ผลของสารเพิ่มความขาวสว่างต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงแสงของกระดาษที่ผ่านการเร่งอายุการเก็บ

นางสาวกรรณิการ์ เหมแก้ว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF OPTICAL BRIGHTENING AGENT ON OPTICAL PROPERTY CHANGE OF ACCELERATEDLY AGED PAPER

Miss Kannika Hemkeaw

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Pulp and Paper Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

501971

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของสารเพิ่มความขาวสว่างต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงแสงของกระดาษที่ผ่านการเร่งอายุการเก็บ
โดย	นางสาวกรรณิการ์ เหมแก้ว
สาขาวิชา	เทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร. กุนทินี สุวรรณกิจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หาญหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรัญ หาญสืบสาย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร. กุนทินี สุวรรณกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. ณัฐญา ดียิ่ง)

กรรณิการ์ เหมแก้ว : ผลของสารเพิ่มความขาวสว่างต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงแสงของกระดาษที่ผ่านการเร่งอายุการเก็บ. (EFFECTS OF OPTICAL BRIGHTENING AGENT ON OPTICAL PROPERTY CHANGE OF ACCELERATEDLY AGED PAPER) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อ.ดร. กุนทินี สุวรรณกิจ, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ผศ.ดร. สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์, 111 หน้า.

กระดาษโดยทั่วไปเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานานจะเกิดการเหลือง (Yellowing) และสูญเสียความคงทน ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญสำหรับกระดาษบางประเภทที่ต้องเก็บไว้เป็นเวลานาน โดยทั่วไปกระดาษพิมพ์ที่ต้องการความขาวสว่างสูงนิยมใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง (Optical Brightening Agent) เพื่อเพิ่มความขาวสว่างให้กับกระดาษ ซึ่งสารเพิ่มความขาวสว่างเป็นสีย้อมเรืองแสงที่มีความทนต่อแสงต่ำจึงอาจถูกแสงทำลายได้ง่าย ดังนั้นจึงสนใจศึกษาผลของสารเพิ่มความขาวสว่างที่มีต่อสมบัติเชิงแสงของกระดาษในระยะยาว และเพื่อเป็นการลดระยะเวลาการทดสอบจึงทำการเร่งอายุด้วย ความร้อน แสง และรังสียูวี โดยทำการเลือกชนิดของสารเพิ่มความขาวสว่างและปริมาณที่เหมาะสมเพื่อนำไปผสมกับเยื่อเพื่อขึ้นเป็นแผ่นกระดาษ จากนั้นนำไปเร่งอายุด้วยการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 3, 6, 9 และ 12 วัน เร่งอายุด้วยแสงจากหลอดไฟซีนอน เป็นเวลา 0, 25, 50, 75 และ 100 ชั่วโมง และเร่งอายุด้วยรังสียูวีเป็นเวลา 0, 25, 50, 75 และ 100 ชั่วโมง พบว่าการเร่งอายุด้วยความร้อนทำให้ค่าการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่น 420-550 นาโนเมตร ของกระดาษทุกชนิดลดลง และการเร่งอายุด้วยแสงและรังสียูวีส่งผลให้ค่าการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างลดลง ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นอีกว่า การเร่งอายุกระดาษอาจทำให้สารเพิ่มความขาวสว่างเกิดการเสื่อมสภาพ และในบางกรณีอาจเกิดปฏิกิริยาอื่นซึ่งเป็นตัวเร่งให้กระดาษเกิดการเหลืองเร็วกว่ากระดาษที่ไม่ได้สารเพิ่มความขาวสว่างเลย โดยการเร่งอายุด้วยความร้อนมีผลให้ตัวกระดาษเกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าการเร่งอายุกระดาษด้วยแสงและรังสียูวี ในขณะที่การเร่งอายุด้วยแสงและรังสียูวีจะส่งผลต่อสารเพิ่มความขาวสว่างที่อยู่ในกระดาษมากกว่า ซึ่งยืนยันได้โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไฮ เพอร์ฟอร์มานซ์ ลิควิด โครมาโทกราฟี

สาขาวิชา เทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ ลายมือชื่อนิสิต.....กรรณิการ์ เหมแก้ว.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2550 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์

4972208023 : MAJOR PULP AND PAPER TECHNOLOGY

KEY WORD: Optical Brightening Agent / Accelerated aging / Reflectance / Degradation

KANNIKA HEMKEAW : THESIS TITLE. (EFFECTS OF OPTICAL BRIGHTENING AGENT ON OPTICAL PROPERTY CHANGE OF ACCELERATEDLY AGED PAPER) THESIS ADVISOR : KUNTINEE SUVARNAKICH, Ph.D., THESIS COADVISOR : SUPAPORN NOPPAKUNDILOGRAT, Assist. Prof. Ph.D., 111 pp.

When paper is stored for a period of time, yellowing and deterioration may occur. This can pose a significant problem for paper that requires long time storage. Optical Brightening Agent is typically added to printing paper which requires high brightness, but since it is a fluorescent dye, its lightfastness is poor. The goal of this research was to investigate the long-term effects of Optical Brightening Agent on optical property of paper. To shorten the time, the long-term effects were studied by accelerated aging using heat, light and UV. Types and optimum amount of Optical Brightening Agents were selected, then mixed with pulp slurry to form handsheets. The sheets were then subjected to accelerated heat aging at 105°C for 0, 3, 6, 9, and 12 days, accelerated light aging using Xenon lamp for 0, 25, 50, 75, and 100 hours, and accelerated UV aging for 0, 25, 50, 75, and 100 hours. It was found that heat aging decreased the 420-550 nm reflectance of all samples, while light and UV aging decreased the 420-550 nm reflectance of only the sheets with Optical Brightening Agent. The results also indicated that accelerated aging might cause Optical Brightening Agent to degrade, and in some cases might cause other reactions to occur which accelerated paper yellowing to proceed faster than in the paper without Optical Brightening Agent. Heat aging seemed to cause changes in paper itself more than light or UV aging, while light and UV aging had greater effect on Optical Brightening Agent contained in the sheet, as confirmed by HPLC analysis.

Field of study Pulp and Paer Technology Student's signature Kannika Hemkeaw

Advisor's signature Kuntinee Suvarnakich

Academic year 2007 Co-advisor's signature S. Noppakundilograt

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือและการให้คำแนะนำอย่างยิ่งดีจากอาจารย์ ดร.กุนทินี สุวรรณกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ตลอดจน รองศาสตราจารย์ ดร.อรัญ หาญสืบสาย ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ดร.ณัฐิญา ดียิ่ง กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และตรวจสอบเนื้อหาวิทยานิพนธ์ตลอดมา

ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณ บริษัทซีบา สเปเชียลตี้ เคมิคอลส์ ประเทศไทย จำกัด บริษัทรัชดาเคมิคอลส์ จำกัด และบริษัทสยามคราฟท์อุตสาหกรรม จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สารเคมี บริษัทเอสซีจี เปเปอร์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เยื่อกระดาษที่ใช้ในการทดลอง นอกจากนี้ต้องขอของคุณบริษัทอินเตอร์อิงค์ จำกัด และสถาบันนิติวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อนและพี่ ๆ ที่มีน้ำใจคอยช่วยเหลือเสมอมา อีกทั้งกำลังใจจากนายก่อเกียรติ วงมณี และที่สำคัญที่สุดผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณ บิดามารดา ที่คอยเป็นกำลังใจและสนับสนุนผู้วิจัยจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ญ

บทที่

1 บทนำ..... 1

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

2.1.1 องค์ประกอบของกระดาษ..... 3

2.1.2 การผลิตเยื่อกระดาษ 14

2.1.3 สมบัติเชิงแสงของกระดาษ 16

2.1.4 ผลกระทบของสภาพแวดล้อมที่มีต่อกระดาษ..... 18

2.1.5 การเร่งอายุ 19

2.1.6 โครโมฟอร์ 21

2.1.7 การเหลือง 23

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 23

บทที่ หน้า

3 วิธีดำเนินการวิจัย.....25
3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....25
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....25
3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....27
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล.....28

4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....30
4.1 ชนิดและปริมาณของสารเพิ่มความขาวสว่างที่เหมาะสม.....30
4.1.1 ปริมาณของแข็งที่มีอยู่ในสาร (Solid content).....30
4.1.2 การเลือกสารเพิ่มความขาวสว่างที่เหมาะสม.....30
4.1.3 ปริมาณของสารเพิ่มความขาวสว่างที่เหมาะสม.....33
4.2 ผลของความร้อน แสง และรังสียูวีต่อสมบัติเชิงแสงของกระดาษ.....35
4.2.1 ผลของความร้อนต่อสมบัติเชิงแสงของกระดาษ.....35
4.2.2 ผลของแสงต่อสมบัติเชิงแสงของกระดาษ.....40
4.2.3 ผลของรังสียูวีต่อสมบัติเชิงแสงของกระดาษ.....46
4.3 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการเร่งอายุของกระดาษด้วยเทคนิคเคมี.....50
4.3.1 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟูริเออร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Furier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR).....51
4.3.2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไฮ เพอร์ฟอร์มานซ์ ลิควิด โครมาโทกราฟี (High Performance Liquid Chromatogrphy, HPLC).....54
4.3.3 ผลการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสง.....61
4.3.4 ผลการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวี.....68
4.3.5 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ผ่านการเร่งอายุด้วยการฉายแสงและรังสียูวีที่เวลาต่างกัน.....75
4.3.6 เปรียบเทียบกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างและไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีต่าง ๆ.....87
5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....98

รายการอ้างอิง.....102

ภาคผนวก

- ภาคผนวก ก.....107
- ภาคผนวก ข.....109

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....111

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 1 ปริมาณของแข็งที่มีอยู่ในสารเพิ่มความขาวสว่าง 4 ชนิด.....30

ตารางที่ 2 ค่าน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษที่ควบคุมสภาวะโดยไม่เร่งอายุ.....107

ตารางที่ 3 ค่าน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษที่นำไปเร่งอายุด้วยความร้อน.....107

ตารางที่ 4 ค่าน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษที่นำไปเร่งอายุด้วยแสงจากหลอดไฟซีนอน.....107

ตารางที่ 5 ค่าน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษที่นำไปเร่งอายุด้วยรังสียูวี.....108

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

ภาพที่ 1 โครงสร้างของเซลลูโลส....4

ภาพที่ 2 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของสีไดเร็กท์.... 8

ภาพที่ 3 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของสีแอซิด....9

ภาพที่ 4 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของสีเบสิค.... 9

ภาพที่ 5 โครงสร้างทางเคมีของสารเพิ่มความขาวสว่าง....10

ภาพที่ 6 โครงสร้างทางเคมีของสารเพิ่มความขาวสว่างชนิดไดซัลโฟ....11

ภาพที่ 7 โครงสร้างทางเคมีของสารเพิ่มความขาวสว่างชนิดเตตระซัลโฟ....11

ภาพที่ 8 โครงสร้างทางเคมีของสารเพิ่มความขาวสว่างชนิดเฮกซะซัลโฟ....12

ภาพที่ 9 อนุพันธ์ของสารเพิ่มความขาวสว่างที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ....12

ภาพที่ 10 ผลของสารเติมแต่งต่อค่าความขาวสว่างของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง...13

ภาพที่ 11 ผลของอะลัม (alum) ที่มีต่อกระดาษที่มีการใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง....13

ภาพที่ 12 การสะท้อนของแสง การทะลุผ่านของแสง การกระเจิงของแสง และการดูดกลืนแสง....16

ภาพที่ 13 การวัดความมันวาวที่มุม 75 องศา....17

ภาพที่ 14 โครโมฟอร์ชนิดต่าง ๆ ที่พบในไม้และเยื่อ 21

ภาพที่ 15 การกระตุ้นโครโมฟอร์โดยโฟตอนของแสง....22

ภาพที่ 16 ยูวี-วิสิเบิลสเปกตราของสารเพิ่มความขาวสว่าง 4 ชนิด....31

ภาพที่ 17 ฟูริเออร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกตราของสารเพิ่มความขาวสว่าง 4 ชนิด....32

ภาพที่ 18 ค่าการสะท้อนแสง (% Reflectance) ในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ในปริมาณต่าง ๆ กัน....33

ภาพที่ 19 ค่าการสะท้อนแสง (% Reflectance) ที่ความยาวคลื่น 400 -700 นาโนเมตร ของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ในปริมาณต่าง ๆ 34

ภาพที่ 20 ค่าการสะท้อนแสง (% Reflectance) ที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ในปริมาณต่าง ๆ กัน....34

ภาพที่ 21 ค่าการสะท้อนแสง (% Reflectance) ที่ความยาวคลื่น 400 -700 นาโนเมตร ของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง ที่ผ่านการเร่งอายุโดยการอบที่เวลาต่าง ๆ..35

ภาพประกอบ หน้า

ภาพที่ 22 ค่าการสะท้อนแสง (% Reflectance) ที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุโดยการอบที่เวลาต่าง ๆ.....36

ภาพที่ 23 ค่าการสะท้อนแสง (% Reflectance) ที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุโดยการอบที่เวลาต่าง ๆ.....36

ภาพที่ 24 ค่าการสะท้อนแสง (% Reflectance) ที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยการอบที่เวลาต่าง ๆ.....37

ภาพที่ 25 ค่าการสะท้อนแสง (% Reflectance) ที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ของกระดาษที่ใส่และไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างผ่านการเร่งอายุโดยการอบที่เวลา 0 และ 12 วัน.....38

ภาพที่ 26 ค่าความขาวสว่างของกระดาษที่ผ่านการเร่งอายุด้วยการอบที่เวลาต่าง ๆ 39

ภาพที่ 27 ผลต่างการสะท้อนแสง (ΔReflectance) ที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุโดยการอาบแสงที่เวลาต่าง ๆ.....41

ภาพที่ 28 ผลต่างการสะท้อนแสง (Δ Reflectance) ที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุโดยอาบแสงที่เวลาต่าง ๆ.....42

ภาพที่ 29 ผลต่างการสะท้อนแสง (ΔReflectance) ที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุโดยอาบแสงที่เวลาต่าง ๆ.....42

ภาพที่ 30 ผลต่างการสะท้อนแสง (ΔReflectance) ที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinoapl UP ที่ผ่านการเร่งอายุโดยอาบแสงที่เวลาต่าง ๆ.....43

ภาพประกอบ หน้า

ภาพที่ 31 ค่าการสะท้อนแสงของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง (Control) และกระดาษ ที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างชนิดต่างๆ ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสง เป็นเวลา 100 ชั่วโมง.....44

ภาพที่ 32 ผลต่างความขาวสว่างของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง (Control) และกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างชนิดต่างๆ ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสง เป็นเวลา 100 ชั่วโมง.....45

ภาพที่ 33 ผลต่างการสะท้อนแสง (Δ Reflectance) ที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง ที่ผ่านการเร่งอายุโดยการอาบรังสียูวีที่เวลาต่าง ๆ.....47

ภาพที่ 34 ผลต่างการสะท้อนแสง (Δ Reflectance) ที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ผ่านการเร่งอายุโดยอาบรังสียูวีที่เวลาต่าง ๆ.....47

ภาพที่ 35 ผลต่างการสะท้อนแสง (Δ Reflectance) ที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ผ่านการเร่งอายุโดยอาบรังสียูวีที่เวลาต่าง ๆ.....48

ภาพที่ 36 ผลต่างการสะท้อนแสง (Δ Reflectance) ที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ผ่านการเร่งอายุโดยอาบรังสียูวีเวลาต่าง ๆ 48

ภาพที่ 37 ค่าการสะท้อนแสงของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง (Control) และกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างชนิดต่างๆ ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวี เป็นเวลา 100 ชั่วโมง.....49

ภาพที่ 38 ผลต่างความขาวสว่างของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง (Control) และกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างชนิดต่างๆ ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสง เป็นเวลา 100 ชั่วโมง.....50

ภาพที่ 39 ฟูริเออร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกตรา ของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างและสาสารเพิ่มความขาวสว่าง ซึ่งไม่ผ่านการเร่งอายุ.....51

ภาพที่ 40 ฟูริเออร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกตรา ของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ซึ่งผ่านการเร่งอายุด้วยแสงเป็นเวลา 0 และ 100 ชั่วโมง.....52

ภาพประกอบ หน้า

ภาพที่ 41 ฟูริเออร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกตรา ของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ซึ่งผ่านการเร่งอายุด้วยแสงเป็นเวลา 0 และ 100ชั่วโมง.....52

ภาพที่ 42 ฟูริเออร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกตรา ของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ซึ่งผ่านการเร่งอายุด้วยแสงเป็นเวลา 0 และ 100 ชั่วโมง.....53

ภาพที่ 43 โครมาโทแกรมของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง: (ก) ที่ไม่ผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อน และ (ข) ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อน 12 วัน.....54

ภาพที่ 44 โครมาโทแกรม : (ก) Leucophor AL (ข) กระดาษที่ใส่ Leucophor AL และ (ค) กระดาษที่ใส่ Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อน 12 วัน.....56

ภาพที่ 45 โครมาโทแกรม : (ก) Skaywhite HCE (ข) กระดาษที่ใส่ Skaywhite HCE และ (ค) กระดาษที่ใส่ Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อน 12 วัน.....58

ภาพที่ 46 โครมาโทแกรม : (ก) Tinopal UP (ข) กระดาษที่ใส่สาร Tinopal UP และ (ค) กระดาษที่ใส่ Tinopal UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อน 12 วัน.....60

ภาพที่ 47 โครมาโทแกรมของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง: (ก) ที่ไม่ผ่านการเร่งอายุ และ (ข) ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสง 100 ชั่วโมง.....61

ภาพที่ 48 โครมาโทแกรม: (ก) Leucophor AL (ข) กระดาษที่ใส่ Leucophor AL และ (ค) กระดาษที่ใส่ Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสง 100 ชั่วโมง.....63

ภาพที่ 49 โครมาโทแกรม: (ก) Skaywhite HCE (ข) กระดาษที่ใส่ Skaywhite HCE และ (ค) กระดาษที่ใส่ Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสง 100 ชั่วโมง.....65

ภาพที่ 50 โครมาโทแกรม: (ก) Tinopal UP (ข) กระดาษที่ใส่สาร Tinopal UP และ (ค) กระดาษที่ใส่ Tinopal UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสง 100 ชั่วโมง.....67

ภาพที่ 51 โครมาโทแกรมของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง: (ก) ที่ไม่ผ่านการเร่งอายุ และ (ข) ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวี 100 ชั่วโมง.....68

ภาพที่ 52 โครมาโทแกรม : (ก) Leucophor AL (ข) กระดาษ ที่ใส่ Leucophor AL และ (ค) กระดาษที่ใส่ Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวี 100 ชั่วโมง.....70

ภาพที่ 53 โครมาโทแกรม : (ก) Skaywhite HCE (ข) กระดาษที่ใส่ Skaywhite HCE และ (ค) กระดาษที่ใส่ Skaywhite HCE ที่ผ่านเร่งอายุด้วยรังสียูวี 100 ชั่วโมง.....72

ภาพที่ 54 โครมาโทแกรม : (ก) Tinopal UP (ข) กระดาษที่ใส่สาร Tinopal UP และ (ค) กระดาษที่ใส่ Tinopal UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวี 100 ชั่วโมง.....74

ภาพประกอบ หน้า

ภาพที่ 55 โครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายแสงเป็นเวลา: (ก) 0 ชั่วโมง (ข) 75 ชั่วโมง และ (ค) 100 ชั่วโมง.....76

ภาพที่ 56 โครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายแสงเป็นเวลา: (ก) 0 ชั่วโมง (ข) 75 ชั่วโมง และ (ค) 100 ชั่วโมง.....78

ภาพที่ 57 โครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinoapl UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายแสงเป็นเวลา: (ก) 0 ชั่วโมง (ข) 75 ชั่วโมง และ (ค) 100 ชั่วโมง.....80

ภาพที่ 58 โครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายรังสียูวีเป็นเวลา: (ก) 0 ชั่วโมง (ข) 75 ชั่วโมง และ (ค) 100 ชั่วโมง.....82

ภาพที่ 59 โครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายรังสียูวีเป็นเวลา: (ก) 0 ชั่วโมง (ข) 75 ชั่วโมง และ (ค) 100 ชั่วโมง.....84

ภาพที่ 60 โครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายรังสียูวีเป็นเวลา: (ก) 0 ชั่วโมง (ข) 75 ชั่วโมง และ (ค) 100 ชั่วโมง.....86

ภาพที่ 61 โครมาโทแกรมของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างและไม่ผ่านการเร่งอายุ (ก) และที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธี: (ข) ให้ความร้อน 12 วัน (ข) ฉายแสง 100 ชั่วโมง และ (ค) ฉายรังสียูวี 100 ชั่วโมง.....88

ภาพที่ 62 **ซ้าย** โครมาโทแกรมของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีต่าง ๆ **ขวา** โครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สาร Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีต่าง ๆ 91

ภาพที่ 63 **ซ้าย** โครมาโทแกรมของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีต่าง ๆ **ขวา** โครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สาร Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีต่าง ๆ 94

ภาพที่ 64 **ซ้าย** โครมาโทแกรมของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีต่าง ๆ **ขวา** โครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สาร Tinopal UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีต่าง ๆ.....97