

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

อภิปรายผลการศึกษา

ผลของการเร่งอายุด้วยความร้อน

จากผลการทดลองพบว่า การเร่งอายุการเก็บกระดาษด้วยวิธีการอบด้วยความร้อนจะทำให้ค่าการสะท้อนแสงของกระดาษในช่วงความยาวคลื่น 420-500 นาโนเมตร ลดลงตามระยะเวลาการอบที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากกระดาษเกิดการเหลือง (yellowing) ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี อย่างไรก็ตาม ในช่วงความยาวคลื่นต่ำกว่า 420 นาโนเมตร พบว่ากระดาษที่มีการเติมสารเพิ่มความขาวสว่างจะมีค่าการสะท้อนแสงเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการอบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารเพิ่มความขาวสว่างมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแสงช่วงยูวีลดลง (แหล่งกำเนิดแสงของเครื่องวัดที่ใช้คือ แหล่งกำเนิดแสง C ซึ่งมีรังสียูวีอยู่ด้วยเล็กน้อย) ซึ่งอาจเกิดจากการที่สารเพิ่มความขาวสว่างถูกความร้อนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือเสื่อมสภาพได้ อย่างไรก็ตาม หลังทำการเร่งอายุด้วยความร้อนเป็นเวลา 12 วัน กระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างบางชนิด อาทิ Leucophor AL และ Skywhite HCE ยังมีการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่น 420-550 นาโนเมตร (ช่วงแสงสีน้ำเงินและเขียว) มากกว่ากระดาษที่ไม่ได้ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง (Control) ในขณะที่กระดาษที่ใส่ Tinopal UP กลับมีค่าการสะท้อนแสงในช่วงนี้น้อยกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเติมสารเพิ่มความขาวสว่างลงในกระดาษอาจทำให้กระดาษมีการสะท้อนแสงเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงแรกๆ ที่เติม แต่เมื่อกระดาษได้รับความร้อนเป็นระยะเวลาหนึ่ง สารเพิ่มความขาวสว่างอาจเกิดการเสื่อมสลาย ทำให้ประสิทธิภาพในการเพิ่มความขาวสว่างตกลง และในบางกรณีอาจถึงขั้นเร่งปฏิกิริยาการเหลืองของกระดาษให้เกิดขึ้นเร็วกว่ากระดาษที่ไม่ได้ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างเลย เมื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพกระดาษที่ผ่านการเร่งอายุและไม่ผ่านการเร่งอายุด้วยเทคนิคไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ ลิควิด โครมาโทกราฟี ก็พบว่า การเร่งอายุกระดาษด้วยวิธีการให้ความร้อนมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของพีคของกระดาษอย่างเห็นได้ชัดกว่าการเร่งอายุด้วยแสงหรือรังสียูวี โดยเฉพาะอย่างยิ่งพีคที่ตำแหน่ง 1 และ 2 ซึ่งเป็นพีคของกระดาษ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงชัดเจนที่สุดเมื่อผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อน ดังนั้นการที่ค่าการสะท้อนแสงของกระดาษลดลงหลังจากผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อน อาจเป็นเพราะกระดาษเกิดการเสื่อมสลายตัวได้ด้วยความร้อน กระดาษจึงเสื่อมสภาพลง ดังนั้นกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยความ

ร้อนจึงมีค่าการสะท้อนแสงที่ต่ำกว่ากระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อน เพราะสารเพิ่มความขาวสว่างที่เติมลงในกระดาษจะช่วยเพิ่มค่าการสะท้อนแสงให้กับกระดาษ จึงทำให้กระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุมีค่าการสะท้อนแสงที่สูงกว่ากระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อน

ผลของการเร่งอายุด้วยแสงและรังสียูวี

การเร่งอายุด้วยแสงหรือรังสียูวีด้วยระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองนี้ไม่ส่งผลต่อค่าการสะท้อนแสงของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างมากนัก แต่กลับส่งผลต่อค่าการสะท้อนแสงของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างทั้ง 3 ชนิดอย่างเห็นได้ชัด โดยกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างจะมีการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ต่ำกว่า 420 นาโนเมตร ลดลง ดังจะเห็นได้จากการสะท้อนแสงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากการที่แสงและรังสียูวีเร่งให้สารเพิ่มความขาวสว่างที่มีอยู่ในกระดาษเสื่อมสภาพ จึงทำให้ความสามารถในการดูดกลืนแสงในช่วงดังกล่าวลดลงเช่นเดียวกับเมื่อนำไปเร่งอายุด้วยความร้อน ส่วนในช่วงความยาวคลื่น 420-550 นาโนเมตรนั้น การเร่งอายุด้วยแสงหรือรังสียูวีจะทำให้การสะท้อนแสงลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระดาษที่ฉายแสงและรังสียูวีเป็นเวลานานที่สุด คือ 100 ชั่วโมง จะมีค่าการสะท้อนแสงต่ำที่สุด และกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skywhite HCE มีค่าการสะท้อนแสงต่ำกว่ากระดาษที่ไม่ได้ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างเลย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารเพิ่มความขาวสว่างที่ใช้เติมในกระดาษมีความไวต่อแสงและรังสียูวี และหากเพิ่มระยะเวลาในการฉายแสงและรังสียูวีให้นานกว่านี้ ก็เป็นไปได้ว่ากระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างจะมีค่าการสะท้อนแสงกลับมาเท่ากับกระดาษที่ไม่ได้ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างเลย หรือในบางกรณีอาจยังมีค่าการสะท้อนแสงต่ำกว่ากระดาษที่ไม่ได้ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง ดังที่เห็นในกรณีของ Skywhite HCE ทั้งนี้เมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ ลิกวิด โครมาโท กราฟี ก็พบการเปลี่ยนแปลง ซึ่งน่าเป็นผลมาจาก Skywhite HCE สลายตัวด้วยแสงและรังสียูวีมากที่สุด โดยที่การเร่งอายุด้วยแสงและการเร่งอายุด้วยรังสียูวีมีผลให้สัดส่วนพีคของสารเพิ่มความขาวสว่างที่เวลา 10-20 นาที เปลี่ยนแปลงไปชัดเจนกว่าการเร่งอายุด้วยความร้อน นอกจากนี้ระยะเวลาในการเร่งอายุก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของพีค โดยระยะเวลาที่ใช้เร่งอายุมากขึ้นจะทำให้สัดส่วนของพีคมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น

สรุปผลการวิจัย

การเร่งอายุด้วยความร้อน แสง และรังสียูวีมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงแสงของกระจกในระยะเวลา โดยกระจกจะมีการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่น 420-550 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงสีน้ำเงินและเขียวลดลง ทำให้กระจกดูเหมือนมีสีแดงและเหลืองเพิ่มขึ้น นอกจากนี้กระจกที่ใสสารเพิ่มความขาวสว่างจะมีค่าการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นต่ำกว่า 420 นาโนเมตรเพิ่มขึ้น ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการดูดกลืนรังสียูวีที่ลดลง จึงอาจเกิดจากสารเพิ่มความขาวสว่างเกิดการเสื่อมสภาพ สารเพิ่มความขาวสว่างบางชนิดยังอาจเป็นตัวเร่งให้กระจกมีค่าการสะท้อนแสงลดลงกว่าที่ควรจะเป็น ดังจะเห็นได้จากกรณีกระจกที่มีการใสสารเพิ่มความขาวสว่าง Skywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีอบแสงและอาบรังสียูวี ซึ่งให้ค่าการสะท้อนแสงหลังเร่งอายุต่ำกว่ากระจกที่ไม่ได้ใสสารเพิ่มความขาวสว่างเลย ทั้งนี้เมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ ลิววิต โคโรมาโทกราฟี ก็พบการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน ซึ่งน่าเป็นผลมาจาก Skywhite HCE สลายตัวด้วยแสงและรังสียูวีมากที่สุด ซึ่งการเร่งอายุกระจกที่ใสและไม่ใสสารเพิ่มความขาวสว่างทั้ง 3 วิธี ด้วยเวลาที่นานขึ้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นทั้งในด้านการสะท้อนแสงที่มีค่าลดลงและการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของพีคที่เห็นได้ชัดเจนขึ้น นอกจากนี้วิธีการเร่งอายุที่ต่างกันก็มีผลให้กระจกที่ใสและไม่ใสสารเพิ่มความขาวสว่างมีการเปลี่ยนแปลงที่ต่างกัน โดยกระจกที่ใสสารเพิ่มความขาวสว่างเมื่อผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีอบแสงและอาบรังสียูวีจะทำให้สารเพิ่มความขาวสว่างเกิดการเปลี่ยนแปลง แต่สำหรับการเร่งอายุด้วยความร้อนมีผลให้กระจกเกิดการเปลี่ยนแปลงแต่ไม่ทำให้สารเพิ่มความขาวสว่างเกิดการเปลี่ยนแปลงมากนัก เพราะกระจกเกิดการเสื่อมสลายด้วยความร้อนได้มากกว่าวิธีการเร่งอายุด้วยแสงและรังสียูวี จึงทำให้ค่าการสะท้อนแสงของกระจกหลังเร่งอายุด้วยความร้อนลดลงมากที่สุด ซึ่งยืนยันได้ด้วยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ ลิววิต โคโรมาโทกราฟี ที่พบว่าสัดส่วนพีคของกระจกเปลี่ยนแปลงต่างไปจากกระจกที่ยังไม่ผ่านการเร่งอายุอย่างมาก ส่วนการเร่งอายุด้วยแสงและรังสียูวีมีผลให้สารเพิ่มความขาวสว่างเกิดการเสื่อมสลายได้มากกว่าการเร่งอายุด้วยการให้ความร้อน ทำให้ค่าการสะท้อนแสงของกระจกที่ใสสารเพิ่มความขาวสว่างชนิดต่าง ๆ ลดลงซึ่งยืนยันได้ด้วยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ ลิววิต โคโรมาโทกราฟี เช่นกัน

ข้อเสนอแนะ

1. อาจทดลองใช้ปริมาณสารเพิ่มความขาวสว่างเพิ่มขึ้นจากเดิม คือ 0.6 -1.0 % ของน้ำหนักเยื่อแห้ง สำหรับการเตรียมแผ่นกระดาษตัวอย่างก่อนที่จะนำไปเร่งอายุด้วยความร้อน แสง และรังสียูวี เพื่อหาว่าที่ปริมาณดังกล่าวซึ่งเป็นปริมาณของสารเพิ่มความขาวสว่างสำหรับกระดาษที่ต้องการความขาวสว่างมาก ๆ นั้นทำให้สมบัติเชิงแสงของกระดาษเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร
2. อาจทดลองเร่งอายุกระดาษโดยใช้เครื่องเร่งสภาวะ (QUV accelerated aging) ที่เปิดให้เครื่องทำงานทั้งระบบ ซึ่งจะมีรังสียูวีสลับกับความชื้น และมีการให้ความร้อนมาเกี่ยวข้อง เหมือนสภาวะที่เกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติ เพื่อทดสอบความทนต่อสภาวะแวดล้อมของกระดาษก่อนนำไปใช้งาน
3. ควรมีการทดสอบความแข็งแรงของกระดาษ อาทิเช่น ค่าความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (burst strength), ความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength) และ ความแข็งแรงต่อแรงฉีก (tear strength) ด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการใช้งานจริงนั้น เมื่อนำกระดาษไปใช้ในงานต่าง ๆ ซึ่งต้องเก็บไว้ระยะเวลาานาน กระดาษจะต้องมีความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ไม่เสื่อมสภาพเร็วเกินไป
4. เนื่องจากสารเพิ่มความขาวสว่างมีความไวต่อแสง ดังนั้นในระหว่างช่วงที่ดำเนินการทดลองจึงควรเก็บสารเพิ่มความขาวสว่างไว้ในห้องควบคุมสภาวะที่ไม่ให้แสงส่องผ่านได้ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงของสารเพิ่มความขาวสว่างที่อาจเกิดขึ้นก่อนที่จะนำไปทำการทดลองจริง
5. ในการเก็บกระดาษประเภทหนังสือในห้องสมุดนั้นไม่เพียงแต่แสงและอุณหภูมิเท่านั้นที่มีผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงความขาวสว่างของกระดาษ แต่ความชื้นก็มีส่วนช่วยให้กระดาษเกิดการเปลี่ยนแปลงได้เช่นกัน จึงควรมีการศึกษาสภาวะความชื้นที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงแสงและความแข็งแรงของกระดาษด้วย