนักโดยปริมาตรให้ได้ปริมาตรรวม 3 มิลลิลิตร ด้วยปริมาณดังตารางที่ 3.2 โดยเลือกจาก ปริมาณมากที่สุดที่สามารถผสมสีเชื่อมได้และไม่ตกตะกอน

ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบของหมึกที่มีสารเคลือบ W8930 และสีข้อมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

สูตรหมึก	ปริมาตรสารเคลือบ W8930	ปริมาตรสีข้อม	ความเข้มข้นของสีข้อม (%W/V)
W-1	2.70	0.30	5
W-2	2.40	0.60	5
W-3	2.70	0.30	20
W-4	2.40	0.60	20
W-5	2.10	0.90	20
W-6	1.80	1.20	20
W-7	1.80	1.20	15
W-8	1.60	1.40	15
W-9	1.60	1.50	20
W-10	1.55	1.45	15

3.2.3.4 การเตรียมหมึกจากสารเคลือบฐานน้ำ NN238307

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.2.3.3 แต่เปลี่ยนสารเคลือบฐานน้ำ W8930 เป็น NN238307 และใช้ความเข้มข้นสารละลายสารสกัดสีข้อมจากเปลือกถั่วความเข้มข้นร้อยละ 15 น้ำหนักโดยปริมาตร ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สูตรหมึกที่มีสารเคลือบ NN238307 และสีข้อมที่ปริมาณต่าง ๆ

หมึกสูตร	ปริมาตรสารเคลือบ NN238307	ปริมาตรสีข้อม
NN-1	1.60	1.40
NN-2	1.57	1.43
NN-3	1.50	1.50
NN-4	1.20	1.80
NN-5	1.30	1.70
NN-6	1.25	1.75

3.2.3.5 การพิมพ์สูตรหมึกลงบนฟิล์มด้านพอลิโพรพิลีนด้วยระบบเฟล็กโซกราฟี

ตัดฟิล์มสำหรับปิดผนึกอาหาร ขนาด 2 x 6 นิ้ว ตัดลงบนกระดาษอาร์ตมันขนาด 72 x 5 เซนติเมตร จากนั้นตัดลงบนถาดรองสำหรับพิมพ์ และพิมพ์หมึกสูตรที่เลือกจากข้อ 3.2.3.3 และข้อ 3.2.3.4 ลงบนฟิล์มสำหรับปิดผนึกอาหาร ด้านพอลิโพรพิลีนด้วยเครื่อง IGT F1 Printability Tester กำหนดค่าที่ใช้ในการพิมพ์ดังนี้

Anilox force: 100 N, Printing force: 150 N, Speed: 0.30 m/s

พิมพ์โดยกดปุ่มที่ด้านขวาและซ้ายของเครื่องพร้อมกันค้างไว้ เมื่อเครื่องหมุนไปบางส่วน เครื่องจะหยุด เพื่อเติมหมึกปล่อย ปุ่มด้านขวาเพียงด้านเดียว ใช้หลอดหยดดูดหมึกที่ผสมไว้ และปล่อยตรงบริเวณลูกกลิ้งอนิล็อกซ์ และใบมีด ปาดหมึกให้ทั่ว กดปุ่มด้านขวาของเครื่องค้างไว้จนกว่าจะพิมพ์เสร็จ แล้วปล่อยให้หมึกพิมพ์แห้งตัว

3.2.3.6 การพิมพ์สูตรหมึกลงบนฟิล์มด้านพอลิโพรพิลีนด้วย Kbar เบอร์ 3

ตัดฟิล์มสำหรับปิดผนึกกล่องอาหาร และเคลือบหมึกสูตรที่เลือกจากข้อ 3.2.3.3 และข้อ 3.2.3.4 ลงบนฟิล์มสำหรับปิดผนึกอาหารด้านพอลิโพรพิลีนด้วย K-bar เบอร์ 3 ให้ได้ขนาดช่อง 2 x 2 เซนติเมตร แล้วปล่อยให้หมึกพิมพ์แห้งตัว

หมายเหตุ : ใช้ K-bar เบอร์ 3 เนื่องจากสามารถมองเห็นสีได้ชัดเจน และให้การยึดติดที่ดี

3.2.3.7 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงสี

นำฟิล์มที่พิมพ์ด้วยหมึกจากข้อที่ 3.2.3.6 มาติดกับถาดอาหาร จำนวน 9 ถาด จากนั้นใส่แอมโมเนียที่ความเข้มข้นที่เหมาะสมเหมือนกันกับที่เลือกจากข้อที่ 3.2.2.7 โดยแช่ไว้ใน ตู้เย็นตั้งแต่ 0 - 240 นาที และนำออกมาวัดค่าสีครั้งละ 1 ถาด ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ทุก 30 นาที จนครบ 4 ชั่วโมง และ บันทึกค่าสี CIELAB ด้วยโหมด SPIN และ SPEX

3.2.3.8 การหาค่าความต่างสี

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.2.2.8-3.2.2.9 แต่เปลี่ยนเป็นฟิล์มที่ทดลองในข้อ 3.2.3.7 โดยวัดสีของฟิล์มด้าน PET และรองด้านหลังของฟิล์ม ด้วยกระดาษปอนด์จำนวน 10 แผ่น เพื่อป้องกันอิทธิพลของสีพื้นหลัง

3.2.3.9 การเลือกสูตรหมึกพิมพ์ที่เหมาะสม

เลือกสูตรหมึกพิมพ์ที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากค่าการเปลี่ยนแปลงสีที่เห็นการเปลี่ยนแปลงสีอยู่ในช่วงเวลา 0-240 นาที

3.2.3.10 การเตรียมหมึกเพื่อเปรียบเทียบความต่างของสารสกัดสีข้อมแอนโทไซยานินที่มาจากแหล่งต่างกัน

ในการทดลองการเปรียบเทียบในครั้งนี้ ตัวอย่างสารสกัดสีข้อมจากแครอทม่วงที่นำมาใช้ เป็นของเหลวที่มีความเข้มข้นสูงกว่าสารสกัดสีข้อมจากเปลือกองุ่น ผู้ทดลองจึงทดลองเตรียมหมึกที่มีอัตราส่วนเหมือนเดิม และเตรียมหมึกที่มีความเข้มข้นของสารละลายสีข้อมใกล้เคียงกัน ดังข้อที่ 3.2.3.10.1 และ 3.2.3.10.1 ต่อไป

3.2.3.10.1 การเตรียมหมึกที่มีอัตราส่วนของสูตรหมึกเหมือนเดิม

เตรียมหมึกเหมือนวิธีในข้อที่ 3.2.3.6 แต่เปลี่ยนชนิดสารสกัดสีข้อมจากเปลือกองุ่น เป็นสารสกัดสีข้อมจากแครอทม่วงเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ โดยใช้อัตราส่วนปริมาตรของสีข้อมดังตารางที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ

3.2.3.10.2 ความเข้มข้นของสารละลายสีข้อมใกล้เคียงกัน

เตรียมหมึกเหมือนวิธีในข้อที่ 3.2.3.6 แต่เปลี่ยนชนิดสารสกัดสีข้อมจากเปลือกองุ่น เป็นสารสกัดสีข้อมจากแครอทม่วง และปรับอัตราส่วนของหมึกพิมพ์ โดยเจือจางสารละลายสารสกัดสีข้อมจากแครอทม่วงให้มีความเข้มข้นใกล้เคียงกับสารละลายสารสกัดสีข้อมจากเปลือกองุ่นที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 น้ำหนักโดยปริมาตร ใช้ไมโครปิเปตดูดสารเคลือบฐานน้ำ NN238307 และ W8930 ปริมาตร 1.3 และ 1.6 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายสารสกัดสีข้อมจากแครอทม่วงปริมาตร 0.425 และ 0.350 มิลลิลิตร ตามลำดับ และผสมน้ำกรอง ปริมาตร 1.275 และ 1.050 มิลลิลิตร ตามลำดับ

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การศึกษาการเตรียมกระดาษที่เคลือบด้วยสารที่เปลี่ยนสีด้วยต่าง

4.1.1 ผลการวัดค่า pH

ในการทดลองนี้ค่า pH ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของแถบสี โดยมีการวัดค่า pH ด้วย pH meter และกระดาษ Universal indicator paper ได้ผลดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ตารางการวัดค่า pH ด้วย pH meter

รายการ	ค่า pH	สีที่สังเกตเห็น	หมายเหตุ
น้ำกรอง	7.6	ไม่มีสี	-
สีข้อมแอนโทไซยานิน + น้ำกรอง	7	ม่วงแดง	สีข้อม 0.0536 g + น้ำกรอง 100 ml. = สารละลายสีข้อม
W8930 + สารละลายสีข้อม	8.6	น้ำเงิน	อัตราส่วน 30:30 (ml.)
NN238307 + สารละลายสีข้อม	8.6-8.4	น้ำเงินม่วง	อัตราส่วน 40:40 (ml.)

ตารางที่ 4.2 ตารางการวัดค่า pH ด้วย Universal indicator paper

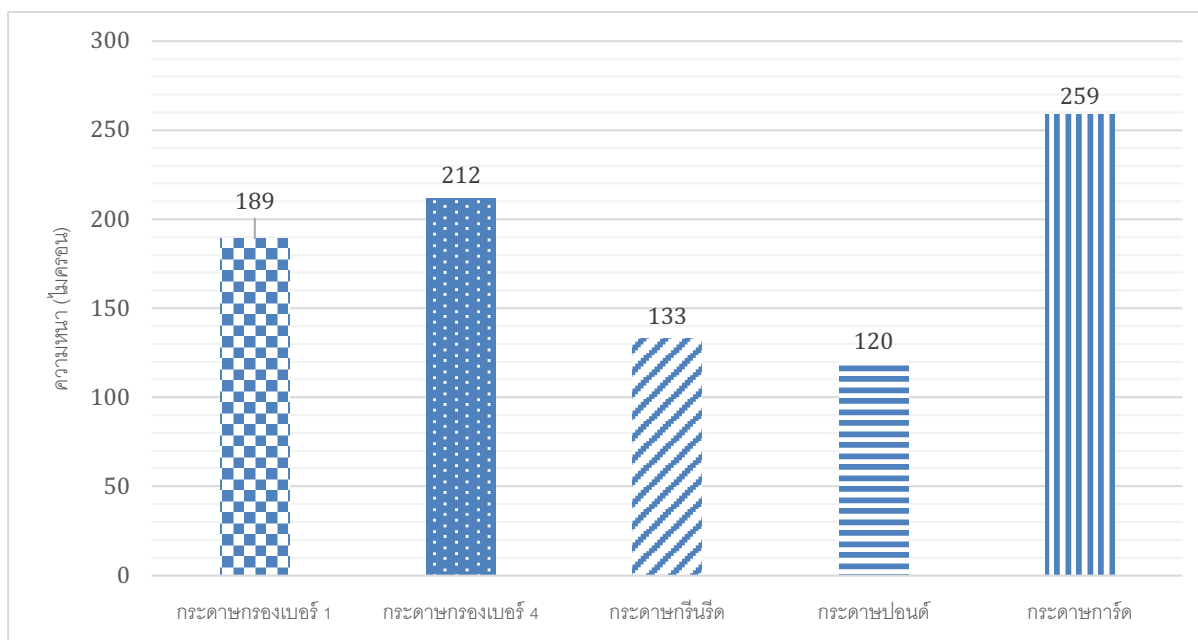
รายการ	ค่า pH	สีที่สังเกตเห็น
W8930	6-7	ขาว
NN238307	7	ขาว
สารละลายสีข้อม 5% w/w	3	ม่วงแดง
PVA (0.25g:200ml)	7-8	ไม่มีสี

สารละลายสีข้อมจากการสังเคราะห์ด้วยตา มีสีม่วงแดงและค่า pH อยู่ในช่วงกรด แต่เมื่อผสมเข้ากับสารเคลือบฐานน้ำทั้งชนิด W8930 และ NN23807 ซึ่งมีค่า pH เป็นกลางกลับให้ค่า pH ที่เป็นด่างและสีของสารที่ผสมกลับมีสีน้ำเงิน และน้ำเงินม่วง ซึ่งสีข้อมแอนโทไซยานินจะมีสีน้ำเงินเมื่อค่า pH อยู่ในช่วงที่เป็นด่าง สารละลายสีข้อมแอนโทไซยานินเมื่อผสมเข้ากับสารเคลือบฐานน้ำทั้ง 2 ชนิดแล้วอาจจะเกิดปฏิกิริยากันระหว่างสารละลายสีข้อมแอนโทไซยานินและสารเคลือบฐานน้ำจึงทำให้ค่า pH เปลี่ยนไป ส่งผลให้สีที่สังเกตเห็นเปลี่ยนไปด้วย

4.1.2 ผลการทดสอบสมบัติกระดาษ

4.1.2.1 ผลการวัดความหนาของกระดาษ

ความหนาของกระดาษแต่ละชนิด ได้แก่ กระดาษกรองเบอร์ 1 กระดาษกรองเบอร์ 4 กระดาษกรีนรีด กระดาษปอนด์ กระดาษการ์ด แสดงในรูปที่ 4.1

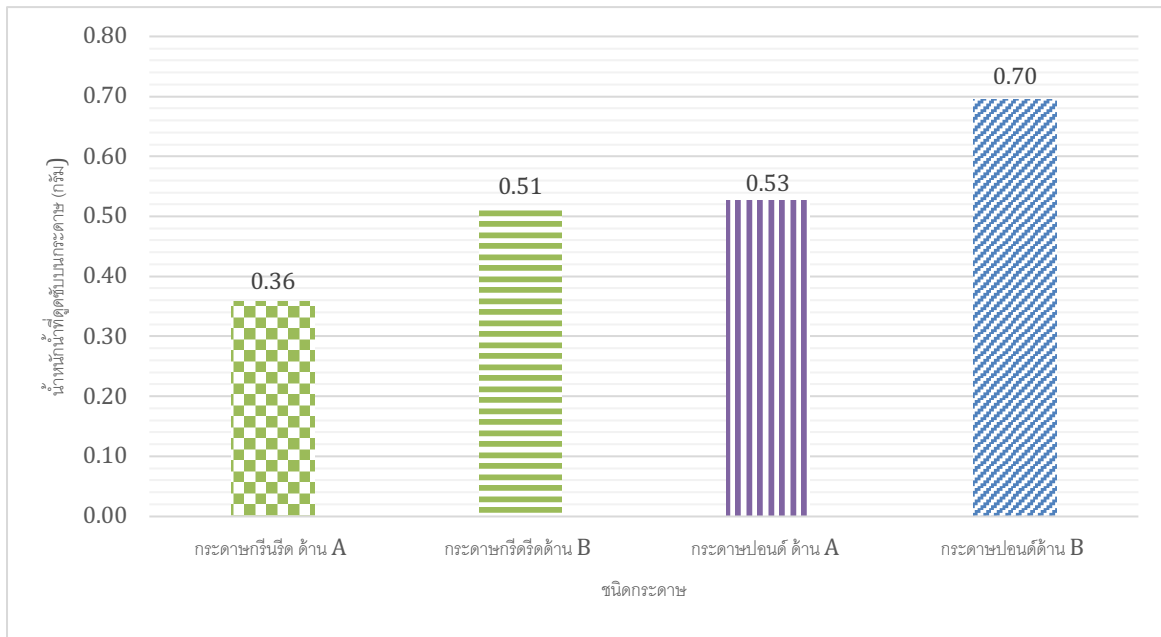


รูปที่ 4.1 ความหนาของกระดาษแต่ละชนิด

จากรูปที่ 4.1 พบว่ากระดาษการ์ดมีความหนามากที่สุด รองลงมาคือกระดาษกรองเบอร์ 4 กระดาษเบอร์ 1 กระดาษกรีนรีด และกระดาษปอนด์ ตามลำดับ ซึ่งกระดาษที่มีความหนามากจะมีความทึบแสงมากเมื่อนำไปพิมพ์หรือเคลือบด้วยสารเคลือบที่มีสีแล้วจะมองเห็นสีชัดเจน ไม่มีผลกระทบจากอิทธิพลของสีจากพื้นหลัง ดังนั้น กระดาษที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการทดลองจากมากไปน้อยคือ กระดาษการ์ด, กระดาษกรองเบอร์ 4, กระดาษกรองเบอร์ 1, กระดาษกรีนรีด และกระดาษปอนด์

4.1.2.2 ผลการวัดการดูดซับน้ำ (Cobb test)

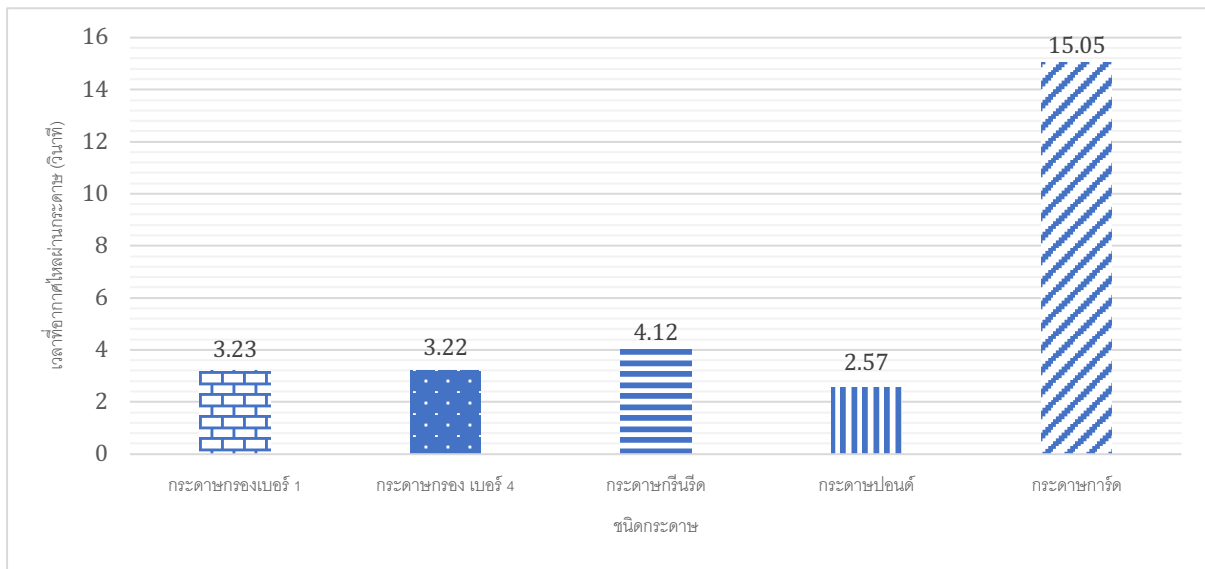
จากรูปที่ 4.2 เห็นได้ว่ากระดาษปอนด์มีค่าการดูดซับน้ำสูงกว่ากระดาษกรีนรีด กระดาษชนิดที่เหลือไม่สามารถวัดสมบัติการดูดซับน้ำได้ เนื่องจากกระดาษการ์ดมีความหนามากเกินไป กระดาษกรองเบอร์ 1 และกระดาษกรองเบอร์ 4 มีสมบัติให้ของเหลวไหลผ่านได้ดี ดังนั้น กระดาษปอนด์และกระดาษกรีนรีดจึงเป็นกระดาษที่สามารถดูดซับสารเคลือบได้ แต่ความสามารถยังขึ้นกับด้านของกระดาษอีกด้วย



รูปที่ 4.2 ค่าการดูดซับน้ำของกระดาศแต่ละชนิด

4.1.2.3 ผลการวัดการต้านทานอากาศของกระดาศ (Air resistance)

ผลการทดสอบการต้านทานอากาศของกระดาศแต่ละชนิด แสดงในรูปที่ 4.3

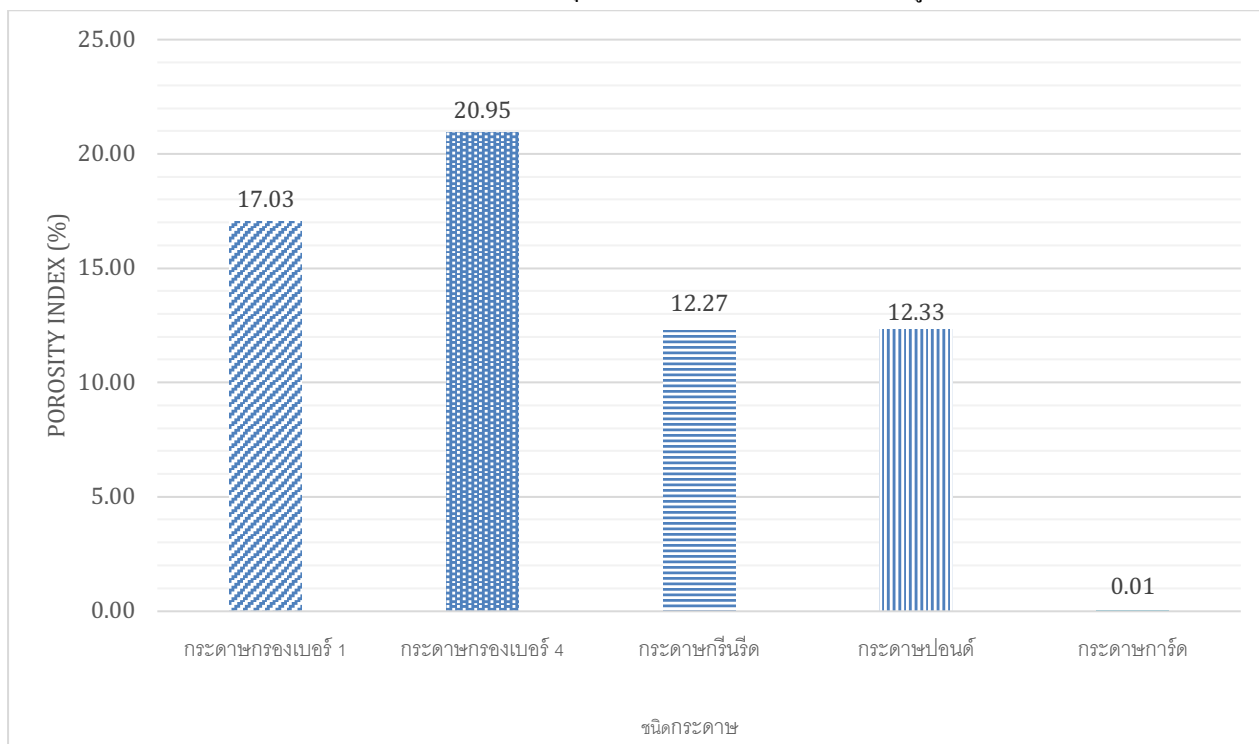


รูปที่ 4.3 เวลาที่อากาศไหลผ่านกระดาศชนิดต่าง ๆ (วินาที)

จากรูปที่ 4.3 เห็นได้ว่า กระดาศปอนด์ใช้เวลาในการให้อากาศไหลผ่านน้อยที่สุด รองลงมาคือ กระดาศกรองเบอร์ 4 กระดาศกรองเบอร์ 1 กระดาศกรีนริด และกระดาศการ์ด ตามลำดับ ซึ่งการใช้เวลาน้อยในการให้อากาศไหลผ่านแสดงให้เห็นว่า อากาศสามารถไหลผ่านตัวกระดาศได้มากกว่า ดังนั้น กระดาศที่เหมาะสมสำหรับการใช้ในการทดลอง คือ กระดาศปอนด์ กระดาศกรองเบอร์ 1 และเบอร์ 4 เนื่องจากมีความสามารถให้อากาศไหลผ่านได้ หากนำไปเคลือบด้วยสารเคลือบ และนำไปทดสอบแก๊สที่เป็นด่างจะสามารถทะลุผ่านกระดาศไปทำปฏิกิริยากับสีย้อมแอนโทไซยานินได้

4.1.2.4 ผลการวัดความพรุนของกระดาษ (Porosity)

ผลการทดสอบหาค่าความพรุนของกระดาษแต่ละชนิดแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ค่า Porosity index (%)

จากรูปที่ 4.4 เห็นได้ว่า กระดาษกรองเบอร์ 4 มีค่า Porosity index (%) ที่สูงที่สุด รองลงมาคือ กระดาษกรองเบอร์ 1 กระดาษปอนด์ กระดาษกรีนรีด และกระดาษการ์ด ตามลำดับ แต่เนื่องจาก กระดาษการ์ดมีค่า Porosity index (%) ที่น้อยมากคือ ร้อยละ 0.01 ซึ่งหมายความว่ากระดาษการ์ดมีรูพรุนน้อยมาก หรือไม่มีรูพรุนเลย

4.1.2.5 ผลการวัดสมบัติเชิงแสงของกระดาษ

ผลการทดสอบวัดสีของกระดาษแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าสี CIE Lab ของกระดาษแต่ละชนิด

ชนิดกระดาษ	L*	a*	b*
กระดาษกรองเบอร์ 1	97.75	-0.06	2.56
กระดาษกรองเบอร์ 4	97.43	0.1	2.91
กระดาษกรีนรีด	94.45	-1.54	11.09
กระดาษปอนด์	94.59	2.17	-8.68
กระดาษการ์ด	91.35	2.61	-9.7

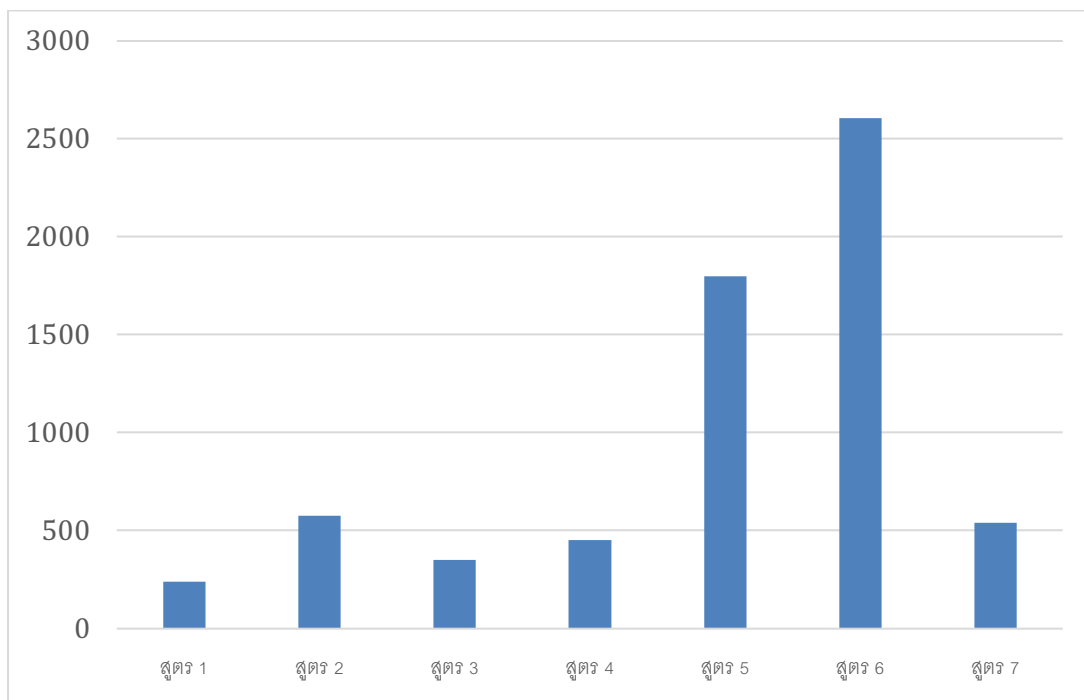
จากตารางที่ 4.3 ค่าสีของกระดาษกรีนรีดมีค่า b* สูงที่สุดคือ 11.09 หมายถึงกระดาษกรีนรีดมีสีเหลือง มาจากสีของสีข้อมที่เติมลงไปเพื่อให้เกิดความสบายตาในการอ่าน แต่หากนำไปเคลือบด้วยสารเคลือบอาจทำให้สังเกตสีของสารเคลือบยาก และกระดาษการ์ด กระดาษปอนด์มีค่า b* เป็นค่าลบ หมายถึงกระดาษทั้ง 2 นี้มีสีน้ำเงินซึ่งเป็นสีน้ำเงินที่มาจาก การมีสารเพิ่มความขาวสว่างภายในกระดาษซึ่งเป็นสีข้อมเรืองแสง ไม่ควรนำมาใช้กับอาหาร สำหรับกระดาษกรองทั้ง 2

เบอร์ มีค่า a^* และ b^* ที่ใกล้เคียงมากที่สุด หมายถึงกระดาษกรองทั้ง 2 ชนิดมีสีอ่อนที่สุดเมื่อเทียบกับกระดาษชนิดอื่น กระดาษกรองทั้ง 2 ชนิดจึงมีสมบัติทางแสงที่เหมาะสมสำหรับการนำไปทดลอง

ในการทดลองนี้วัสดุรองรับที่ใช้ควรมีสมบัติในการให้อากาศไหลผ่านได้ดี เพื่อที่จะให้ค้างสามารถระเหยผ่านขึ้นไปทำปฏิกิริยากับแถบสีที่เคลือบหรือพิมพ์สารเคลือบไว้ได้ มีความทึบทำให้มองเห็นสีชัดเจน จากผลการทดลองในข้อ 4.1.2.1 – 4.1.2.5 กระดาษที่มีสมบัติเหมาะสมนำมาใช้ในการทดลอง คือ กระดาษกรองเบอร์ 1 และกระดาษกรองเบอร์ 4 เนื่องจากมีความหนาและทึบแสงที่ยังสามารถปกปิดอิทธิพลจากสีพื้นหลังได้ รวมทั้งสามารถให้อากาศไหลผ่านได้ดีเพราะมีความพรุนในกระดาษสูง ไม่มีสีข้อม สำหรับสมบัติการดูดซับน้ำของกระดาษกรองที่สามารถให้ของเหลวไหลผ่านได้ หากของเหลวมีความหนืดประมาณหนึ่งอาจทำให้ของเหลวนั้นไม่ไหลผ่านกระดาษกรองได้

4.1.3 ผลการวัดความหนืด

ผลการวัดความหนืดแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ความหนืดของสารเคลือบสูตรต่าง ๆ

ในการทดลองนี้ความหนืดเป็นปัจจัยหลักปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง เนื่องจากความหนืดส่งผลต่อความสามารถในการพิมพ์ และเพื่อให้ได้สารเคลือบที่มีช่วงความหนืดที่เหมาะสมสำหรับการพิมพ์จึงมีการวัดค่าความหนืด จากรูปที่ 4.5 พบว่าสูตรการออกแบบของผสมของสารเคลือบสูตร 1 และ 3 ใช้ Zahn cups เบอร์ 3 มีค่าความหนืด 239.81 และ 351.47 เซนติสโตกส์ ตามลำดับ และสูตรที่ 2, 4 และ 7 ใช้ Zahn cups เบอร์ 4 มีค่าความหนืด 577.15, 450.81, 541.24 และ 713.01 เซนติสโตกส์ ตามลำดับ ส่วนสูตรที่ 5 และ 6 เนื่องจากความหนืดไม่อยู่ในช่วงที่วัดได้ด้วย Zahn cups จึงเปลี่ยน มาใช้เครื่องวัดความหนืด Brookfield แบบอ่านค่าตัวเลข มีค่าความหนืด 1,800 และ 2,606.67 เซนติสโตกส์ ตามลำดับ

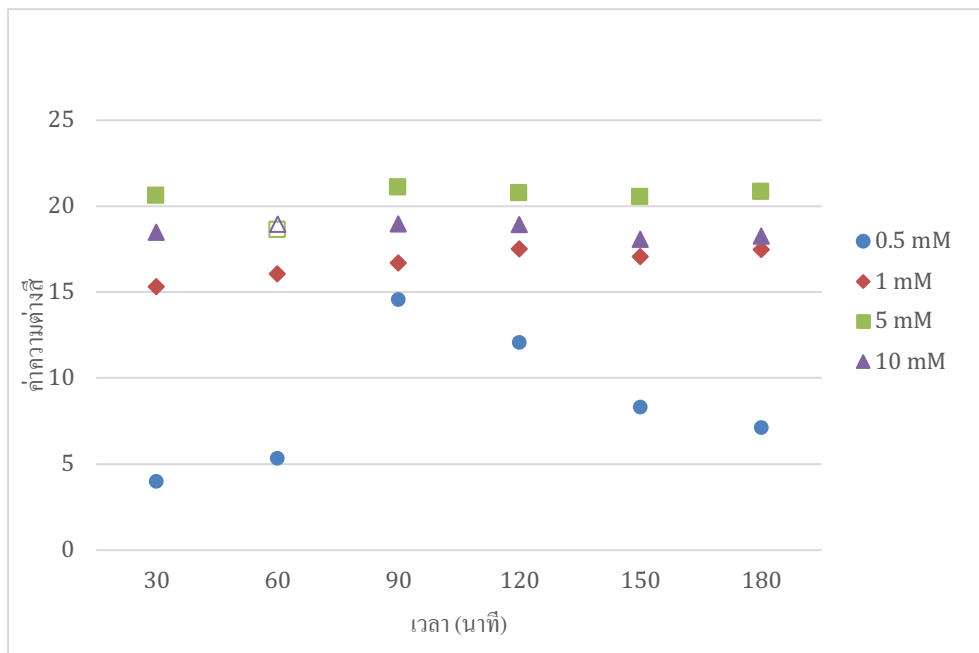
เมื่อพิจารณาค่าความหนืดของสารเคลือบทุกสูตรพบว่า สารเคลือบสูตรที่ 6 มีความหนืดสูงที่สุด ซึ่งสัมพันธ์กับสัดส่วนของ PVA ที่มีมากที่สุดและมีสัดส่วนของน้ำน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรอื่น สารเคลือบสูตรที่ 1 มีความหนืดน้อยที่สุดซึ่งสัมพันธ์กับสัดส่วนของ PVA ที่มีสัดส่วนน้อยที่สุดและมีสัดส่วนของน้ำมากที่สุด เมื่อพิจารณาสูตรที่ 5 และ 7 ซึ่งเป็นสูตรที่มีสัดส่วนของน้ำเท่ากัน แต่มีสัดส่วนของ PVA ไม่เท่ากัน พบว่าสูตร 5 ที่มีสัดส่วนของ PVA มากกว่ามีความหนืดมากกว่าสูตรที่ 7 ที่มีสัดส่วนของ PVA น้อยกว่า และเมื่อพิจารณาสูตรที่มีสัดส่วนของ PVA เท่ากัน แต่มีสัดส่วนของน้ำไม่

เท่ากัน คือสูตรที่ 1 และ 4 พบว่า สูตรที่ 1 มีความหนืดต่ำกว่าเนื่องจากเป็นสูตรที่มีสัดส่วนของน้ำมากกว่า อย่างไรก็ตาม ความหนืดของสารเคลือบทุกสูตร สามารถใช้งานได้ ไม่มีการซึมทะลุของสารเคลือบเมื่อเคลือบบนกระดาษกรองเบอร์ 1 และ เบอร์ 4

จากที่กล่าวมาข้างต้น สรุปได้ว่า สัดส่วนของ PVA กับความหนืดของสารเคลือบ มีความสัมพันธ์กันแบบแปรผันตรง และสัดส่วนของน้ำกับความหนืดของสารเคลือบมีความสัมพันธ์กันแบบแปรผกผัน

4.1.4 ผลการทดสอบหาความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนีย

ผลการหาความเข้มข้นสารละลายแอมโมเนียที่เหมาะสมในการเปลี่ยนสีของกระดาษเคลือบสารเคลือบสูตรที่ 7 แสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีเมื่อใช้สารละลายแอมโมเนียที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

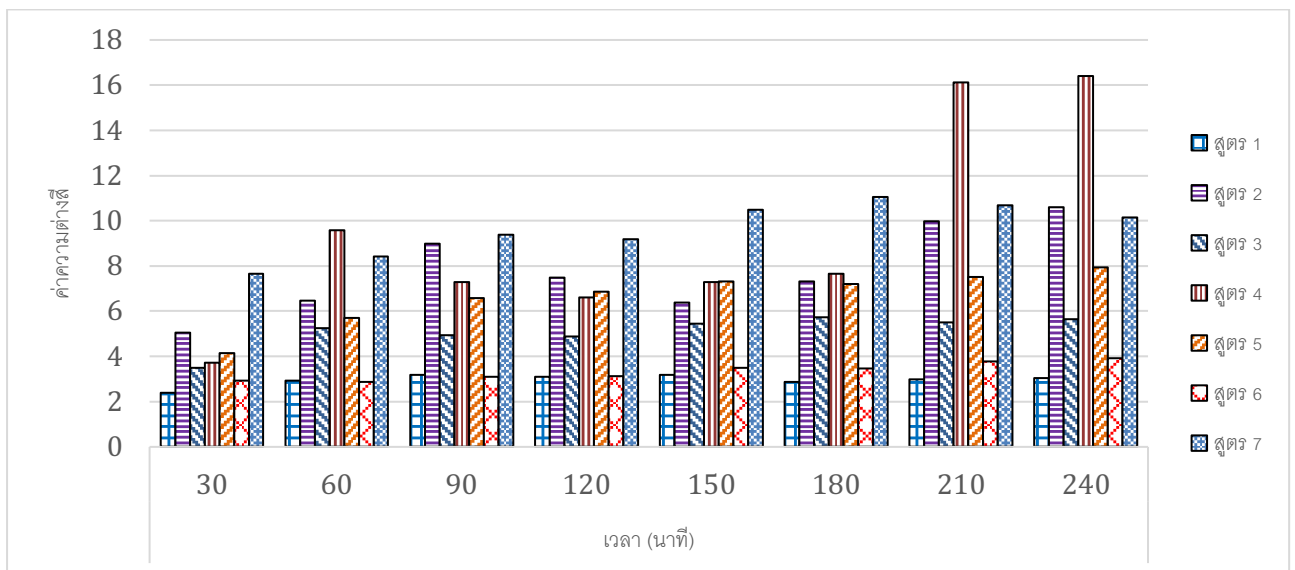
จากรูปที่ 4.6 เมื่อใช้แอมโมเนียที่ความเข้มข้น 1, 5 และ 10 มิลลิโมล ให้ผลที่ไปในทางเดียวกันคือ มีค่าความต่างสีมากกว่า 15 ตั้งแต่เวลา 30 นาที แต่เมื่อเวลาผ่านไป ค่าการเปลี่ยนแปลงสีมีแนวโน้มคงที่ไม่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณแก๊สแอมโมเนียที่ระเหยออกมาจากสารละลายแอมโมเนียนั้นมีความเข้มข้นสูงพอที่เปลี่ยนความเป็นกรด-ด่างของสารเคลือบและทำให้แอนโทไซยานินทั้งหมดเปลี่ยนสีภายใน 30 นาทีแรก ดังนั้น เมื่อเวลาผ่านไปแอนโทไซยานินจึงไม่เปลี่ยนสีอีกต่างจากการใช้สารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 0.5 มิลลิโมล ที่มีค่าความต่างสีเพิ่มขึ้นตั้งแต่เวลา 30 จนถึง 90 นาที และมีแนวโน้มลดลงในช่วงเวลา 90 ถึง 180 นาที แสดงให้เห็นว่า แก๊สแอมโมเนียที่ระเหยออกมาจากสารละลายแอมโมเนียนั้นมีปริมาณเหมาะสมที่ทำให้แอนโทไซยานินในแต่ละช่วงเวลามีสีที่ต่างกัน และค่าความต่างสี คือค่าที่บอกถึงสีที่ต่างออกไปจากสีตอนเริ่มต้น ตามทฤษฎีหากค่าความต่างสีมีค่ามากกว่า 3 ตามมนุษย์สามารถมองเห็นความแตกต่างได้ชัดเจน แต่ค่าความต่างสีไม่ได้บอกว่าสีที่เปลี่ยนไป เปลี่ยนเป็นสีใด ค่าความต่างสีที่ลดลงในช่วงเวลา 90 ถึง 180 นาทีนั้นสามารถเกิดจากสีต้นที่เปลี่ยนไป และความสว่างของสีที่เปลี่ยนไป ทำให้ค่าความต่างสีมีค่าลดลง อย่างไรก็ตาม ค่าความต่างสีเมื่อใช้สารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 0.5 มิลลิโมล มีค่าสูงกว่า 3 ตลอดช่วงเวลาทั้งหมด กล่าวคือ การใช้สารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 0.5 มิลลิโมล ทำให้แอนโทไซยานินในสารเคลือบมีการเปลี่ยนแปลงของสีตลอดทุกช่วงเวลา และสามารถมองเห็นความแตกต่างได้

4.1.5 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีกระดาษเคลือบสารเคลือบเพื่อทำนายสูตรสารเคลือบกระดาษที่เหมาะสม

4.1.5.1 ค่าความต่างสีของสารเคลือบกระดาษบนกระดาษกรองเบอร์ 1 ทั้ง 7 สูตร

เมื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงของสีของสารเคลือบกระดาษทั้ง 7 สูตร บนกระดาษกรองเบอร์ 1 และใช้สารละลายแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นเหมาะสมที่ได้จากข้อ 4.1.4 ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.7 พบว่า ที่เวลา 210 และ 240 นาที สารเคลือบสูตรที่ 4 มีค่าความต่างสีมากที่สุด คือ 16.40 (ที่เวลา 240 นาที) เพราะเป็นสูตรที่มีอัตราส่วนของสีช้อมแอนโทไซยานินสูงที่สุดทำให้สีของสารเคลือบที่ได้มีความเข้มของสีมากที่สุด เมื่อทำปฏิกิริยากับแก๊สแอมโมเนียแล้วเกิดการเปลี่ยนสีจึงเห็นการเปลี่ยนแปลงของสีชัดที่สุด สูตรที่ 2 และ 7 มีค่าความต่างสีรองลงมา และทั้ง 2 สูตรนี้มีค่าความต่างสีที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีอัตราส่วนของสีช้อมแอนโทไซยานินในปริมาณใกล้เคียงกัน การเปลี่ยนแปลงสีจึงใกล้เคียงกันด้วย สูตรที่ 5 และ 3 มีค่าความต่างสีน้อยลงตามลำดับ และเมื่อพิจารณาสูตรที่ 1 และ 6 ซึ่งเป็นสูตรที่มีอัตราส่วนสีช้อมแอนโทไซยานินน้อยที่สุด ให้ค่าความต่างสีน้อยที่สุดและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนคงที่ เพราะปริมาณสีช้อมแอนโทไซยานินที่อยู่ในสารเคลือบนั้นทำปฏิกิริยากับแก๊สแอมโมเนียจนเปลี่ยนสีทั้งหมด อีกทั้งเมื่อปริมาณสีช้อมแอนโทไซยานินน้อยเมื่อเคลือบลงบนกระดาษแล้วสีที่สังเกตเห็นมีสีอ่อน เมื่อมีการเปลี่ยนสีจึงทำให้สีที่เปลี่ยนอ่อนด้วยเช่นกัน ทำให้ค่าความต่างสีมีค่าต่ำและไม่เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป

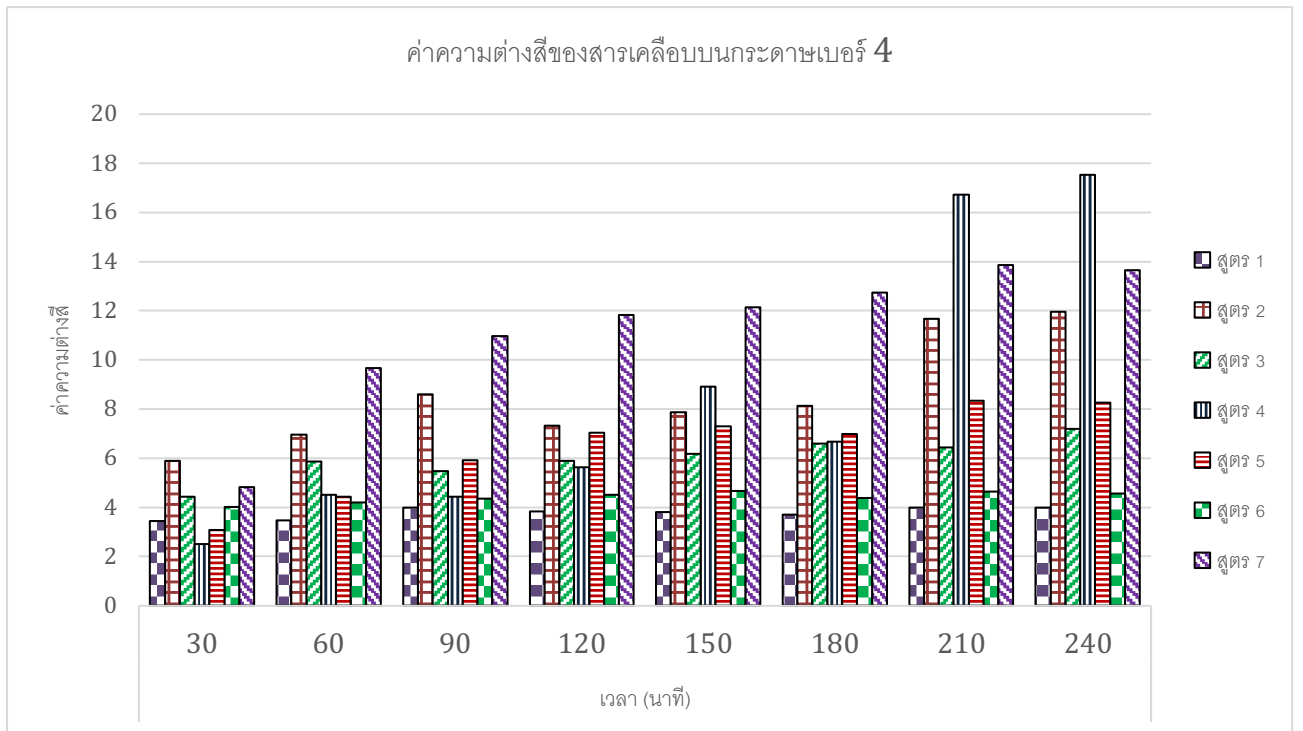
จากที่กล่าวมาข้างต้นสรุปได้ว่า ปริมาณสีช้อมแอนโทไซยานินในสารเคลือบและเวลา มีความสัมพันธ์กับค่าความต่างสีแบบแปรผันตรง



รูปที่ 4.7 ค่าความต่างสีของสารเคลือบบนกระดาษกรองเบอร์ 1

4.1.5.2 การเปลี่ยนแปลงสีของสารเคลือบผิวบนกระดาษกรองเบอร์ 4 ทั้ง 7 สูตร

เมื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงของสีของสารเคลือบกระดาษทั้ง 7 สูตรบนกระดาษกรองเบอร์ 4 ใช้สารละลายแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นเหมาะสมที่ได้จากข้อ 4.1.4 ได้ผลดังรูปที่ 4.8 พบว่า ผลที่ได้มีความคล้ายกับผลการทดลองในข้อ 4.1.5.1 คือที่เวลา 210 และ 240 นาที สารเคลือบสูตรที่ 4 มีค่าความต่างสีมากที่สุดคือ 17.54 (ที่เวลา 240 นาที) เพราะเป็นสูตรที่มีอัตราส่วนของสีช้อมแอนโทไซยานินสูงที่สุด ทำให้สังเกตเห็นสีได้เข้มที่สุด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสีจึงเห็นการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด สูตรที่ 7 และ 2 มีค่าความต่างสีรองลงมา และมีค่าใกล้เคียงกันเพราะมีปริมาณสีช้อมแอนโทไซยานินน้อยกว่าและมีปริมาณใกล้เคียงกัน ค่าความต่างสีจึงน้อยกว่าสูตรที่ 4 สำหรับสูตรที่ 5 และ 3 มีค่าความต่างสีลดลงตามลำดับจากอัตราส่วนของสีช้อมแอนโทไซยานินที่น้อยลง และเมื่อพิจารณาสูตรที่ 1 และ 6 ซึ่งเป็นสูตรที่มีอัตราส่วนสีช้อมแอนโทไซยานินน้อยที่สุด ให้ค่าความต่างสีน้อยที่สุดและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนคงที่

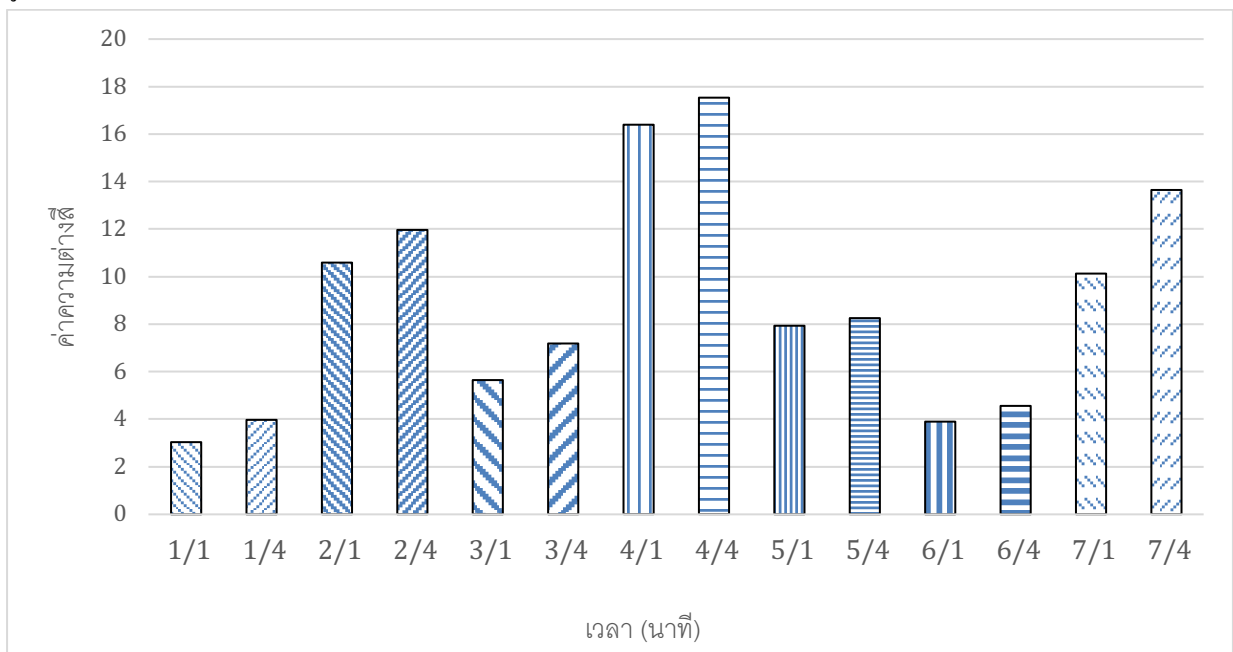


รูปที่ 4.8 ค่าความต่างสีของสารเคลือบบนกระดาษกรองเบอร์ 4

4.1.5.3 การเปลี่ยนแปลงสีของสารเคลือบบนกระดาษกรองเบอร์ 1 และ 4 ที่เวลา 240 นาที

ค่าความต่างสีของสารเคลือบทุกสูตรบนกระดาษกรองเบอร์ 1 และ 4 ที่เวลา 240 นาทีแสดงใน

รูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ค่าความต่างสีของสารเคลือบกระดาษทุกสูตรที่เวลา 240 นาที บนกระดาษกรองเบอร์ 1 และ 4

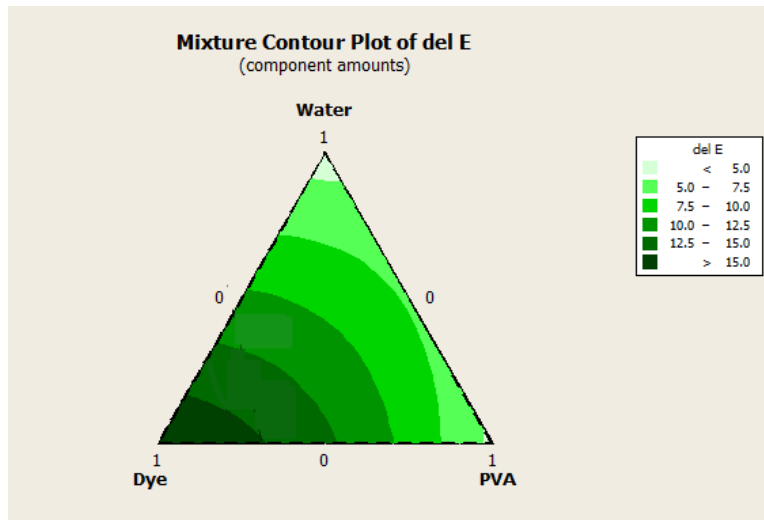
หมายเหตุ : สูตรสารเคลือบ/เบอร์กระดาษกรอง เช่น 1/1 คือสารเคลือบสูตรที่ 1 บนกระดาษกรองเบอร์ 1

เมื่อพิจารณาค่าความต่างสีของสารเคลือบทุกสูตรเมื่อเคลือบบนกระดาษกรองเบอร์ 1 และ 4 ที่เวลา 240 นาที จากรูปที่ 4.9 พบว่า สารเคลือบที่เคลือบบนกระดาษกรองเบอร์ 4 ให้ค่าความต่างสีสูงกว่ากระดาษกรองเบอร์ 1 ทุกสูตร

4.1.6 ผลการทำนายสูตรสารเคลือบที่เหมาะสมจากการออกแบบของผสม

4.1.6.1 สูตรที่เป็นไปได้ทั้งหมด

ผลการทำนายสูตรที่เหมาะสมที่เป็นไปได้ทั้งหมดจากโปรแกรมมินิแทบแสดงในรูปที่ 4.10

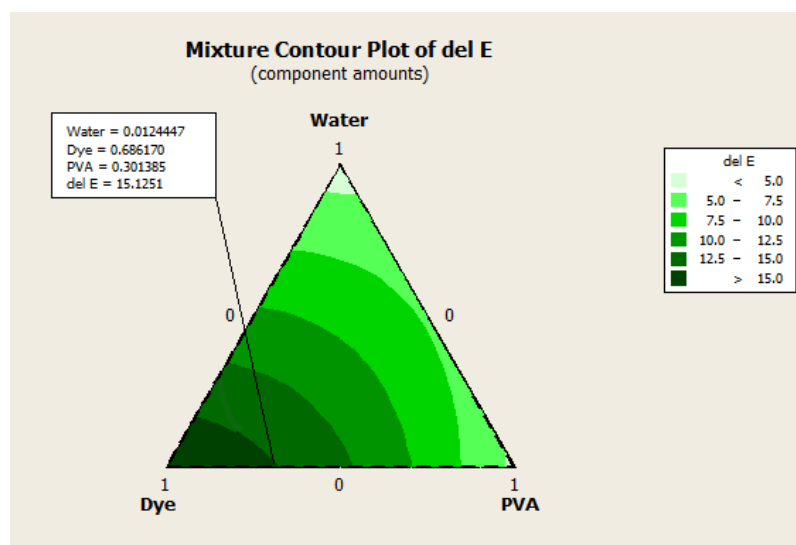


รูปที่ 4.10 ผลการทำนายสูตรสารเคลือบที่เหมาะสมที่เป็นไปได้ทั้งหมดจากโปรแกรมมินิแทบ

จากผลการทดลองในข้อ 4.1.3 และ 4.1.5.3 ทุกสูตรสามารถเคลือบลงบนกระดาษกรองเบอร์ 1 และ 4 ได้ จึงเลือกค่าความต่างสีของสารเคลือบบนกระดาษเบอร์ 4 ที่เวลา 240 นาทีเพียงอย่างเดียวสำหรับนำไปทำนายสูตรที่เหมาะสมได้ แผนภูมิแสดงสูตรที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่ค่าความต่างสีต่าง ๆ (รูปที่ 4.10)

4.1.6.2 การเลือกสูตรที่เหมาะสม

เนื่องจากการทดลองนี้ต้องการสารเคลือบที่ให้การเปลี่ยนแปลงสีมองเห็นชัดที่สุดจึงเลือกจุดที่อยู่ในบริเวณที่มีค่าความต่างสีมากกว่า 15 และเพื่อประหยัดปริมาณสีข้อมภายในสารเคลือบให้ได้มากที่สุด จึงต้องคำนึงถึงปริมาณสีข้อมที่น้อยที่สุดที่ยังให้ค่าความต่างสีอยู่ในบริเวณที่ต้องการ จึงเลือกจุดที่แสดงในรูปที่ 4.11 เพราะจากการวิเคราะห์ของโปรแกรมมินิแทบ สูตรนี้จะให้ค่าความต่างสีมากกว่า 15 และใช้ปริมาณสีข้อมน้อยที่สุดในบริเวณนั้น



รูปที่ 4.11 สูตรสารเคลือบที่เหมาะสม

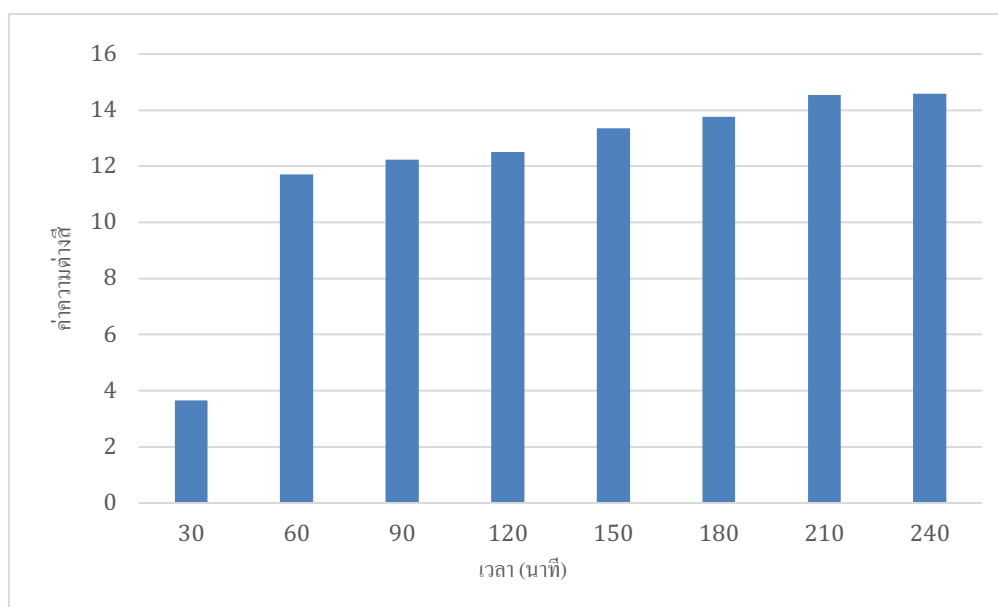
จุดที่เลือกนี้มีอัตราส่วนของปริมาณสีข้อม, สารยึด และน้ำ คือ 0.686, 0.301 และ 0.0124 และจะให้ค่าความต่างสี 15.13 เมื่อเคลือบลงบนกระดาษกรองเบอร์ 4 จึงเตรียมสารเคลือบด้วยสูตรที่เลือกนี้ และทดสอบหาความหนืดและการเปลี่ยนแปลงสีต่อไป เพื่อเปรียบเทียบการทดลองกับค่าที่ได้จากโปรแกรมทำนาย

4.1.6.3 ความหนืดของสูตรที่เหมาะสม

เมื่อวัดความหนืดด้วย Zahn cups เบอร์ 4 สารเคลือบสูตรที่ 8 มีความหนืด 713.01 เซนติสโตกส์

4.1.6.4 การเปลี่ยนแปลงสีของสูตรที่ 8

เมื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของสารเคลือบสูตรที่ 8 ซึ่งเป็นสูตรที่ได้จากโปรแกรมมินิแทบ มีผลการเปลี่ยนแปลงสีเป็นไปตามรูปที่ 4.12 ค่าความต่างสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ค่าความต่างสี ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทบสำหรับสารเคลือบสูตรนี้ บนกระดาษกรองเบอร์ 4 ที่เวลา 240 นาที คือ 15.13 เมื่อพิจารณาค่าความต่างสีจากการทดลองที่เวลา 240 นาที มีค่าความต่างสีของสารเคลือบสูตรที่ 8 บนกระดาษกรองเบอร์ 4 คือ 14.58 ซึ่งมีค่าความต่างสีใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากโปรแกรม ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า แผนภูมิที่ใช้ในการทำนายสูตรที่เหมาะสมที่เป็นไปได้ทั้งหมดจากการออกแบบของผสมสามารถใช้งานได้



รูปที่ 4.12 ค่าความต่างสีของสารเคลือบสูตรที่ 8 บนกระดาษกรองเบอร์ 4

4.1.7 ผลของชนิดแอนโทไซยานินต่อการเปลี่ยนสีของสารเคลือบ

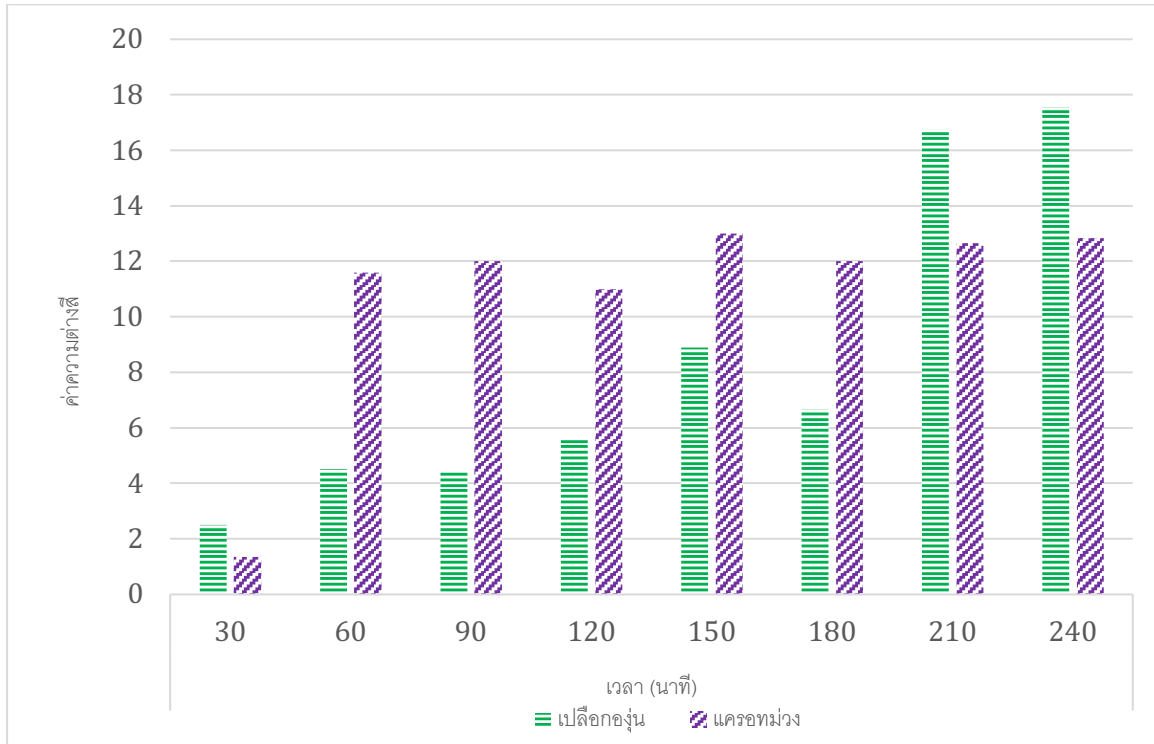
4.1.7.1 การเลือกสูตรสารเคลือบเพื่อเปรียบเทียบ

จากผลการทดลองในข้อ 4.1.5.3 สารเคลือบสูตรที่ 4 บนกระดาษกรองเบอร์ 4 ให้ค่าความต่างสีสูงสุด หมายถึงมีการเปลี่ยนแปลงสีสูงสุดจึงเหมาะสมที่จะใช้สารเคลือบสูตรที่ 4 บนกระดาษกรองเบอร์ 4 ในการหาผลของชนิดแอนโทไซยานินต่อการเปลี่ยนสีของสารเคลือบ

4.1.7.2 การเปลี่ยนแปลงสีของสารเคลือบที่ใช้แอนโทไซยานินต่างชนิด

ที่เวลา 30, 210 และ 240 นาที สารเคลือบที่ใช้สารละลายสีข้อมแอนโทไซยานินจากเปลือกองุ่น ให้ค่าความต่างสีสูงกว่าสารเคลือบที่ใช้สารละลายสีข้อมแอนโทไซยานินจากแครอทม่วง เมื่อพิจารณาแนวโน้มของค่าความต่างสีพบว่า สารเคลือบที่ใช้สารละลายสีข้อมจากแครอทม่วงมีแนวโน้มคงที่ในช่วงเวลาตั้งแต่ 60 ถึง 240 นาที และ

มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากจากเวลา 30 ถึง 60 นาที ดังรูปที่ 4.13 เนื่องจากเป็นแอนโทไซยานินที่ต่างชนิดกัน จึงมีการตอบสนองต่อค่าที่ต่างกัน เพราะแอนโทไซยานินจากเปลือกองุ่นคือ cyanidin-3-o-glucoside และแอนโทไซยานินจากแครอทม่วงคือ cyanidin-3-diglucoside-5 glucoside ซึ่งทั้งสองมีโครงสร้างทางเคมีต่างกันการเกิดปฏิกิริยากับค่าจึงต่างกัน ทำให้การเปลี่ยนแปลงสีต่างกันด้วย ดังนั้น แอนโทไซยานินจากเปลือกองุ่นจึงเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์กับบรรจุภัณฑ์อาหารที่มีการเปลี่ยนแปลงสีได้ด้วยสารละลายต่าง



รูปที่ 4.13 ค่าความต่างสีของสารเคลือบจากสารละลายแอนโทไซยานินต่างชนิดกัน

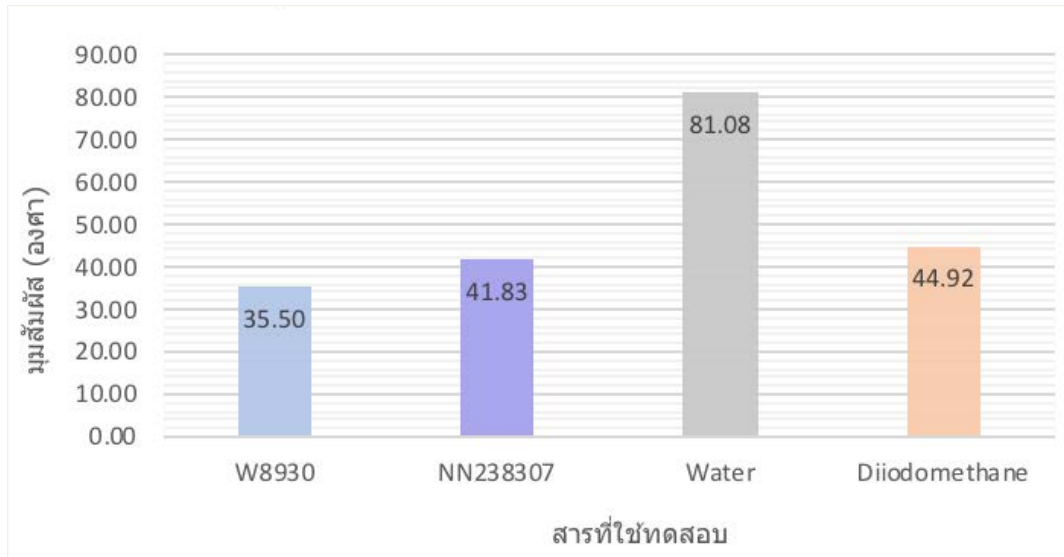
4.2 การศึกษาการเตรียมหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีสำหรับพิมพ์ฟิล์มชนิดบรรจุภัณฑ์อาหารที่เปลี่ยนสีได้ด้วยสารละลายต่าง

4.2.1 ผลการทดสอบสมบัติฟิล์ม

ในการทดลองครั้งนี้วัสดุรองรับที่ใช้ควรมีสมบัติในการเปียกผิวที่ดีสำหรับฟิล์ม เพื่อที่จะให้ค่าสามารถทำปฏิกิริยากับแถบสีที่พิมพ์หมึกพิมพ์บนฟิล์มได้ ผู้ทดลองจึงต้องทดสอบหาสมบัติของวัสดุรองรับ ได้แก่ มุมสัมผัส และพลังงานผิว

4.2.1.1 ผลการวัดค่ามุมสัมผัส (Contact angle)

จากการทดสอบวัดค่ามุมสัมผัสเพื่อทดสอบความสามารถในการเปียกผิวของหมึกพิมพ์เมื่อพิมพ์บนฟิล์มบรรจุอาหารด้านพอลิโพรพิลีน โดยทดสอบเปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสของสารเคลือบฐานน้ำทั้งสองชนิดกับน้ำและ diiodomethane ได้ดังรูปที่ 4.14 เห็นได้ว่า มุมสัมผัสของสารเคลือบฐานน้ำ W8930 มีค่าต่ำกว่า สารเคลือบฐานน้ำ NN238307 ซึ่งสารเคลือบฐานน้ำทั้งสองมีค่ามุมสัมผัสที่น้อยกว่า 90 องศา แสดงถึงสารเคลือบฐานน้ำทั้ง 2 ชนิดสามารถเปียกผิวฟิล์มด้านพอลิโพรพิลีน ดังนั้นจึงสามารถนำสารเคลือบฐานน้ำทั้ง 2 ชนิดนี้ ไปเตรียมเป็นหมึกพิมพ์ฐานน้ำเฟล็กโซกราฟีสำหรับพิมพ์บนฟิล์มปิดผนึกบรรจุภัณฑ์อาหารได้



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่ามุมสัมผัสของสารต่าง ๆ บนฟิล์มด้านพอลิโพรพิลีน

4.2.1.2 ผลการวัดค่าพลังงานผิว (Surface energy)

จากการทดสอบวัดค่าพลังงานผิวฟิล์มพลาสติกด้าน PP มีค่าพลังงานผิวดำกว่าด้าน PET ซึ่งมีค่าพลังงานผิวเท่ากับ 30 และ 38 ตามลำดับ ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการเปียกผิวของหมึก และสารเคลือบ หากค่าพลังงานผิวสูงจะมีความสามารถในการเปียกผิวด้วยหมึกและสารเคลือบได้ดีกว่า ดังนั้น ฟิล์มพลาสติกด้าน PET จึงสามารถเปียกผิวด้วยหมึกและสารเคลือบได้ดีกว่า แต่อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลอง การวัดค่ามุมสัมผัสในข้อ 4.8.1 แสดงให้เห็นว่าฟิล์มพลาสติกด้าน PP ที่มีค่าพลังงานผิวดำกว่ายังคงมีความสามารถในการเปียกผิวสารเคลือบฐานน้ำที่ใช้ในการทดลองทั้ง 2 ชนิด ค่าพลังงานผิวของพลาสติกด้าน PP ค่า 30 และค่าพลังงานผิวของพลาสติกด้าน PET มีค่า 38 ดังนั้น จึงสามารถนำฟิล์มพลาสติกชนิดนี้ ไปเตรียมเป็นฟิล์มปิดผนึกบรรจุภัณฑ์อาหารที่พิมพ์ด้วยหมึกที่เตรียมไว้ได้

4.2.2 ผลการแห้งตัวและการยึดติดของสารเคลือบฐานน้ำบนฟิล์มด้าน PP

ผลการทดสอบการแห้งตัวและการยึดติดของสารเคลือบ แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบสมบัติการแห้งตัวและการยึดติด

สารเคลือบ	ผลการทดสอบสมบัติการแห้งตัวและการยึดติด	
	finger test	pencil test (5H)
W8930	ไม่ติด	ไม่หลุด
NN238307	ไม่ติด	ไม่หลุด

จากตารางที่ 4.4 พบว่า การทดสอบการแห้งตัวของสารเคลือบฐานน้ำทั้งสองชนิดหลังจากการพิมพ์ด้วยเครื่อง IGT F1 ด้วย finger test ไม่มีสารเคลือบติดนิ้ว หรือเป็นรอยนิ้วมือในบริเวณที่สัมผัส แสดงว่า สารเคลือบฐานน้ำทั้งสองชนิดมีการแห้งตัวสมบูรณ์ เมื่อทดสอบ pencil test ด้วยดินสอที่มีความแข็ง 5H (ความแข็งสูงสุดที่มีในห้องปฏิบัติการ) ไม่มีรอยขีดข่วนของดินสอในตำแหน่งที่ขีด แสดงว่า สารเคลือบฐานน้ำทั้งสองชนิดมีความแข็งแรง

4.2.3 ผลการหาสูตรหมึกพิมพ์ที่เหมาะสมในการพิมพ์ด้วยสารเคลือบฐานน้ำ

4.2.3.1 การเตรียมหมึกพิมพ์จากสารเคลือบฐานน้ำ W8930

ผลการเปลี่ยนสีของสูตรหมึกที่มีปริมาณสีข้อมแอนโทไซยานิน แสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 สมบัติการเปลี่ยนสีของสูตรหมึกที่มีสีข้อมปริมาณต่างกัน

สูตร	ปริมาณ ATH (g)	ความหนืด*	สีหลังผสม (ก่อนพิมพ์)	การทดลองพิมพ์	สีเมื่อสังเกตด้วยตา **	หมายเหตุ
W-1	0.016	ปานกลาง	น้ำเงิน	พิมพ์ดี	สีอ่อนมาก	
W-2	0.032	ค่อนข้างเหลว	น้ำเงิน	พิมพ์ดี	สีอ่อนมาก	
W-3	0.060	ปานกลาง	น้ำเงิน	พิมพ์ดี	มองเห็นได้	
W-4	0.120	ปานกลาง	น้ำเงิน	พิมพ์ดี	มองเห็นได้	
W-5	0.180	ปานกลาง	น้ำเงิน	พิมพ์ดี	มองเห็นง่าย	
W-6	0.240	ค่อนข้างข้น	น้ำเงิน	พิมพ์ไม่ได้	N/A	จับตัวเป็นก้อน
W-7	0.180	ปานกลาง	น้ำเงิน	พิมพ์ดี	มองเห็นง่าย	
W-8	0.210	ค่อนข้างข้น	น้ำเงิน	พิมพ์ดี	มองเห็นง่าย	
W-9	0.300	ข้น	น้ำเงิน	พิมพ์ไม่ได้	N/A	จับตัวเป็นก้อน
W-10	0.218	ข้น	น้ำเงิน	พิมพ์ไม่ได้	N/A	จับตัวเป็นก้อน

N/A เนื่องจากไม่สามารถพิมพ์ดีได้บนฟิล์ม จึงไม่สามารถสังเกตสีหลังพิมพ์ได้

* จากการสังเกตด้วยตา

** ร่องด้านหลังของฟิล์มด้วยกระดาษอาร์ตมัน

จากตารางที่ 4.5 เมื่อพิจารณาการผสมสารให้สีแอนโทไซยานินจากเปลือกกุ้งกับสารเคลือบฐานน้ำ W8930 เป็นสูตรหมึกทั้งหมด 10 สูตร คือ W-1 ถึง W-10 พบว่า สีของหมึกหลังการผสมทั้ง 10 สูตร มีสีน้ำเงิน แสดงว่า หมึกหลังผสมมีความเป็นด่าง เพราะแอนโทไซยานินจากเปลือกกุ้ง เปลี่ยนสีเป็นสีน้ำเงินในสารละลายต่าง และเมื่อทดลองพิมพ์ด้วยเครื่อง IGT F1 Printability Tester พบว่า หมึกสูตร W-6, W-9 และ W-10 พิมพ์ไม่ได้ เนื่องจากหมึกหลังผสมมีลักษณะจับตัวเป็นก้อนไม่ไหล จึงไม่เหมาะสมกับการนำไปพิมพ์ เมื่อสังเกตสีด้วยตา สีหมึกหลังพิมพ์ลงบนฟิล์มด้าน PP และร่องด้านหลังด้วยกระดาษอาร์ตมัน พบว่า หมึกสูตร W-1 และ W-2 มีสีอ่อนมาก เนื่องจากอัตราส่วนของสารละลายสีข้อมแอนโทไซยานินมีปริมาณน้อย หมึกสูตร W-3, W-4 สามารถมองเห็นได้เนื่องจากอัตราส่วนของสารละลายสีข้อมแอนโทไซยานินมีปริมาณปานกลาง และหมึกสูตร W-5, W-7 และ W-8 สามารถมองเห็นได้ง่าย เนื่องจากอัตราส่วนของสารละลายสีข้อมแอนโทไซยานินมีปริมาณมาก และหลังจากการพิมพ์และหมึกแห้งตัวแล้ว สีของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์กลับมามีสีม่วง อาจเป็นเพราะการระเหยของสารละลายแอมโมเนียภายในหมึกที่มีความเป็นด่าง หรืออาจเกิดปฏิกิริยาขององค์ประกอบต่าง ๆ ภายในหมึกในระหว่างการแห้งตัวของหมึก ทำให้สีของหมึกกลับมามีสีเหมือนสารละลายสีข้อมแอนโทไซยานิน ดังนั้นหมึกพิมพ์ยังคงสามารถเปลี่ยนสีได้หากมีความเป็นด่างเพิ่มมากขึ้น จึงสรุปได้ว่าหมึกสูตร W-8 จึงเป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาพิมพ์ลงบนฟิล์มพลาสติก เพราะมองเห็นสีได้ชัดเจนที่สุด พิมพ์ดี และสารผสมไม่จับตัวเป็นก้อน

4.2.3.2 การเตรียมหมึกพิมพ์จากสารเคลือบฐานน้ำ NN238307

ผลการเปลี่ยนสีของสูตรหมึกที่มีปริมาณสีข้อมแอนโทไซยานิน แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 สมบัติการเปลี่ยนสีของสูตรหมึกที่มีสีข้อมปริมาณต่างกัน

สูตร	ปริมาณ ATH (g)	ความหนืด*	สีหลังผสม(ก่อนพิมพ์)	การทดลองพิมพ์	สีเมื่อสังเกตด้วยตา **	หมายเหตุ
NN-1	0.210	ค่อนข้างเหลว	ม่วงเข้ม	พิมพ์ดีด	มองเห็นได้	
NN-2	0.220	ปานกลาง	ม่วงเข้ม	พิมพ์ดีด	มองเห็นได้	
NN-3	0.225	ปานกลาง	ม่วงเข้ม	พิมพ์ดีด	มองเห็นง่าย	
NN-4	0.270	ข้น	ม่วงเข้ม	พิมพ์ไม่ได้	N/A	จับตัวเป็นก้อน
NN-5	0.255	ค่อนข้างข้น	ม่วงเข้ม	พิมพ์ดีด	มองเห็นง่าย	
NN-6	0.263	ข้น	ม่วงเข้ม	พิมพ์ไม่ได้	N/A	จับตัวเป็นก้อน

N/A เนื่องจากไม่สามารถพิมพ์ดีดได้บนฟิล์ม จึงไม่สามารถสังเกตสีหลังพิมพ์ได้

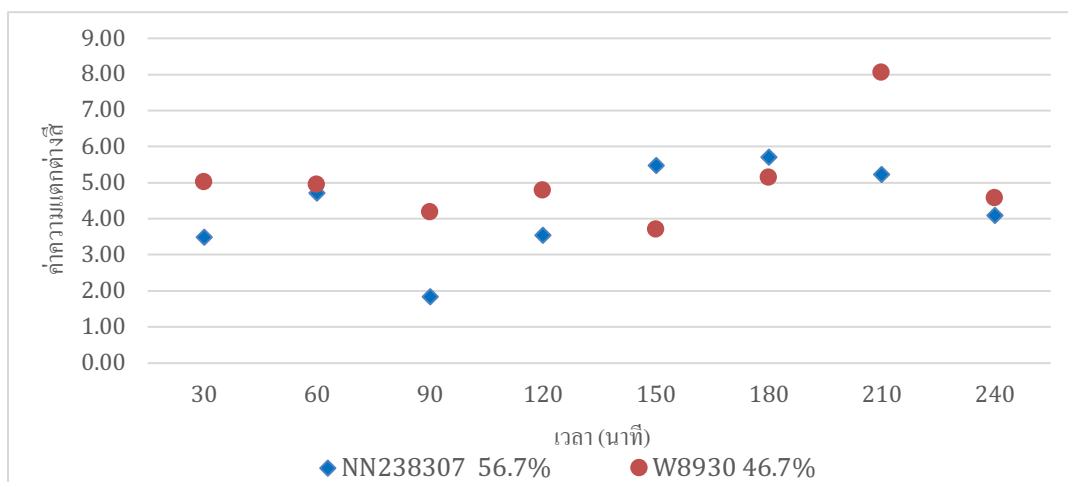
* จากการสังเกตด้วยตา

** รองด้านหลังของฟิล์มด้วยกระดาษอาร์ตมัน

จากตารางที่ 4.6 เมื่อพิจารณาการผสมสารละลายสีข้อมแอนโทไซยานินกับสารเคลือบฐานน้ำ NN238307 ได้หมึก 6 สูตร คือ NN-1 ถึง NN-6 พบว่า สีหลังผสมของหมึกทั้ง 6 สูตรมีสีม่วงเข้ม แสดงว่า หมึกหลังผสมมีสมบัติเป็นกรดหรือกลาง สามารถเปลี่ยนสีได้เมื่อมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้น และเมื่อทดลองพิมพ์ด้วยเครื่อง IGT F1 Printability Tester พบว่า หมึกสูตร NN-4 และ NN-6 ไม่สามารถพิมพ์ได้ เนื่องจากหมึกมีลักษณะจับตัวเป็นก้อน ไม่ไหล ไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปพิมพ์ด้วยระบบเพล็ทโซกราฟี่ เมื่อสังเกตสีหมึก หลังพิมพ์ลงบนฟิล์มด้าน PP ที่รองด้านหลังด้วยกระดาษอาร์ตมัน หมึกสูตร NN-1 และ NN-4 สามารถมองเห็นได้ เนื่องจากอัตราส่วนของสารละลายสีข้อมแอนโทไซยานินมีปริมาณปานกลาง และหมึกสูตร NN-3 และ NN-5 สามารถมองเห็นได้ง่าย เนื่องจากอัตราส่วนของสารละลายสีข้อมแอนโทไซยานินมีปริมาณมาก ดังนั้น หมึกสูตร NN-5 จึงเป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาพิมพ์ลงบนฟิล์มพลาสติก เพราะมองเห็นสีได้ชัดเจนที่สุด พิมพ์ดีด และหมึกไม่จับตัวเป็นก้อน

4.2.4 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพิมพ์บน PP

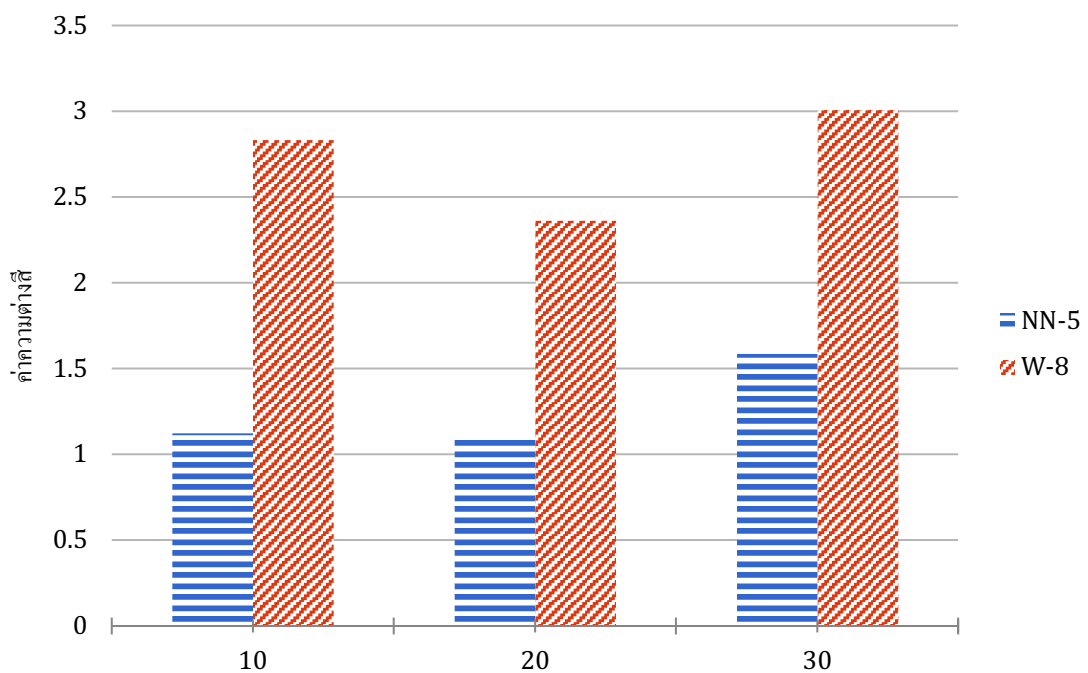
ผลของการเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพิมพ์บน PP แสดงดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ค่าความต่างสีของหมึกสูตร NN-5 และ W-8 บน PP เมื่อทดสอบกับด่าง ในเวลาต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.15 พบว่าหมึกทั้ง 2 สูตร มีการเปลี่ยนแปลงสีเมื่อเวลาผ่านไป แต่ค่าความต่างสีในแต่ละเวลาไม่มีความสัมพันธ์กับเวลาที่ผ่านไป มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงสีที่ไม่แน่นอน อาจเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองของผู้เขียนไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเล็กน้อย จึงส่งผลกระทบต่อกระเหยของแก๊สแอมโมเนียในแต่ละช่วงเวลา อีกทั้งสารเคลือบฐานน้ำมีแอมโมเนียเป็นองค์ประกอบ อาจทำให้สารละลายแอมโมเนียที่ใช้ในการทดลองทำปฏิกิริยากับหมึกได้ และเนื่องจากสีช้อมแอนโทไซยานินที่ใช้ในการทดลองสามารถละลายน้ำได้เมื่อความชื้นภายในกล่องที่ทดลองควบแน่นเป็นหยดน้ำ จึงสามารถละลายสีช้อมแอนโทไซยานินที่อยู่ในหมึก

อีกหนึ่งปัจจัยที่น่าสนใจคือ หมึกทั้ง 2 สูตรที่เคลือบลงบนฟิล์มนั้นอาจมีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างสมบูรณ์แล้วภายในเวลา 30 นาที ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองการเปลี่ยนแปลงสีของหมึกที่เวลา 0 - 30 นาทีเพิ่มเติมได้ผลดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ค่าความต่างสีของหมึกสูตร NN-5 และ W-8 ที่เวลา 0-30 นาที

จากรูปที่ 4.14 พบว่า ค่าความต่างสีของหมึกทั้ง 2 สูตร มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างช้า ๆ ซึ่งเป็นไปได้ว่าหมึกทั้ง 2 สูตรนั้นมีการเปลี่ยนสี อย่างสมบูรณ์ภายใน 30 นาทีแรก จึงทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสีภายหลังเวลา 30 นาที มีแนวโน้มที่ไม่คงที่ หมึกสูตร W-8 มีค่าความต่างสีมากกว่าหมึกสูตร NN-5 ที่มีปริมาณสารละลายสีช้อมแอนโทไซยานินมากกว่า ซึ่งอาจเป็นผลมาจากองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ไม่เหมือนกันในสารเคลือบฐานน้ำทั้ง 2 สูตร และค่าความต่างสีของหมึกทั้ง 2 สูตรในช่วง 10-30 นาที มีค่า 1-3 จึงไม่เห็นความแตกต่างภายใน 30 นาทีแรก

4.2.5 การหาความหนาที่เหมาะสมด้วย K-bar

ผลการทดสอบหาความหนาของหมึกที่เหมาะสมด้วย K-bar แสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบหาความหนาของหมึกที่เหมาะสมด้วย K-bar

K-bar No.	ความหนาของหมึก (ไมโครเมตร)	สีเมื่อสังเกตด้วยตา*	ผิวสัมผัส (หลังพิมพ์)
1	6	สีม่วงอ่อน มองเห็นได้ยาก	ผิวเรียบ เนียนละเอียด
2	12	สีม่วงอ่อน มองเห็นได้ยาก	ผิวเรียบ เนียนละเอียด
3	24	สีม่วงเข้ม มองเห็นได้ชัดเจน	ผิวเรียบ เนียน
4	40	สีม่วงเข้ม มองเห็นได้ชัดเจน	ผิวขรุขระ เห็นเป็นเส้นหยาบ หลุดลอกง่าย

* ร่องด้านหลังของฟิล์มด้วยกระดาษอาร์ตมัน

จากตารางที่ 4.7 เมื่อพิจารณาการพิมพ์สูตรหมึกด้วย K-bar ตั้งแต่เบอร์ 1-4 พบว่าเมื่อพิมพ์ด้วย K-bar เบอร์ 1 และ 2 ให้ผิวสัมผัสที่เรียบเนียน ให้ผิวสัมผัสหลังพิมพ์ที่ดี แต่สังเกตเห็นสีของหมึกพิมพ์ได้ยาก จึงไม่เหมาะกับการนำไปพิมพ์ลงบนฟิล์ม เมื่อพิมพ์ด้วย K-bar เบอร์ 3 และ 4 สามารถมองเห็นสีของหมึกที่ชัดเจน แต่ K-bar เบอร์ 4 เมื่อพิมพ์ได้ผิวสัมผัสขรุขระ เห็นเป็นเส้นหยาบ และหลุดลอกง่าย ไม่เหมาะต่อการพิมพ์ลงบนฟิล์ม ดังนั้น K-bar เบอร์ 3 จึงเหมาะสมที่สุดที่จะนำมาพิมพ์หมึกลงบนฟิล์มพลาสติก เพราะมองเห็นสีได้ชัดเจนที่สุด ผิวสัมผัสมีความเนียนเรียบ และไม่หยาบเป็นเส้น ให้งานพิมพ์ที่มีคุณภาพดี

การพิมพ์เฟล็กโซกราฟีลงบนฟิล์มนั้น จะต้องประกอบไปด้วยสมบัติของสารเคลือบ และสมบัติของฟิล์มที่เหมาะสมด้วยกันทั้งคู่ ซึ่งจากผลการทดสอบ พบว่า สมบัติของสารเคลือบมีความเหมาะสมต่อการพิมพ์ ทั้งมุมสัมผัสที่มีความเหมาะสมต่อการพิมพ์บนฟิล์มด้าน PP และพลังงานผิวของฟิล์มทั้ง PP และ PET มีความเหมาะสม และทำให้เกิดการเปียกผิวที่ดี สามารถพิมพ์ติดได้ มีการแห้งตัวและการยึดติดที่ดีจากผลการทดสอบ finger test และ pencil test และได้สูตรหมึกจากสารเคลือบทั้งสองชนิดที่มีการมองเห็นสีที่ชัดเจน และมีความหนืดที่เหมาะสมต่อการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี ก็คือ สูตร W-8 จากสารเคลือบ W8930 และสูตร NN-5 จากสารเคลือบ NN238307

4.2.6 การเตรียมหมึกจากสารละลายสีข้อมแอนโทไซยานินจากแคโรทม่วง

เมื่อเตรียมหมึกจากสารละลายสีข้อมแอนโทไซยานินจากแคโรทม่วงในกรณีที่ใช้อัตราส่วนของสารละลายสีข้อมแอนโทไซยานินจากแคโรทม่วง และสารเคลือบฐานน้ำเหมือนกันกับสูตร NN-5 และ W-8 ในเบื้องต้นพบว่า สารละลายสีข้อมแอนโทไซยานินจากแคโรทม่วงและสารเคลือบฐานน้ำเข้ากันไม่ได้เกิดการตกตะกอน เมื่อนำไปเคลือบด้วย K-bar เบอร์ 3 ลงบนฟิล์มด้าน PP ไม่เกิดการเปียกผิว ดังรูปที่ 4.17 และ 4.18



รูปที่ 4.17 (ซ้าย) สารละลายซีลี่ยมแอนโทไซยานินจากแคโรทม่วงเมื่อผสมกับสารเคลือบฐานน้ำที่อัตราส่วนในสูตร W-8 (ขวา) เมื่อเคลือบด้วย K-bar เบอร์ 3 บนฟิล์มด้าน PP



รูปที่ 4.18 (ซ้าย) สารละลายซีลี่ยมแอนโทไซยานินจากแคโรทม่วงเมื่อผสมกับสารเคลือบฐานน้ำที่อัตราส่วนในสูตร NN-5 (ขวา) เมื่อเคลือบด้วย K-bar เบอร์ 3 บนฟิล์มด้าน PP

เมื่อเจือจางให้สารละลายซีลี่ยมแอนโทไซยานินจากแคโรทม่วงมีความเข้มข้นใกล้เคียงกับสารละลายซีลี่ยมแอนโทไซยานินจากเปลือกองุ่น และผสมกับสารเคลือบฐานน้ำทั้ง 2 ชนิด ที่อัตราส่วนเดียวกันกับหมึกสูตร NN-5 และ W-8 พบว่า สารที่ได้มีความเหลวมาก ไม่สามารถพิมพ์หรือเคลือบได้ เนื่องจากสัดส่วนของน้ำมากขึ้น แรงตึงผิวของของเหลวเพิ่มขึ้น ความหนืดจึงลดลง ดังนั้น หากต้องการทำสูตรหมึกด้วยซีลี่ยมแอนโทไซยานินจากแคโรทม่วง อาจต้องมีการปรับปรุงสูตร โดยการเติมสารลดแรงตึงผิว เพื่อลดแรงตึงผิวของหมึกและช่วยให้สามารถยึดติดกับฟิล์มได้ และใส่สารปรับความหนืดเพิ่มเติม เพื่อให้ได้ความหนืดที่เหมาะสมกับการพิมพ์ลงบนฟิล์ม

จากการทดลองทั้ง 4.1 และ 4.2 ทำให้เห็นความแตกต่างของการใช้สารเคลือบซีลี่ยมและการพิมพ์หมึกลงบนฟิล์มโดยตรง การใช้สารเคลือบบนกระดาษนั้น จะให้ค่าความแตกต่างที่สูงกว่าการพิมพ์หมึกลงบนฟิล์ม ง่ายต่อการสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงแต่กระดาษจะมีข้อจำกัดในการใช้งานที่มากกว่า ทั้งการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของกระดาษที่ขึ้นกับการเก็บรักษากระดาษ ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของตัวบ่งชี้ อีกทั้งการนำกระดาษมาประยุกต์ใช้กับบรรจุภัณฑ์จริงในอุตสาหกรรมได้ยากกว่า ทั้งในแง่ของความทนทาน การปิดผนึกกับบรรจุภัณฑ์ที่เป็นไปได้ยากกว่า รวมถึงขั้นตอนในการผลิต ซึ่งการพิมพ์หมึกลงบนฟิล์มสามารถทำได้ง่าย และสะดวกมากกว่า

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การพัฒนาแถบสีเพื่อตรวจสอบความสดของผลิตภัณฑ์อาหารในโครงการนี้ได้จำลองสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ปลดปล่อยก๊าซจำพวกต่าง ผู้วิจัยสามารถเตรียมสารเคลือบกระดาษและหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีบนฟิล์ม PP ที่สามารถบ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงความสดในสถานะจำลองในบรรจุภัณฑ์ได้ โดยทั้งสารเคลือบและหมึกพิมพ์นั้นใช้สีย้อมธรรมชาติประเภทแอนโทไซยานินซึ่งจะมองเห็นสีชัดเจน และให้การเปลี่ยนแปลงสีเมื่อทำปฏิกิริยากับด่างเมื่อมีสัดส่วนของสีย้อมภายในองค์ประกอบที่เหมาะสม สำหรับหมึกพิมพ์หากใช้ปริมาณสีย้อมมากเกินไปจะเกิดการตกตะกอน และหากอยู่ในสถานะที่มีความชื้นมาก สีย้อมที่อยู่ภายในหมึกหลังการพิมพ์อาจหลุดออกมาได้ และเมื่อเวลาผ่านไปหากปริมาณด่างระเหยออกมาเพิ่มขึ้น ทำให้แอนโทไซยานิน เกิดการเปลี่ยนสีที่ต่างออกไปจากสีเริ่มต้นตามปริมาณด่างที่เพิ่มขึ้น

ซึ่งในโครงการนี้มุ่งศึกษาสีย้อมที่มีสารสกัดแอนโทไซยานินจากเปลือกองุ่น ที่เป็นสารให้สีจากธรรมชาติ โดยให้ผลของการเปลี่ยนแปลงสีดังกล่าวข้างต้น หากใช้สีย้อมที่มีสารสกัดแอนโทไซยานินต่างชนิดกัน หรือ ชนิดเดียวกันจากแหล่งที่มาต่างกันก็จะให้ผลการทดลองที่แตกต่างออกไปสำหรับการทดลองนี้สารเคลือบ เมื่อใช้สารละลายสีย้อมแอนโทไซยานินจากเปลือกองุ่นจะให้ผลการเปลี่ยนแปลงสีที่ดีกว่าการใช้สารละลายสีย้อมแอนโทไซยานินจากแครอทม่วง ในเบื้องต้นยังไม่สามารถเตรียมหมึกพิมพ์ด้วยสารละลายสีย้อมแอนโทไซยานินจากแครอทม่วงได้ ซึ่งอาจจะต้องมีการปรับสูตร และใส่สารปรับความหนืด และสารลดแรงตึงผิวต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรใช้ผู้ที่ควบคุมอุณหภูมิได้แม่นยำเพื่อป้องกันผลการทดลองที่อาจผิดพลาดจากอุณหภูมิที่ไม่คงที่ และทำให้การระเหยของแอมโมเนียเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงสีคลาดเคลื่อน

5.2.2 ควรใช้เครื่องกวนในการผสมหมึกเพื่อให้องค์ประกอบต่าง ๆ ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน หากใช้แท่งแก้วกวนจะต้องใช้เวลาในการผสมให้เข้ากันนาน และในขณะที่กวนก็ควรระวังการระเหยของสารละลายภายในหมึกด้วย

5.2.3 สารละลายแอมโมเนียเมื่อเตรียมแล้วเก็บไว้ได้ไม่นาน หากทิ้งไว้จะทำให้ความเข้มข้นเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลต่อการเปลี่ยนสีของตัวบ่งชี้ที่คลาดเคลื่อน ไม่ตรงกับการทดลองด้วยแอมโมเนียตามความเข้มข้นจริง

5.2.4 สารละลายสีย้อมแอนโทไซยานิน และสารเคลือบกระดาษเมื่อเตรียมแล้วควรเก็บไว้ในตู้เย็น เพื่อป้องกันการเกิดเชื้อรา และยืดอายุการใช้งาน โดยสารเคลือบจะมีอายุการใช้งาน 2 สัปดาห์ เมื่อเก็บไว้ในตู้เย็น 2-7 องศา และสูตรหมึกเมื่อผสมแล้วควรใช้งานทันที

5.2.5 ในการทดลองการเปลี่ยนแปลงสีเทปกาวที่ใช้ติดกระดาษเคลือบด้วยสารเคลือบเข้ากับฟิล์ม อาจจะทำให้ความเป็นกรด-ด่างของแอนโทไซยานินเปลี่ยนไป ส่งผลให้การทดลองคลาดเคลื่อน ไม่ได้ผลที่แท้จริง ดังนั้นจึงควรเลือกเทปกาวคุณภาพดี กาวแท่ง หรือปืนกาว ซึ่งสามารถป้องกันปัญหานี้ได้ แต่จะไม่สามารถนำฟิล์มที่ใช้แล้วกลับมาใช้ซ้ำได้

5.2.6 การใช้สารละลายสีย้อมแอนโทไซยานินจากแครอทม่วงอาจสามารถเตรียมหมึกพิมพ์ที่ให้ความเข้มของสีที่ชัดเจน และสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงสีได้ง่ายกว่า แต่จากการทดลองด้วยส่วนผสมและอัตราส่วนที่ทำให้เกิดความเข้มสีใกล้เคียงกับสูตรหมึกจากแอนโทไซยานินในเปลือกองุ่นแล้ว พบปัญหาว่าไม่สามารถพิมพ์ติดบนฟิล์มได้ ซึ่งอาจนำผลการทดลองที่ได้นี้ไปประยุกต์ใช้ในการปรับส่วนผสมได้ภายหลัง

เอกสารอ้างอิง

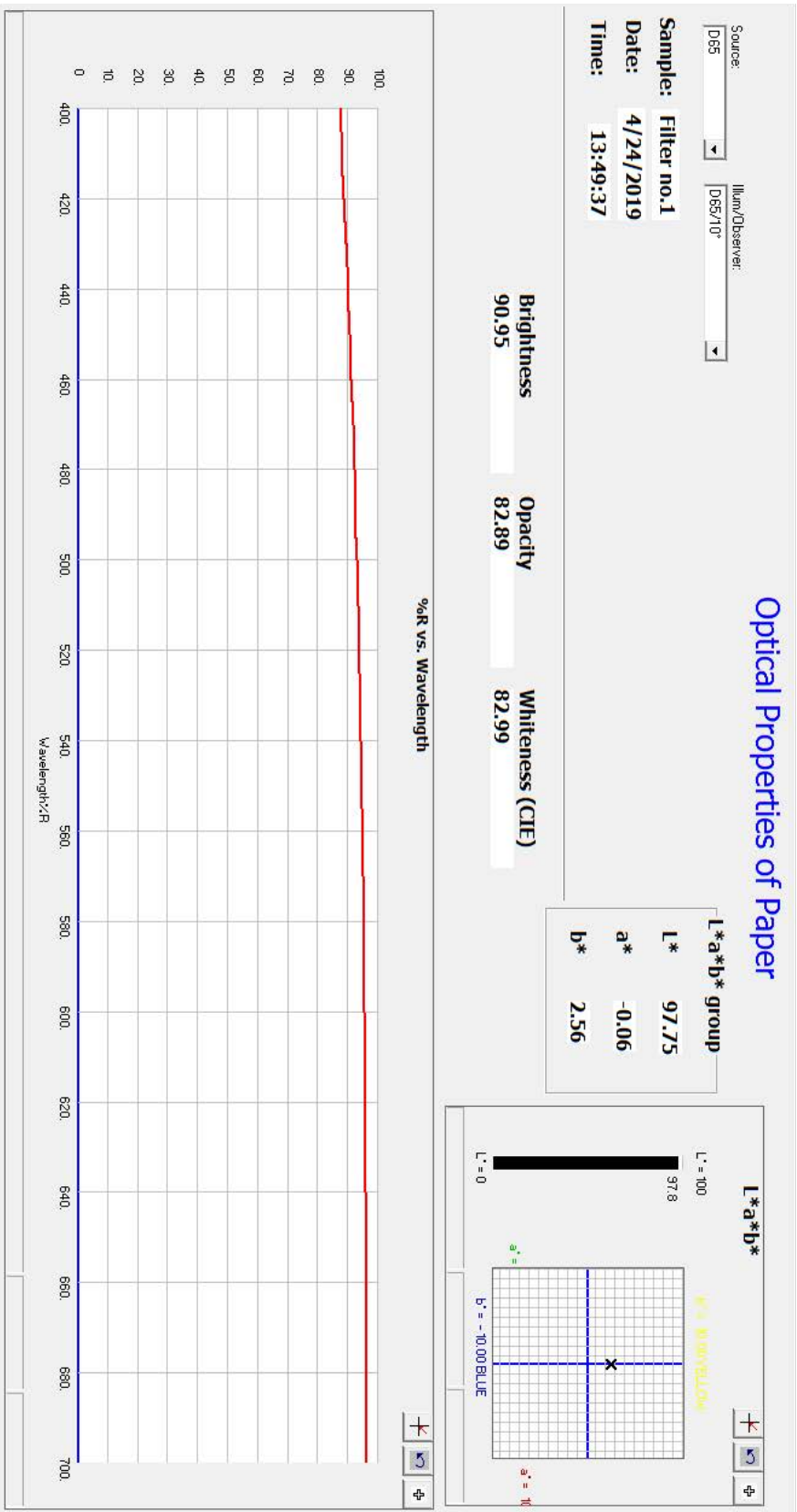
- [1] Charles E. Ophardt. Acid and Base Indicators. สืบค้นเมื่อ 12 พฤษภาคม 2562 จาก <http://chemistry.elmhurst.edu/vchembook/186indicator.html>.
- [2] Stamatina Kallithraka., Laura Aliaj., Dimitris P. Makris., Panagiotis Kefalas. (2552). Anthocyanin profiles of major red grape (*Vitis vinifera* L.) varieties cultivated in Greece and their relationship with in vitro antioxidant characteristics. *International Journal of Food Science & Technology*. 44; 2385-2393.
- [3] Akifumi Azuma. (2562). Postharvest light irradiation and appropriate temperature treatment increase anthocyanin accumulation in grape berry skin. *Postharvest Biology and Technology*. 147; 89-99.
- [4] Margarita Corrales. (2547). Extraction of anthocyanins from grape skins assisted by high hydrostatic pressure. *Journal of Food Engineering*. 90; 415-421.
- [5] โครงสร้างทางเคมีของ Cyanidin 3-O-glucoside. สืบค้นเมื่อ 13 พฤษภาคม 2562 จาก https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/78/Cyanidin_3-O-glucoside.svg.
- [6] M.T.M.Assous. (2557). Evaluation of red pigment extracted from purple carrots and its utilization as antioxidant and natural food colorants. *Annals of Agricultural Sciences*. 59; 1-7.
- [7] โครงสร้างทางเคมีของ Cyanidin-3-diglucoside-5 glucoside. สืบค้นเมื่อ 13 พฤษภาคม 2562 จาก <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cyanin.PNG>.
- [8] K. B. Biji., C. N. Ravishankar., R. Venkateswarlu., C. O. Mohan and T. K. Srinivasa Gopal. (2559). Biogenic amines in seafood: a review. *J Food Sci Technol*. 53; 2210–2218.
- [9] Sreedath Tulamandi. Advances in bulk packaging for the transport of fresh fish. สืบค้นเมื่อ 12 พฤษภาคม 2562 จาก https://www.researchgate.net/publication/289460356_Advances_in_bulk_packaging_for_the_transport_of_fresh_fish.
- [10] ไกรพ เจริญโสภณ. (2551). การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะน้ำหนักรีดของงานพิมพ์เฟล็กโซกราฟีบนสติ๊กเกอร์ชนิดกระดาษและพลาสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร. หน้า 11.
- [11] Smithers Pira. Water Absorbency. สืบค้นเมื่อ 11 พฤษภาคม 2562 จาก <https://www.smitherspira.com/services/materials-testing/paper-other-properties/water-absorbency>.
- [12] D.W.Bousfield. (2545). Paper: Porosity. *Encyclopedia of Materials: Science and Technology (Second Edition)*.; 6682-6685.
- [13] Flexographic Printing. สืบค้นเมื่อ 12 พฤษภาคม 2562 จาก <https://www.machineryeurope.com/flexographic-printing>.
- [14] Helmut Kipphan. (2544). *Handbook of Print Media : Technologies and Production Methods*. Springer-Verlag Berlin Heidelber. Berlin. Germany.; 130-132.
- [15] Foundation of the Flexographic Technical Association (U.S.). (1999). *Flexography : principles and practices (5th ed) - Volume 5*. Foundation of Flexographic Technical Association, Ronkonkoma. New York.; 40.
- [16] กฤตพงศ์ สูงตรง. (2559). ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ในระบบออฟเซตและค่าความแตกต่างสีบนสิ่งพิมพ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร. หน้า 19-20.
- [17] ระบบสี CIELAB. สืบค้นเมื่อ 10 สิงหาคม 2561 จาก www.linocolor.com.

- [18] Paint & Coating Industry. Mixtures Used in Measuring Wetting Tension Solutions. สืบค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม 2562 จาก <https://www.pcimag.com/articles/85879-dynamic-surface-tension-and-surface-energy-in-ink-formulations-and-substrates>.
- [19] Testing Machines. K Bar Coating. สืบค้นเมื่อ 10 สิงหาคม 2561 จาก <https://www.testingmachines.com/pdf/30-15-k-hand-coater.pdf>.
- [20] Weber Scientific. Zahn Cup-Type Viscosimeter Operating Instructions. สืบค้นเมื่อ 11 พฤษภาคม 2562 จาก <https://www.weberscientific.com/zahn-viscometers>.
- [21] ASTM Designation D 2196-68 Standard Test Methods for Rheological Properties Non-Newtonian Materials by Rotational (Brookfield) Viscometer
- [22] ASTM International. ASTM D3363-05, Standard Test Method for Film Hardness by Pencil Test.
- [23] สมเกียรติ ลวะวิบูลย์. (2550). ผลของสารเริ่มปฏิกิริยาเชิงแสงในหมึกพิมพ์สกรีนยูวีต่อการแห้งบนพลาสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร. หน้า 20.
- [24] เจษฎา หาญบาง. (2552). การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบผสมเพื่อการปรับปรุงอัตราการผสมพลาสติกรีไซเคิล. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี. หน้า 36-37.
- [25] เครื่อง IGT F1 Printability Tester. สืบค้นเมื่อ 12 พฤษภาคม 2562 จาก <http://www.labsolutions.fr/wp-content/uploads/2011/06/fl-uk.pdf>.
- [26] เครื่อง Spectrophotometer Color Touch PC. สืบค้นเมื่อ 12 พฤษภาคม 2562 จาก <https://www.pulpandpaper-technology.com/categories/test-measurement>.
- [27] Valdir Aniceto Pereira Jr., Iza Natália Queirozde Arruda and Ricardo Stefani. (2557). Active chitosan/PVA films with anthocyanins from Brassica oleraceae (Red Cabbage) as Time-Temperature Indicators for application in intelligent food packaging. *Food Hydrocolloids*. 43; 180-188.
- [29] David Haas. (2544). Times-up! The color-changing self-expiring badge How do you prevent visitors' badges and day passes from becoming universal access cards? How can you track medication schedules and expiration dates? One company has an answer. *Chemical innovation*. 31; 42-51.

ภาคผนวก ก

รูปภาพแสดงสมบัติเชิงแสงของกระดาษแต่ละชนิด

สมบัติเชิงแสงของกระดาษกรองเบอร์ 1



Optical Properties of Paper

Source: D65 Illum/Observer: D65/10°

Sample: filter No.4

Date: 4/24/2019

Time: 13:44:25

Brightness 89.68

Opacity 83.06

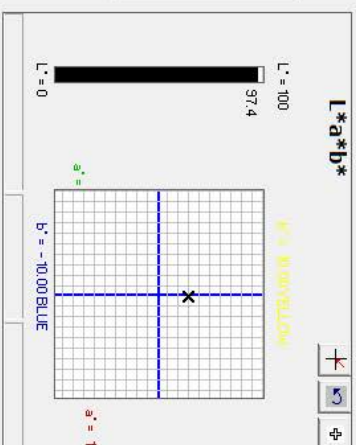
Whiteness (CIE) 80.60

L*a*b* group

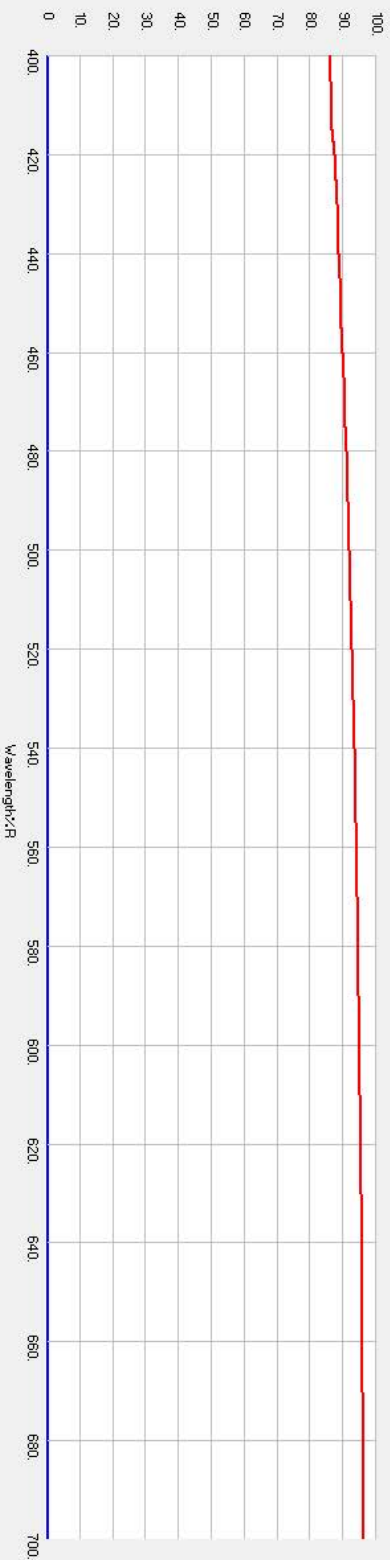
L* 97.43

a* 0.1

b* 2.91



%R vs. Wavelength



Optical Properties of Paper

Source: Illum/Observer:

Sample: green read
 Date: 4/24/2019
 Time: 13:48:07

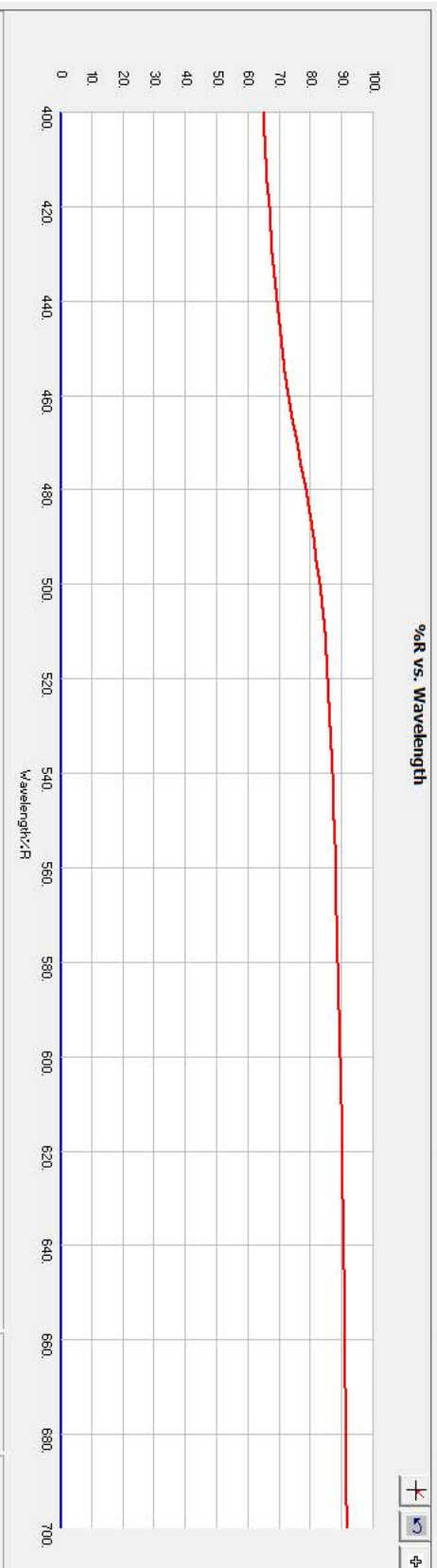
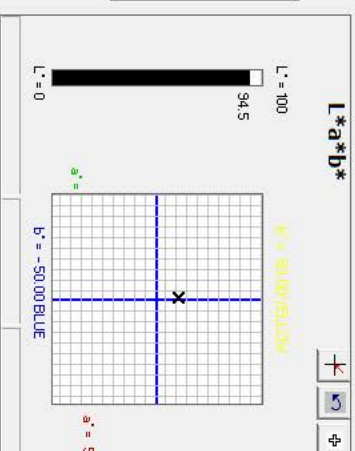
Brightness

Opacity

Whiteness (CIE)

L*a*b* group

L*	94.45
a*	-1.54
b*	11.09



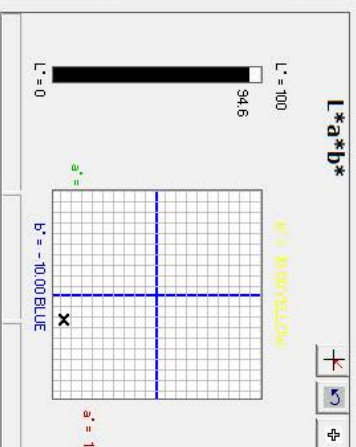
Optical Properties of Paper

Source: D65 Illum/Observer: D50/2°

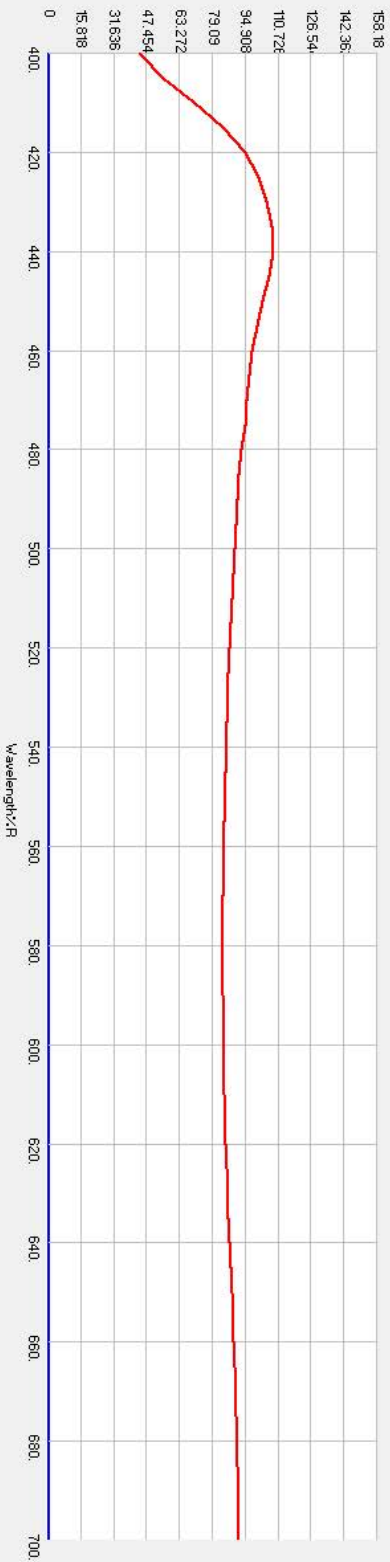
Sample: Pond pape
Date: 4/24/2019
Time: 13:55:43

Brightness 98.87
Opacity 90.76
Whiteness (CIE) 125.84

L*a*b* group
L* 94.59
a* 2.17
b* -8.68



%R vs. Wavelength



Optical Properties of Paper

Source: Illum/Observer:

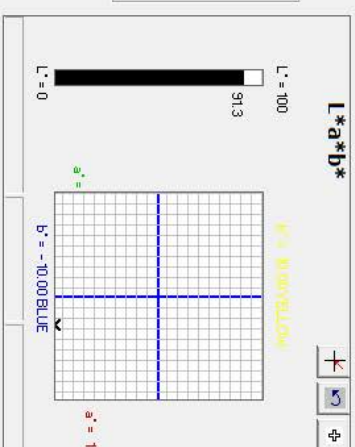
Sample:
Date:
Time:

Brightness

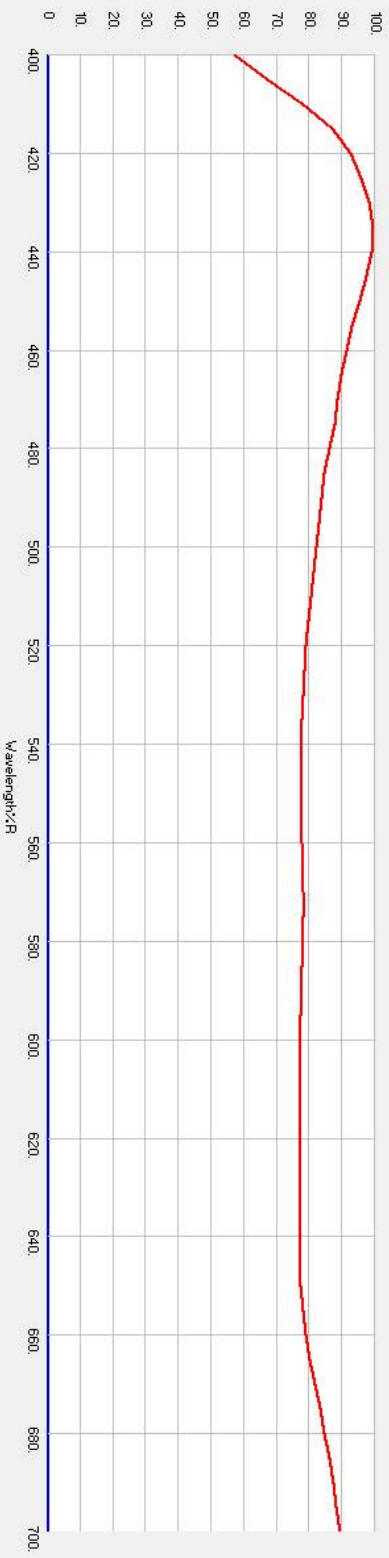
Opacity

Whiteness (CIE)

L*a*b* group
L*
a*
b*



%R vs. Wavelength



ภาคผนวก ข

ตารางการวัดค่าสมบัติกระดาษ และฟิล์ม

ตารางการวัดค่าร้อยละ Porosity index

ชนิดกระดาษ	Porosity index (%)
กระดาษกรองเบอร์ 1	17.03
กระดาษกรองเบอร์ 4	20.95
กระดาษกรีนรีด	12.27
กระดาษปอนด์	12.33
กระดาษการ์ด	0.01

ตารางการวัดค่าความต้านทานอากาศ (Air resistance)

ชนิดกระดาษ	เวลาที่อากาศไหลผ่านกระดาษ (วินาที)
กระดาษกรองเบอร์ 1	3.23
กระดาษกรอง เบอร์ 4	3.22
กระดาษกรีนรีด	4.12
กระดาษปอนด์	2.57
กระดาษการ์ด	15.05

ตารางการวัดค่าความหนากระดาษ

ชนิดกระดาษ	ค่าความหนากระดาษ (ไมครอน)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
กระดาษกรองเบอร์ 1	186	183	194	184	194	189
กระดาษกรองเบอร์ 4	215	212	212	211	210	212
กระดาษกรีนรีด	134	132	134	134	133	133
กระดาษปอนด์	119	119	121	122	119	120
กระดาษการ์ด	257	259	260	262	259	259

ตารางการวัดค่าการดูดซับน้ำ

	แผ่นที่	น้ำหนัก	น้ำหนัก	น้ำหนักเฉลี่ย	น้ำหนักเฉลี่ย	น้ำหนักน้ำ
		ก่อนแช่น้ำ	หลังแช่น้ำ	ก่อนแช่น้ำ	หลังแช่น้ำ	ที่ถูกดูดซับไว้
กระดาษกรีนริด ด้าน A	1	1.2103	1.5163			
	2	1.1997	1.5623	1.206266667	1.564033333	0.357766667
	3	1.2088	1.6135			
กระดาษกรีนริด ด้าน B	1	1.2033	1.6619			
	2	1.2055	1.7022	1.209266667	1.7215	0.512233333
	3	1.219	1.8004			
กระดาษปอนด์ ด้าน A	1	1.1292	1.5509			
	2	1.1319	1.6004	1.121966667	1.648133333	0.526166667
	3	1.1048	1.7931			
กระดาษปอนด์ ด้าน B	1	1.1144	1.8999			
	2	1.2361	1.7077	1.1511	1.846633333	0.695533333
	3	1.1028	1.9323			

ตารางการวัดค่ามัมสัมพัทธ์

สารที่ใช้ทดสอบ	ค่ามัมสัมพัทธ์(องศา)							
	ด้านซ้าย				ด้านขวา			
	ครั้งที่				ครั้งที่			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
W8930	35.5	36.5	34.5	35.5	35.5	38	33	35.5
NN238307	44.5	42	43	43.2	39	41	41.5	40.5
Water	81	78.5	81.5	80.33	80.5	81.5	83.5	81.83
Diiodomethane	44	44.5	43	43.83	46	46	46	46

ภาคผนวก ค
ตารางการวัดค่า pH

ตารางการวัดค่า pH ด้วย Universal indicator paper pH1-14

รายการ	ค่า pH ที่วัดได้	หมายเหตุ
W8930	6-7	หยดลงบนกระดาษ
NN238307	7	หยดลงบนกระดาษ
ATH 5% w/w	3	หยดลงบนกระดาษ
PVA (0.25g:200ml)	7-8	หยดลงบนกระดาษ

ตารางการวัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter

รายการ	ค่า pH ที่วัดได้	หมายเหตุ (วัดด้วยpH meter)
น้ำกรองชั้น 1	7.6	ทดสอบในห้องขึ้นแผ่น
Dye + น้ำกรอง	7	ATH 0.0536 g + water 100 ml. = Dye solution
W8930 + Dye solution	8.6	30:30 (ml.)
NN238307 + Dye solution	8.6-8.4	40:40 (ml.)

ภาคผนวก ง

ตารางแสดงค่าอัตราส่วนที่คำนวณได้จาก Mixture Design ที่ปริมาตรสุทธิ 40 มิลลิลิตร

สูตร	สารละลายสีย้อม (ml)	PVA (กรัม)	น้ำ (ml)
1	0.80	3.49	39.20
2	3.48	4.28	36.52
3	2.17	3.87	37.83
4	9.09	3.96	30.91
5	2.31	4.84	37.69
6	6.80	4.41	33.20
7	7.11	4.15	32.89
8	6.80	4.41	33.20

ภาคผนวก จ

ตารางการวัดค่าความหนืด

ตารางการวัดค่าความหนืดด้วย Zahn Cup

สูตร	Zahn Cup no.	เวลาที่ของไหลขาดสาย (วินาที)				Viscosity	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	(cSt)	S.D. เวลา
1	3.00	29.69	26.70	27.60	28.00	239.81	1.53
2	4.00	43.94	43.70	44.35	44.00	577.15	0.33
3	3.00	37.54	37.91	37.17	37.54	351.47	0.37
4	4.00	36.27	35.98	34.13	35.46	450.81	1.16
7	4.00	42.19	39.62	42.90	41.57	541.24	1.73
8	4.00	54.60	51.79	53.14	53.18	713.01	1.41
NN238307	3.00	19.53	19.39	19.75	19.56	141.06	0.18
W8930	3.00	23.65	22.54	21.46	22.55	176.09	1.10

ตารางการวัดค่าความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer

สูตร	ค่าที่อ่านได้				ความเร็วเครื่อง	Factor	Viscosity (centipoise)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย			
5	2	2.25	2.5	2.25	50	800	1800.0
6	6.6	6.4	6.55	6.52	100	400	2606.7

ภาคผนวก จ

รูปผลการเคลือบหมึกด้วย K-bar เบอร์ต่าง ๆ บนฟิล์ม

K-bar เบอร์ 1



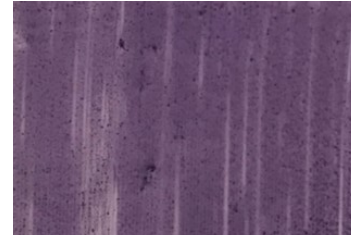
K-bar เบอร์ 2



K-bar เบอร์ 3



K-bar เบอร์ 4



ภาคผนวก ข

ตารางการวัดค่า L* a* b* ในการหาความเข้มข้นแอลกอฮอล์ที่หมักประมาณ 0-180 นาที

ความ สูงชั้น (mm)	0 นาที						30 นาที						60 นาที					
	SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0.5	65.2	16.3	-5.96	59	18.7	-6.79	66.7	13.4	-5.04	60.8	15.3	-5.73	66.8	12.1	-5.04	61	13.8	-5.7
1	65.72	12.58	-5.69	59.73	14.38	-6.43	65.73	-0.51	-2.97	59.62	-0.64	-3.31	64.9	-1.05	-2.7	58.7	-1.29	-3.08
5	64.79	14.12	-5.91	58.64	16.21	-6.77	64.89	-3.56	-3.58	58.83	-4.21	-4.10	65.6	-1.71	-2.72	59.6	-2.05	-3.08
10	64.08	11.85	-5.94	58.47	13.34	-6.97	64.81	-4.30	-4.36	59.06	-5.06	-5.10	62.56	-4.51	-3.99	56.40	-5.40	-4.81

ความ สูงชั้น (mm)	90 นาที						120 นาที						150 นาที						180 นาที						
	SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN				
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*				
0.5	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	72.6	65.2	10.2	-4.82	59.39	11.69	-5.45
1	68.85	-1.21	-2.07	62.98	-1.51	-2.41	71.50	-1.17	-1.70	65.78	-1.42	-1.87	70.07	-1.15	-1.54	64.34	-1.38	-1.75	71.24	-1.18	-1.43	65.47	-1.42	-1.66	
5	63.74	-3.91	-3.41	57.36	-4.67	-3.93	70.50	-2.60	-2.12	64.99	-3.06	-2.33	67.96	-3.20	-2.79	62.11	-3.73	-3.26	70.65	-2.66	-1.97	65.07	-3.08	-2.18	
10	63.60	-4.53	-3.38	57.13	-5.37	-4.03	62.17	-4.14	-2.46	55.86	-5.01	-3.01	68.28	-2.80	-1.17	62.95	-3.26	-1.33	69.63	-2.54	-0.89	64.29	-2.92	-1.02	

ภาคผนวก ข

ตารางค่าความต่างสีในการหาความเข้มเชิงมุมที่มีหน่วยที่เหมาะสมตั้งแต่ 0 – 180 นาที

ความ เข้มสี (mM)	30 นาที									60 นาที									90 นาที								
	SPIN			SPEX			SPIN			SPEX			SPIN			SPEX			SPIN			SPEX					
	da*	db*	dh*	de	da*	db*	dh*	de	da*	db*	dh*	de	da*	db*	dh*	de	da*	db*	dh*	de	da*	db*	dh*	de			
0.5	2.84	-0.92	0.13	3.31	3.36	-1.06	0.17	4.00	4.13	-0.92	0.64	4.51	4.84	-1.09	0.73	5.36	9.72	-3.01	0.81	12.56	11.35	-3.63	0.74	14.56			
1	13.09	-2.72	7.89	13.37	15.02	-3.12	9.06	15.34	13.63	-2.99	8.70	13.98	15.67	-3.35	10.13	16.06	13.79	-3.62	8.55	14.60	15.89	-4.02	10.10	16.71			
5	17.68	-2.33	14.59	17.83	20.42	-2.67	16.95	20.59	15.83	-3.19	10.70	16.17	18.26	-3.69	12.44	18.65	18.03	-2.50	15.13	18.23	20.88	-2.84	17.68	21.11			
10	16.15	-1.58	14.58	16.24	18.40	-1.87	16.74	18.50	16.36	-1.95	14.80	16.55	18.74	-2.16	17.17	18.98	16.38	-2.56	14.73	16.59	18.71	-2.94	17.01	18.99			
120 นาที																											
150 นาที																											
180 นาที																											
0.5	8.23	-2.24	1.02	9.96	9.83	-2.79	1.05	12.1	6.70	-1.25	1.45	7.01	7.81	-1.51	1.60	8.31	6.05	-1.14	1.26	6.16	6.99	-1.34	1.40	7.13			
1	13.75	-3.99	8.19	15.44	15.80	-4.56	9.53	17.52	13.73	-4.15	8.03	14.99	15.76	-4.68	9.35	17.07	13.76	-4.26	8.04	15.43	15.80	-4.77	9.40	17.47			
5	16.72	-3.79	12.29	18.07	19.27	-4.44	14.24	20.77	17.32	-3.12	13.69	17.88	19.94	-3.51	15.84	20.54	16.78	-3.94	12.38	18.21	19.29	-4.59	14.24	20.85			
10	15.99	-3.48	14.02	16.48	18.35	-3.96	16.36	18.95	14.65	-4.77	11.53	15.97	16.60	-5.64	13.21	18.10	14.39	-5.05	11.00	16.23	16.26	-5.95	12.52	18.27			

ภาคผนวก ฅ

ตารางการวัดค่า L*a*b* ของสารเคลือบกระดาษ (กระดาษทรงเบอร์ 1) ตั้งแต่เวลา 0 - 240 นาที

สูตร	0 นาที						30 นาที						60 นาที					
	SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*			
1	82.21	3.31	-1.73	78.09	3.58	-1.67	80.92	1.86	-0.71	76.66	2.01	-0.59	81.32	1.18	-0.38	76.98	1.28	-0.26
2	70.78	11.15	-4.86	65.48	12.51	-5.23	70.20	6.89	-3.43	64.55	7.81	-3.63	70.22	5.71	-2.98	64.91	6.43	-3.12
3	77.43	6.15	-3.04	72.84	6.74	-3.15	76.84	3.31	-1.72	72.36	3.60	-1.71	77.97	2.05	-0.78	73.23	2.18	-0.59
4	61.29	19.25	-6.11	54.51	22.60	-6.96	61.46	16.49	-5.21	55.25	19.08	-6.00	64.83	12.62	-4.14	59.01	14.44	-4.70
5	74.77	7.44	-3.66	69.89	8.22	-3.86	74.64	3.98	-2.20	69.81	4.41	-2.25	76.94	3.00	-1.98	72.09	3.29	-2.08
6	80.34	3.44	-1.79	76.16	3.74	-1.73	79.88	1.12	-0.70	75.24	1.24	-0.54	80.19	1.12	-0.55	75.81	1.19	-0.44
7	67.90	14.31	-5.78	61.93	16.36	-6.36	71.28	8.88	-3.41	65.50	10.15	-3.70	71.55	8.48	-3.25	66.00	9.59	-3.44
8	67.19	16.67	-6.58	61.13	19.09	-7.25	67.84	13.66	-5.30	61.91	15.55	-5.85	70.90	9.71	-3.44	65.44	10.99	-3.71

ตารางการวัดค่า L*a*b* ของสารเคลือบกระดาษ (กระดาษทรงเบอร์ 1) ช่วงเวลา 0 - 240 นาที (ต่อ)

สูตร	90 นาที						120 นาที						150 นาที					
	SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*			
1	80.60	1.28	-0.29	76.31	1.38	-0.20	81.83	0.93	-0.18	77.40	0.97	-0.16	81.40	0.96	-0.23	76.93	1.02	-0.19
2	73.22	4.03	-2.10	67.96	4.43	-2.20	72.43	4.92	-2.68	66.87	5.57	-2.84	71.46	5.89	-3.07	65.74	6.47	-3.23
3	75.90	2.44	-1.11	70.97	2.69	-1.06	76.64	2.23	-1.16	71.77	2.44	-1.14	76.89	1.86	-0.74	71.98	2.04	-0.56
4	62.53	13.66	-5.21	56.58	15.69	-5.97	61.38	13.93	-5.67	55.40	16.06	-6.70	61.55	13.20	-5.73	55.31	15.36	-6.77
5	76.73	2.14	-1.47	71.75	2.32	-1.66	77.81	2.28	-1.28	72.85	2.58	-1.29	77.40	1.86	-0.96	72.41	2.04	-0.84
6	80.63	1.07	-0.13	76.22	1.20	0.04	80.56	0.86	-0.47	76.24	0.90	-0.42	79.29	0.79	-0.35	74.89	0.83	-0.27
7	72.54	7.93	-3.44	67.09	8.98	-3.71	72.26	7.86	-3.54	66.66	8.90	-3.83	73.06	7.11	-3.38	67.61	7.98	-3.68
8	71.52	8.89	-3.63	66.10	9.94	-3.99	72.51	8.69	-3.78	66.77	9.73	-4.09	71.81	7.72	-3.45	66.18	8.67	-3.75

ตารางการวัดค่า L*a*b* ของสารเคลือบกระดาษ (กระดาษทรงเบอร์ 1) ตั้งแต่เวลา 0 - 240 นาที (ต่อ)

สูตร	180 นาที						210 นาที						240 นาที					
	SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*			
1	82.15	0.95	-0.44	77.83	1.01	-0.41	81.37	0.93	-0.39	77.44	0.97	-0.36	80.70	1.01	-0.42	76.93	1.05	-0.45
2	69.87	4.98	-2.83	64.25	5.64	-3.00	74.18	3.47	-1.77	69.13	3.88	-1.78	75.69	3.43	-2.02	70.53	3.76	-2.04
3	78.18	1.49	-0.79	73.23	1.60	-0.65	77.22	1.54	-1.15	72.22	1.67	-1.09	77.55	1.52	-0.71	72.67	1.68	-0.64
4	62.37	13.00	-6.02	56.03	15.11	-7.11	68.99	8.08	-3.95	62.99	9.14	-4.38	69.35	8.06	-3.84	63.51	9.16	-4.27
5	76.16	1.61	-0.93	71.14	1.76	-0.91	77.66	1.62	-1.13	72.74	1.82	-1.13	78.21	1.45	-1.11	73.29	1.60	-1.10
6	81.23	0.65	-0.32	76.64	0.70	-0.17	80.85	0.38	-0.19	76.30	0.36	-0.09	81.49	0.40	-0.12	77.00	0.36	0.03
7	73.52	6.77	-3.41	68.02	7.54	-3.65	73.21	6.89	-3.56	67.74	7.76	-3.86	71.85	6.68	-3.72	66.31	7.52	-4.05
8	72.54	7.26	-3.31	67.06	8.17	-3.61	72.96	7.08	-3.28	67.44	7.95	-3.52	73.29	6.85	-3.40	67.84	7.67	-3.67

ภาคผนวก ญ

ตารางการวัดค่า L*a*b* ของสารเคลือบกระดาษ (กระดาษทรงเบอร์ 4) ตั้งแต่เวลา 0 - 240 นาที

สูตร	0 นาที						30 นาที						60 นาที					
	SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*			
1	81.25	3.83	-2.16	77.34	4.10	-2.20	79.11	1.87	-0.97	74.92	2.01	-0.90	81.94	0.96	-0.85	78.04	1.01	-0.81
2	68.73	12.73	-5.31	63.05	14.43	-5.76	68.55	7.70	-3.92	62.93	8.75	-4.22	69.58	6.92	-3.59	63.99	7.83	-3.81
3	76.45	7.74	-3.94	71.93	8.47	-4.19	77.14	4.04	-2.48	72.73	4.41	-2.62	77.24	2.94	-1.54	72.53	3.23	-1.65
4	58.58	19.90	-5.75	51.32	23.81	-6.73	57.87	17.98	-4.88	50.28	21.78	-5.72	60.71	16.64	-4.96	53.35	19.89	-5.80
5	73.72	8.11	-3.92	68.69	8.98	-4.14	74.22	5.60	-2.79	69.19	6.23	-2.88	75.75	4.88	-2.64	70.88	5.40	-2.75
6	79.47	4.02	-1.99	75.04	4.39	-1.94	80.08	0.74	-0.35	75.30	0.78	-0.20	80.55	0.52	-0.61	75.80	0.52	-0.49
7	65.06	15.67	-6.11	58.75	18.12	-6.77	66.36	12.04	-4.46	60.01	13.87	-4.87	69.59	9.05	-3.42	63.69	10.42	-3.68
8	64.62	17.28	-6.58	58.31	19.97	-7.42	65.65	14.54	-5.65	59.51	16.69	-6.33	70.36	9.58	-3.39	64.68	10.91	-3.59
carrot	64.02	22.21	-2.74	57.73	25.60	-3.01	63.96	22.07	-1.53	57.68	25.43	-1.66	69.90	14.01	-0.74	63.88	16.05	-0.73

ตารางการวัดค่า L*a*b* ของสารเคลือบกระดาษ (กระดาษทรงเบอร์ 4) ตั้งแต่เวลา 0 - 240 นาที (ต่อ)

สูตร	90 นาที						120 นาที						150 นาที					
	SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*			
1	80.03	0.96	-0.46	75.61	1.02	-0.37	81.53	0.81	-0.26	77.15	0.85	-0.19	81.57	0.83	-0.23	77.34	0.88	-0.15
2	71.46	6.03	-3.04	66.10	6.80	-3.25	69.34	6.52	-3.54	63.71	7.38	-3.86	69.92	6.18	-3.37	64.26	6.97	-3.61
3	77.22	3.18	-2.00	72.88	3.45	-2.23	77.47	2.83	-1.95	73.08	3.07	-2.16	75.70	2.59	-1.75	70.92	2.84	-1.85
4	59.40	16.19	-5.01	51.96	19.51	-5.88	59.26	15.07	-4.91	51.61	18.26	-5.84	61.02	12.88	-4.47	53.83	15.39	-5.30
5	76.17	3.61	-1.90	71.03	3.99	-2.00	76.88	2.96	-1.42	71.73	3.25	-1.43	76.95	2.60	-1.54	71.88	2.91	-1.64
6	79.61	0.38	-0.43	74.84	0.36	-0.31	80.05	0.27	-0.36	75.40	0.23	-0.24	78.94	0.17	-0.32	74.16	0.16	-0.18
7	70.35	8.19	-3.61	64.59	9.26	-3.97	71.07	7.71	-3.28	65.32	8.80	-3.62	70.70	7.26	-3.25	64.99	8.22	-3.57
8	70.59	9.07	-3.57	64.97	10.30	-3.97	70.91	8.93	-3.74	65.22	10.06	-4.20	70.86	8.06	-3.42	65.23	9.14	-3.78
carrot	70.13	13.83	-0.75	64.26	15.79	-0.74	69.57	14.43	-1.03	63.52	16.46	-1.03	70.25	12.81	-0.79	64.36	14.64	-0.77

ตารางการวัดค่า L*a*b* ของสารเคลือบกระดาษ (กระดาษทรงเบอร์ 4) ตั้งแต่เวลา 0 - 240 นาที (ต่อ)

สูตร	180 นาที						210 นาที						240 นาที					
	SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*			
1	81.57	0.73	-0.61	77.34	0.77	-0.59	80.56	0.73	-0.25	76.44	0.76	-0.21	80.67	0.74	-0.27	76.37	0.75	-0.29
2	68.56	5.78	-3.39	62.77	6.58	-3.70	73.32	3.99	-2.28	68.01	4.42	-2.42	73.63	3.84	-2.23	68.33	4.25	-2.33
3	76.70	2.14	-1.65	71.91	2.34	-1.78	75.20	2.43	-1.77	70.44	2.66	-1.87	79.23	2.10	-1.55	74.53	2.27	-1.64
4	57.27	14.24	-5.40	49.46	17.41	-6.49	66.77	8.72	-3.10	60.31	10.10	-3.41	67.70	8.49	-3.27	61.43	9.80	-3.73
5	75.47	2.47	-1.52	70.28	2.71	-1.52	77.03	1.75	-1.19	71.91	1.89	-1.18	76.96	1.76	-1.15	71.88	1.97	-1.16
6	79.76	0.35	-0.34	74.91	0.36	-0.26	79.28	0.13	-0.40	74.39	0.10	-0.31	80.61	0.24	-0.36	75.84	0.23	-0.24
7	70.88	6.75	-2.98	65.12	7.67	-3.23	72.26	6.43	-3.23	66.68	7.25	-3.49	71.41	6.03	-3.24	65.66	6.81	-3.50
8	71.01	7.76	-3.37	65.37	8.77	-3.67	71.65	7.29	-3.27	66.01	8.26	-3.59	71.81	7.32	-3.43	66.20	8.28	-3.73
carrot	69.43	13.28	-1.03	63.39	15.20	-1.01	69.49	12.71	-0.97	63.43	14.49	-0.91	69.90	12.74	-1.00	63.96	14.55	-0.97

ภาคผนวก กู

ตารางค่าความต่างสีของดาวเคทีของกระจุกดาว (กระจุกดาวทรงกลมเบอร์ 1) ตั้งแต่วันที่ 0 - 240 นาที

ฤกษ์	30 นาที									60 นาที									90 นาที								
	SPIN			SPEX			SPIN			SPEX			SPIN			SPEX			SPIN			SPEX					
	da*	db*	dh*	dE	da*	db*	dh*	dE	da*	db*	dh*	dE	da*	db*	dh*	dE	da*	db*	dh*	dE	da*	db*	dh*	dE			
1	1.45	-1.02	0.32	2.19	1.57	-1.08	0.43	2.38	2.13	-1.35	0.37	2.67	2.30	-1.41	0.54	2.92	1.45	-1.02	0.32	2.19	1.57	-1.08	0.43	2.38			
2	4.26	-1.43	0.49	4.53	4.70	-1.60	0.42	5.05	5.44	-1.88	0.62	5.78	6.08	-2.11	0.55	6.46	4.26	-1.43	0.49	4.53	4.70	-1.60	0.42	5.05			
3	2.84	-1.32	0.10	3.19	3.14	-1.44	0.03	3.49	4.10	-2.26	0.37	4.71	4.56	-2.56	0.71	5.24	2.84	-1.32	0.10	3.19	3.14	-1.44	0.03	3.49			
4	2.76	-0.90	0.02	2.91	3.52	-0.96	0.13	3.72	6.63	-1.97	0.16	7.77	8.16	-2.26	0.30	9.59	2.76	-0.90	0.02	2.91	3.52	-0.96	0.13	3.72			
5	3.46	-1.46	0.29	3.76	3.81	-1.61	0.22	4.14	4.44	-1.68	0.69	5.22	4.93	-1.78	0.74	5.68	3.46	-1.46	0.29	3.76	3.81	-1.61	0.22	4.14			
6	2.32	-1.09	0.18	2.60	2.50	-1.19	0.05	2.92	2.32	-1.24	0.05	2.63	2.55	-1.29	0.18	2.88	2.32	-1.09	0.18	2.60	2.50	-1.19	0.05	2.92			
7	5.43	-2.37	0.21	6.82	6.21	-2.66	0.29	7.64	5.83	-2.53	0.21	7.33	6.77	-2.92	0.35	8.42	5.43	-2.37	0.21	6.82	6.21	-2.66	0.29	7.64			
8	5.84	-1.45	0.90	6.16	6.70	-1.67	1.01	7.08	9.98	-2.23	2.34	10.37	11.42	-2.63	2.54	11.91	5.84	-1.45	0.90	6.16	6.70	-1.67	1.01	7.08			

ตารางค่าความถี่ของสารเคลือบกระดาษ (กระดาษกรองเบอร์ 1) ตั้งแต่เวลา 0 - 240 นาที (ต่อ)

สูตร	120 นาที												150 นาที												180 นาที											
	SPIN				SPEX				SPIN				SPEX				SPIN				SPEX															
	da*	db*	dh*	de	da*	db*	dh*	de	da*	db*	dh*	de	da*	db*	dh*	de	da*	db*	dh*	de	da*	db*	dh*	de												
1	2.38	-1.55	0.54	2.87	2.61	-1.51	0.54	3.09	2.35	-1.50	0.47	2.90	2.56	-1.48	0.51	3.18	2.36	-1.29	0.09	2.69	2.57	-1.26	0.11	2.87												
2	6.23	-2.18	0.72	6.80	6.94	-2.39	0.70	7.47	5.26	-1.79	0.62	5.60	6.04	-2.00	0.66	6.37	6.17	-2.03	0.88	6.56	6.87	-2.23	0.86	7.33												
3	3.92	-1.88	0.09	4.42	4.30	-2.01	0.00	4.87	4.29	-2.30	0.30	4.90	4.70	-2.59	0.67	5.43	4.66	-2.25	0.10	5.23	5.14	-2.50	0.18	5.73												
4	5.32	-0.44	1.38	5.34	6.54	-0.26	1.96	6.61	6.05	-0.38	1.74	6.07	7.24	-0.19	2.32	7.29	6.25	-0.09	2.15	6.34	7.49	0.15	2.80	7.64												
5	5.16	-2.38	0.25	6.44	5.64	-2.57	0.13	6.87	5.58	-2.70	0.08	6.73	6.18	-3.02	0.22	7.33	5.83	-2.73	0.26	6.59	6.46	-2.95	0.16	7.21												
6	2.58	-1.32	0.04	2.91	2.84	-1.31	0.01	3.13	2.65	-1.44	0.11	3.19	2.91	-1.46	0.23	3.49	2.79	-1.47	0.04	3.28	3.04	-1.56	0.34	3.45												
7	6.45	-2.24	0.45	8.10	7.46	-2.53	0.46	9.19	7.20	-2.40	0.66	9.18	8.38	-2.68	0.76	10.47	7.54	-2.37	0.89	9.70	8.82	-2.71	0.97	11.06												
8	7.98	-2.80	0.45	9.99	9.36	-3.16	0.51	11.38	8.95	-3.13	0.55	10.55	10.42	-3.50	0.63	12.10	9.41	-3.27	0.62	11.31	10.92	-3.64	0.72	12.95												

ตารางค่าความถี่เชิงของสารเคลือบกระดาษ (กระดาษกรองเบอร์ 1) ช่วงเวลา 0 - 240 นาที (ต่อ)

สูตร	210 นาที						240 นาที									
	SPIN			SPEX			SPIN			SPEX						
	da*	db*	dh*	DE	da*	db*	dh*	DE	da*	db*	dh*	DE				
1	2.38	-1.34	0.16	2.86	2.61	-1.31	0.16	2.99	2.30	-1.31	0.18	3.05	2.53	-1.22	0.07	3.04
2	7.68	-3.09	0.42	8.95	8.63	-3.45	0.26	9.99	7.72	-2.84	0.84	9.58	8.75	-3.19	0.77	10.59
3	4.61	-1.89	0.66	4.99	5.07	-2.06	0.54	5.51	4.63	-2.33	0.07	5.18	5.06	-2.51	0.27	5.65
4	11.17	-2.16	1.98	13.74	13.46	-2.58	2.29	16.12	11.19	-2.27	1.84	13.98	13.44	-2.69	2.12	16.40
5	5.82	-2.53	0.61	6.97	6.40	-2.73	0.51	7.52	5.99	-2.55	0.76	7.36	6.62	-2.76	0.68	7.94
6	3.06	-1.60	0.02	3.49	3.38	-1.64	0.23	3.76	3.04	-1.67	0.24	3.65	3.38	-1.76	0.62	3.90
7	7.42	-2.22	1.02	9.39	8.60	-2.50	1.12	10.68	7.63	-2.06	1.35	8.84	8.84	-2.31	1.51	10.13
8	9.59	-3.30	0.68	11.67	11.14	-3.73	0.72	13.34	9.82	-3.18	0.99	11.99	11.42	-3.58	1.10	13.72

ภาคผนวก ๓

ตารางค่าความถี่สัมพัทธ์ของสารเคลือบกระดาษ (กระดาษกรองเบอร์ 4) ตั้งแต่เวลา 0 - 240 นาที

สูตร	30 นาที												60 นาที												90 นาที											
	SPIN				SPEX				SPIN				SPEX				SPIN				SPEX															
	da*	db*	dh*	dE	da*	db*	dh*	dE	da*	db*	dh*	dE	da*	db*	dh*	dE	da*	db*	dh*	dE	da*	db*	dh*	dE												
1	1.96	-1.19	0.11	3.14	2.09	-1.30	0.23	3.45	2.87	-1.31	0.50	3.23	3.09	-1.39	0.45	3.46	2.87	-1.70	0.14	3.55	3.08	-1.83	0.32	3.98												
2	5.03	-1.39	0.83	5.22	5.68	-1.54	0.85	5.89	5.81	-1.72	0.86	6.12	6.60	-1.95	0.85	6.95	6.70	-2.27	0.69	7.58	7.63	-2.51	0.71	8.59												
3	3.70	-1.46	0.51	4.04	4.06	-1.57	0.53	4.43	4.80	-2.40	0.06	5.42	5.24	-2.54	0.08	5.85	4.56	-1.94	0.52	5.01	5.02	-1.96	0.71	5.47												
4	1.92	-0.87	0.32	2.22	2.03	-1.01	0.44	2.49	3.26	-0.79	0.16	3.97	3.92	-0.93	0.19	4.51	3.71	-0.74	0.35	3.87	4.30	-0.85	0.39	4.43												
5	2.51	-1.13	0.09	2.80	2.75	-1.26	0.01	3.07	3.23	-1.28	0.32	4.02	3.58	-1.39	0.30	4.42	4.50	-2.02	0.21	5.51	4.99	-2.14	0.22	5.91												
6	3.28	-1.64	0.03	3.72	3.61	-1.74	0.32	4.02	3.50	-1.38	0.76	3.91	3.87	-1.45	0.63	4.20	3.64	-1.56	0.62	3.96	4.03	-1.63	0.44	4.35												
7	3.63	-1.65	0.25	4.19	4.25	-1.90	0.34	4.82	6.62	-2.69	0.13	8.46	7.70	-3.09	0.26	9.66	7.48	-2.50	0.53	9.50	8.86	-2.80	0.66	10.97												
8	2.74	-0.93	0.12	3.07	3.28	-1.09	0.13	3.66	7.70	-3.19	0.33	10.12	9.06	-3.83	0.59	11.72	8.21	-3.01	0.15	10.59	9.67	-3.45	0.19	12.24												
carrot	0.14	-1.21	1.19	1.22	0.17	-1.35	1.33	1.36	8.20	-2.00	1.24	10.29	9.55	-2.28	1.46	11.59	8.38	-1.99	1.21	10.56	9.81	-2.27	1.42	12.00												

ตารางค่าความถี่ของสารเคลือบกระดาษ (กระดาษกรองเบอร์ 4) ตั้งแต่เวลา 0 - 240 นาที (ต่อ)

สูตร	120 นาที										150 นาที										180 นาที																																																																																																																																																																																																			
	SPIN					SPEX					SPIN					SPEX					SPIN					SPEX																																																																																																																																																																																														
	da*	db*	dh*	dE	dE	da*	db*	dh*	dE	dE	da*	db*	dh*	dE	dE	da*	db*	dh*	dE	dE	da*	db*	dh*	dE	dE	da*	db*	dh*	dE	dE																																																																																																																																																																																										
1	3.02	-1.90	0.39	3.58	3.25	-2.01	0.55	3.83	3.00	-1.93	0.47	3.58	3.22	-2.05	0.66	3.82	3.10	-1.55	0.37	3.48	3.33	-1.61	0.34	3.70	6.21	-1.77	1.03	6.49	7.05	-1.90	1.16	7.33	6.55	-1.94	1.02	6.93	7.46	-2.15	1.08	7.86	6.95	-1.92	1.30	7.21	7.85	-2.06	1.43	8.12	4.91	-1.99	0.72	5.40	5.40	-2.03	0.91	5.88	5.15	-2.19	0.64	5.65	5.63	-2.34	0.67	6.18	5.60	-2.29	0.90	6.06	6.13	-2.41	1.00	6.59	4.83	-0.84	0.61	4.95	5.55	-0.89	0.74	5.63	7.02	-1.28	0.89	7.54	8.42	-1.43	1.13	8.90	5.66	-0.35	1.44	5.82	6.40	-0.24	1.74	6.67	5.15	-2.50	0.02	6.54	5.73	-2.71	0.10	7.03	5.51	-2.38	0.44	6.82	6.07	-2.50	0.47	7.30	5.64	-2.40	0.52	6.37	6.27	-2.62	0.44	6.98	3.75	-1.63	0.66	4.13	4.16	-1.70	0.49	4.51	3.85	-1.67	0.78	4.23	4.23	-1.76	0.46	4.67	3.67	-1.65	0.46	4.03	4.03	-1.68	0.31	4.37	7.96	-2.83	0.36	10.37	9.32	-3.15	0.44	11.83	8.41	-2.86	0.57	10.52	9.90	-3.20	0.69	12.13	8.92	-3.13	0.49	11.10	10.45	-3.54	0.52	12.74	8.35	-2.84	0.44	10.83	9.91	-3.22	0.61	12.50	9.22	-3.16	0.48	11.57	10.83	-3.64	0.53	13.36	9.52	-3.21	0.57	11.91	11.20	-3.75	0.58	13.76	7.78	-1.71	0.93	9.71	9.14	-1.98	1.12	11.00	9.40	-1.95	1.04	11.44	10.96	-2.24	1.25	13.00	8.93	-1.71	0.78	10.58	10.40	-2.00	1.00	12.01

ตารางค่าความต่างสีของสารเคลือบกระจกตาม (กระจกภายในรถยนต์ 4) ช่วงเวลา 0 - 240 นาที (ต่อ)

สูตร	210 นาที									240 นาที								
	SPIN			SPEX			SPIN			SPEX			SPIN			SPEX		
	da*	db*	dh*	DE	da*	db*	dh*	DE	da*	db*	dh*	DE	da*	db*	dh*	DE		
1	3.10	-1.91	0.34	3.71	3.34	-1.99	0.43	3.99	3.09	-1.89	0.30	3.67	3.35	-1.91	0.24	3.98		
2	8.74	-3.03	0.99	10.33	10.01	-3.34	1.07	11.66	8.89	-3.08	1.02	10.61	10.18	-3.43	1.06	11.97		
3	5.31	-2.17	0.81	5.87	5.81	-2.32	0.85	6.43	5.64	-2.39	0.78	6.73	6.20	-2.55	0.85	7.19		
4	11.18	-2.65	0.83	14.11	13.71	-3.32	0.81	16.73	11.41	-2.48	1.19	14.82	14.01	-3.00	1.42	17.54		
5	6.36	-2.73	0.64	7.67	7.09	-2.96	0.59	8.33	6.35	-2.77	0.56	7.65	7.01	-2.98	0.48	8.26		
6	3.89	-1.59	1.07	4.21	4.29	-1.63	1.02	4.64	3.78	-1.63	0.72	4.27	4.16	-1.70	0.49	4.56		
7	9.24	-2.88	1.03	12.06	10.87	-3.28	1.14	13.85	9.64	-2.87	1.30	11.89	11.31	-3.27	1.43	13.65		
8	9.99	-3.31	0.70	12.66	11.71	-3.83	0.75	14.53	9.96	-3.15	0.91	12.68	11.69	-3.69	0.94	14.58		
control	9.50	-1.77	0.79	11.10	11.11	-2.10	1.05	12.66	9.47	-1.74	0.75	11.28	11.05	-2.04	0.98	12.85		

ภาคผนวก ก

ตารางการวัดค่า L*a*b* ของหมึกพิมพ์ชนิดสีถ้ำตาม PET ตั้งแต่วันที่ 0 - 240 นาที

สูตร	0 นาที						30 นาที						60 นาที					
	SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*			
W-8	90 นาที																	
	SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*			
NN-5	90 นาที																	
	SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*			
W-8	120 นาที																	
	SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*			
NN-5	120 นาที																	
	SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*			
W-8	150 นาที																	
	SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*			
NN-5	150 นาที																	
	SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*			
W-8	180 นาที																	
	SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*			
NN-5	180 นาที																	
	SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*			
W-8	210 นาที																	
	SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*			
NN-5	210 นาที																	
	SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*			
W-8	240 นาที																	
	SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*			
NN-5	240 นาที																	
	SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX		SPIN		SPEX			
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*			

ภาคผนวก ๓

ตารางค่าความถี่ของหมึกพิมพ์บนฟิล์มด้าน PET ตั้งแต่อายุ 0 - 240 นาที

		30 นาที						60 นาที								
สูตร	SPIN	SPEX			SPIN	SPEX			SPIN	SPEX						
		da*	db*	dh*		de	da*	db*		dh*	de	da*	db*	dh*	de	
W-8	0.81	-3.29	1.27	4.86	0.95	-3.42	1.21	5.01	0.85	-2.62	0.82	4.97	0.94	-2.95	0.93	4.94
NN-5	1.64	0.33	1.37	3.07	1.96	0.42	1.65	3.49	2.06	-0.41	1.11	4.45	2.39	-0.46	1.29	4.73
90 นาที																
120 นาที																
สูตร	SPIN	SPEX			SPIN	SPEX			SPIN	SPEX						
		da*	db*	dh*		de	da*	db*		dh*	de	da*	db*	dh*	de	
W-8	0.05	-2.51	1.44	4.11	0.08	-2.76	1.55	4.19	0.06	-4.08	2.44	4.46	0.12	-4.41	2.58	4.78
NN-5	1.01	-0.98	0.06	1.99	1.05	-1.06	0.10	1.85	2.02	-2.73	0.76	3.45	2.04	-2.91	0.90	3.55

ตารางค่าความถี่ของหมึกพิมพ์ชนิดต้น PET ตั้งแต่วันที่ 0 - 240 นาที (ต่อ)





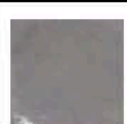
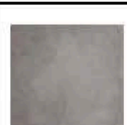
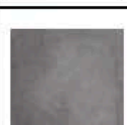

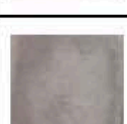





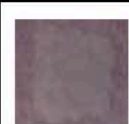




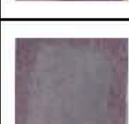






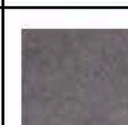
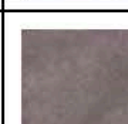
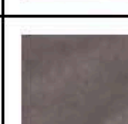
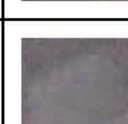




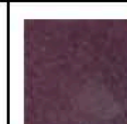
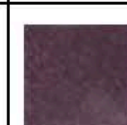



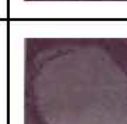
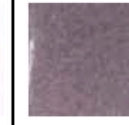



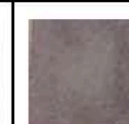

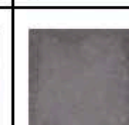

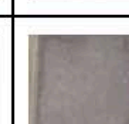







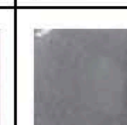

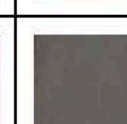
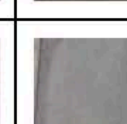




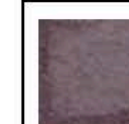





		150 นาที						180 นาที									
สูตร	SPIN	SPEX			SPIN	SPEX			SPIN	SPEX							
		da*	db*	dh*		DE	da*	db*		dh*	DE	da*	db*	dh*	DE		
W-8	0.48	-3.64	1.79	3.84	0.25	-3.69	1.99	3.70	0.71	-4.65	2.26	4.84	0.67	-5.06	2.53	5.14	
NN-5	2.15	-3.56	1.37	4.80	1.97	-3.68	1.59	5.47	4.26	-3.08	0.60	5.26	4.55	-3.42	0.51	5.72	
210 นาที																	
240 นาที																	
สูตร	SPIN	SPEX			SPIN	SPEX			SPIN	SPEX							
		da*	db*	dh*		DE	da*	db*		dh*	DE	da*	db*	dh*	DE		
W-8	1.12	-4.68	1.91	5.16	1.94	-6.05	2.06	8.05	0.65	-4.21	2.01	4.42	0.68	-4.42	2.09	4.58	
NN-5	1.74	-3.44	1.55	4.93	1.92	-3.48	1.46	5.22	2.31	-2.98	0.76	3.79	2.54	-3.21	0.80	4.10	

ภาคผนวก ท


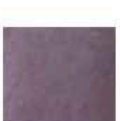




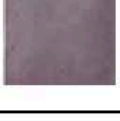












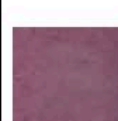







รูปผลการเปลี่ยนแปลงสีของสารเคลือบกระดาษ ตั้งแต่เวลา 0 – 240 นาที

กระดาษ	ความเข้มข้น NH3	สูตร	เวลาในการทดลอง (นาที)										
			Standard	0	30	60	90	120	150	180	210	240	
กระดาษ กรอง เบอร์ 1	0.5 ppm ปริมาตร 10ml	1											
		2											
		3											
		4											
		5											
		6											
		7											

รูปผลการเปลี่ยนแปลงสีของสารเคลือบกระดาษ ตั้งแต่เวลา 0 – 240 นาที (ต่อ)

กระดาษ	ความเข้มข้น NH ₃	สูตร	เวลาในการทดลอง (นาที)									
			Standard	0	30	60	90	120	150	180	210	240
กระดาษ กรอง เบอร์ 4	0.5 mM ปริมาตร 10ml	1										
		2										
		3										
		4										
		5										
		6										
		7										

รูปผลการเปลี่ยนแปลงสีของสารเคลือบกระดาษ ตั้งแต่เวลา 0 – 240 นาที (ต่อ)

กระดาษ	สูตร	เวลาในการทดลอง (นาที)									
		Standard	30	60	90	120	150	180	210	240	
กระดาษกรองเบอร์ 1	8 (Mixture design)										
กระดาษกรองเบอร์ 4	8 (Mixture design)										
กระดาษกรองเบอร์ 4	4 (Dye Carrot)										

ภาคผนวก ๕

รูปผลการเปลี่ยนแปลงสีของหมึกพิมพ์บนฟิล์ม ตั้งแต่เวลา 0 – 240 นาที

ความเข้มข้น NH ₃	สูตร	เวลาในการทดลอง (นาที)									
		Standard	30	60	90	120	150	180	210	240	
0.5 mM ปรอทสาร 10ml	NN238307 + ATH 15% (56.7%)										
	W8930 + ATH 15 % (46.7%)										