บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ชนิดและปริมาณของสารเพิ่มความขาวสว่างที่เหมาะสม

4.1.1 ปริมาณของแข็งที่มีอยู่ในสาร (Solid content)

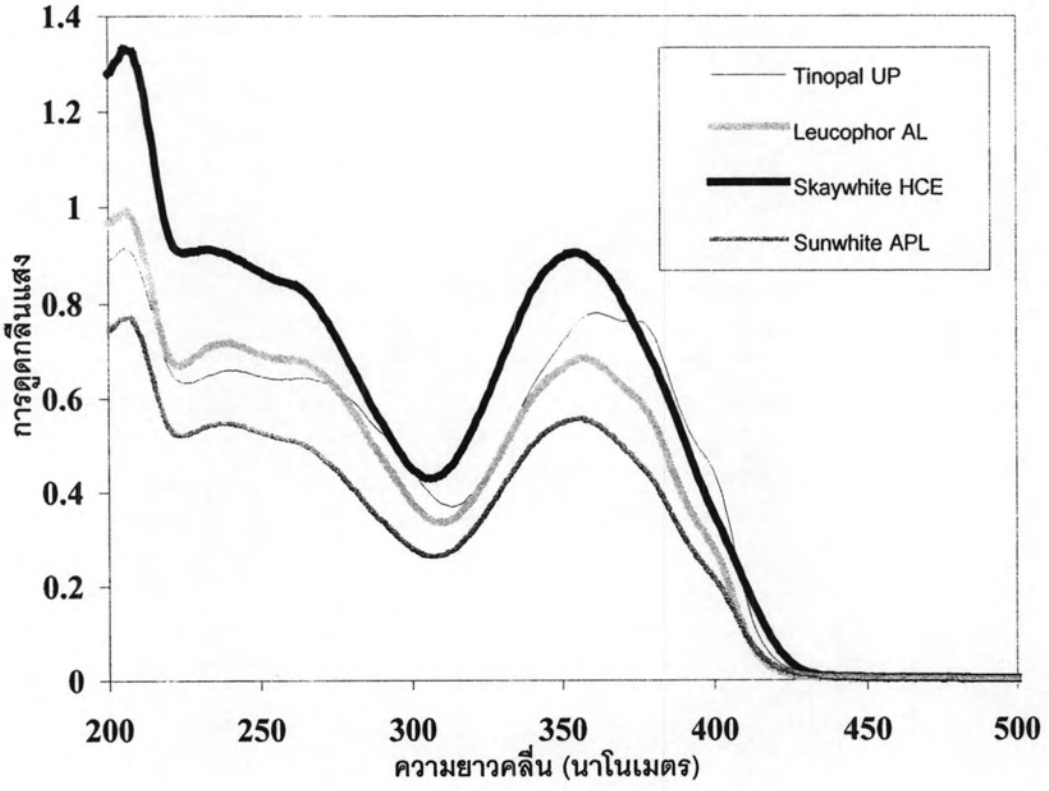
การหาปริมาณของแข็งที่มีอยู่ในสารของสารเพิ่มความขาวสว่าง 4 ชนิด ที่เป็นของเหลว เพื่อเปรียบเทียบปริมาณสารที่มีอยู่ในสารเพิ่มความขาวสว่างแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งค่าที่ได้นี้จะนำไปประกอบการเลือกสารเพิ่มความขาวสว่างที่จะใช้ทดลองในขั้นต่อไป

ตารางที่ 1 ปริมาณของแข็งที่มีอยู่ในสารเพิ่มความขาวสว่าง 4 ชนิด

ชนิดสาร	ก่อนระเหย (กรัม)	หลังระเหย (กรัม)	ปริมาณของแข็งที่มีอยู่ (%)
Tinopal UP	1.0	0.452	45.2
Leucophor AL	1.0	0.482	48.2
Skaywhite HCE	1.0	0.467	46.7
Sunwhite APL	1.0	0.414	41.4

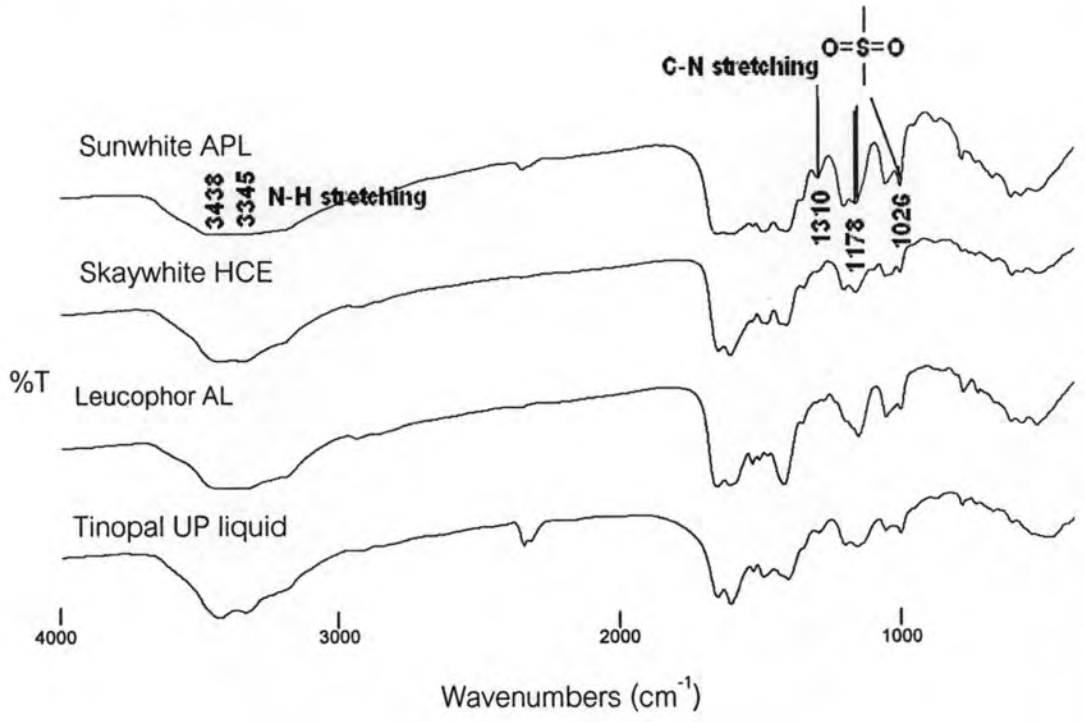
4.1.2 การเลือกสารเพิ่มความขาวสว่างที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์สารเพิ่มความขาวสว่างทั้ง 4 ชนิด ด้วยเทคนิค ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี พบว่า Tinopal UP มีการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 362 นาโนเมตร มีค่าการดูดกลืนเท่ากับ 0.781 Leucophor AL มีการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 358 นาโนเมตร มีค่าการดูดกลืนเท่ากับ 0.685 Skaywhite HCE การดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 355 นาโนเมตร มีค่าการดูดกลืนเท่ากับ 0.905 และ Sunwhite APL มีการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 356 นาโนเมตร มีค่าการดูดกลืนเท่ากับ 0.558 ลักษณะของการดูดกลืนแสงของสารเพิ่มความขาวสว่างทั้ง 2 ชนิด คือ Leucophor AL และ Sunwhite APL มีความคล้ายคลึงกันมากดังภาพที่ 16 และจากปริมาณของแข็ง (% solid content) ของ Leucophor AL 48.2 % มากกว่า Sunwhite APL ที่มีค่า 41.4 % จึงเป็นไปได้ว่า Leucophor AL และ Sunwhite APL อาจเป็นสารชนิดเดียวกัน ดังนั้นจึงทำการหาหมู่ฟังก์ชันของสารเพิ่มความขาวสว่างทั้ง 4 ชนิด เพื่อเปรียบเทียบผลต่อไป



ภาพที่ 16 ยูวี-วิสิเบิลสเปกตราของสารเพิ่มความขาวสว่าง 4 ชนิด

จาก FT-IR สเปกตราของสารเพิ่มความขาวสว่างทั้ง 4 ชนิดพบว่าปรากฏพีคของ N-H stretching ปรากฏ 2 พีค ที่เลขคลื่น 3438 cm^{-1} และ 3345 cm^{-1} และ พีคของ C-N Stretching ที่เลขคลื่น 1310 cm^{-1} นอกจากนี้ยังพบพีคของ S=O asymetric stretching ของหมู่ SO_3 ที่เลขคลื่น 1178 cm^{-1} และพีคของ S=O symetric stretching ของหมู่ SO_3 ที่เลขคลื่น 1026 cm^{-1} ดังแสดงในภาพที่ 17



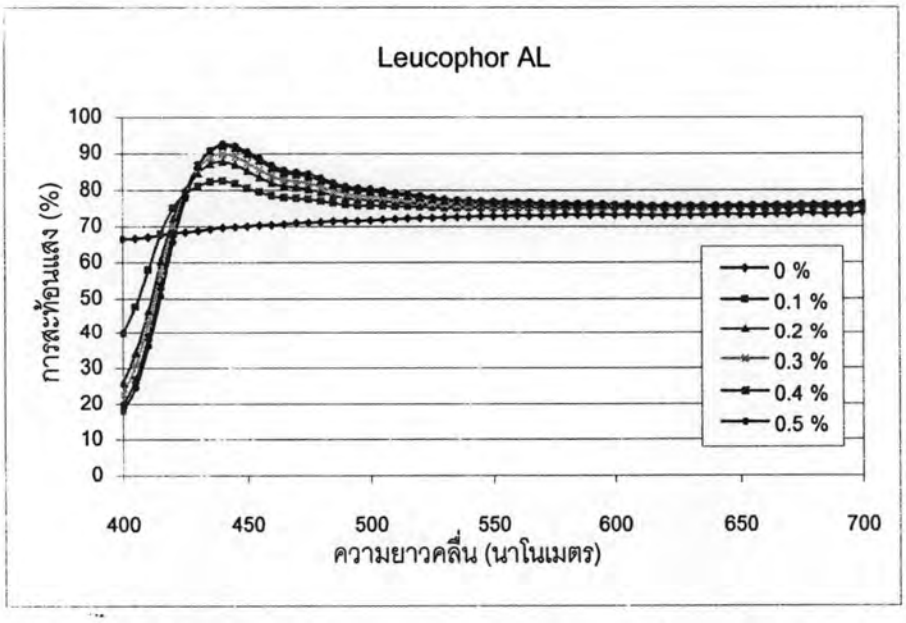
ภาพที่ 17 ฟูริเออร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกตราของสารเพิ่มความขาวสว่าง 4 ชนิด

จากรูปที่ 17 จะเห็นได้ว่าสารเพิ่มความขาวสว่างทั้ง 4 ชนิด มีหมู่แอมิโนและแอโรมาติกเหมือนกัน ซึ่งจากลักษณะของอินฟราเรดสเปกตรัมที่คล้ายคลึงกันแต่ไม่เหมือนกันทั้งหมด แสดงว่าสารทั้ง 4 ชนิดเป็นสารที่มีโครงสร้างใกล้เคียงกันแต่เป็นสารคนละตัว ดังนั้นจึงเลือกสารเพิ่มความขาวสว่างที่มีการดูดกลืนแสงและปริมาณของแข็งสูงที่สุด 3 อันดับแรก ซึ่งก็คือ Leucophor AL Skaywhite HCE และ Tinopal UP เพื่อนำมาทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป

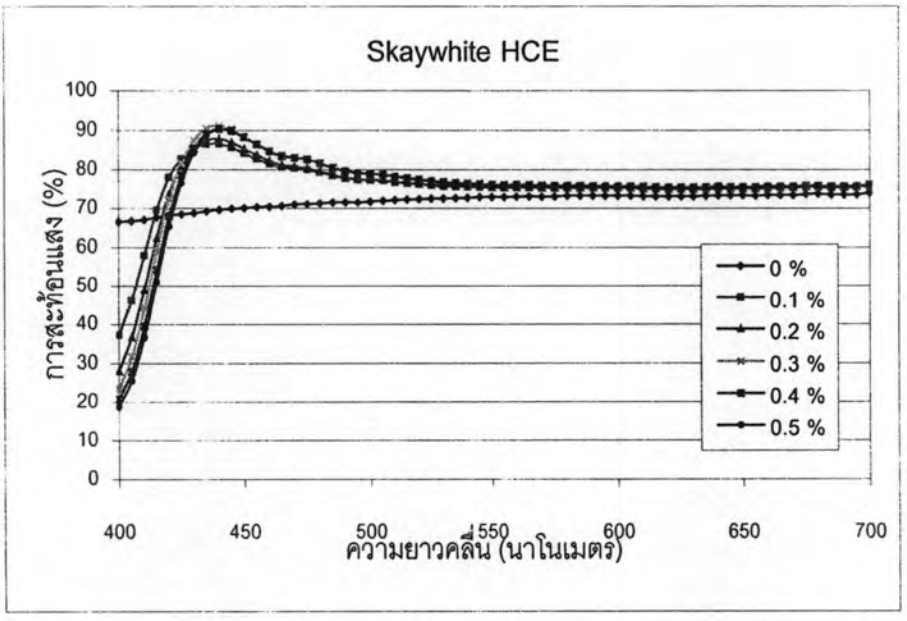
4.1.3 ปริมาณของสารเพิ่มความขาวสว่างที่เหมาะสม

การใส่สารเพิ่มความขาวสว่างในระดับต่าง ๆ กันลงในกระดาษส่งผลให้กระดาษมีการสะท้อนแสงเปลี่ยนไป โดยกระดาษที่มีการเติมสารเพิ่มความขาวสว่างจะมีการสะท้อนแสงลดลงในช่วงความยาวคลื่นต่ำกว่า 420 นาโนเมตร เนื่องจากมีการดูดกลืนพลังงานในช่วงยูวีเกิดขึ้น และจะมีการสะท้อนแสงสูงขึ้นอย่างมากในช่วงแสงสีน้ำเงิน (420 - 500 นาโนเมตร) เนื่องจากสารเพิ่มความขาวสว่างปล่อยพลังงานออกมาในช่วงนี้

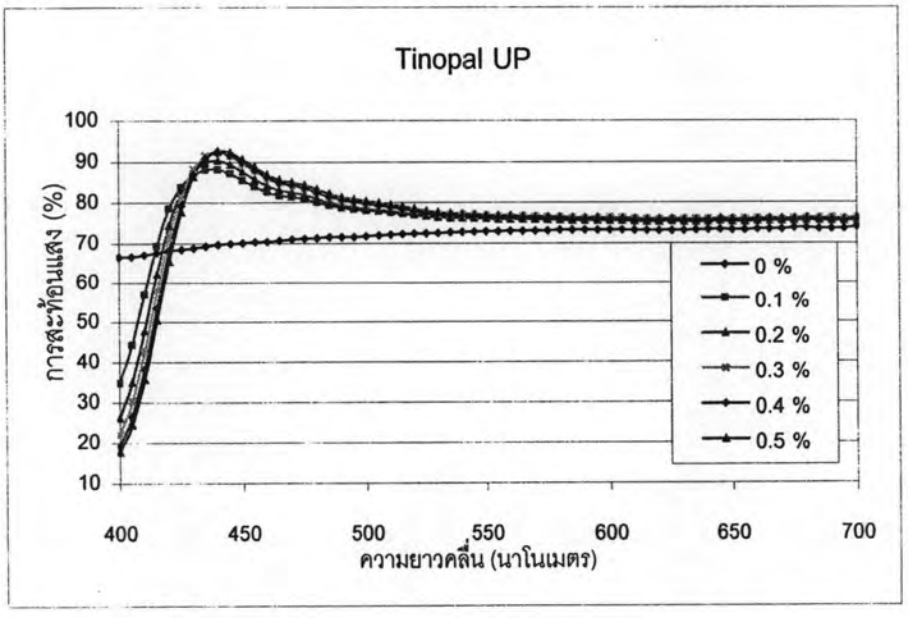
สำหรับกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL พบว่าที่ปริมาณ 0.5 % ของน้ำหนักเยื่อแห้ง จะให้ค่าการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร (พีค) สูงที่สุด คือ 92.7 % ดังภาพที่ 18 กระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ปริมาณ 0.3 % ของน้ำหนักเยื่อแห้ง จะให้ค่าการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร สูงที่สุด คือ 91.16 % แสดงดังภาพที่ 19 และกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ปริมาณ 0.5 % ของน้ำหนักเยื่อแห้ง จะให้ค่าการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร สูงที่สุด คือ 92.75 % แสดงดังภาพที่ 20



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



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



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

จากผลการทดลองในขั้นตอนนี้จึงเลือกใช้ปริมาณของสารเพิ่มความขาวสว่างชนิด Leucophor AL ที่ 0.5 % Skaywhite HCE ที่ 0.3 % และ Tinopal UP ที่ 0.5 % ในขั้นตอนถัดไป

ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าในกรณีที่ปริมาณสาร 0.5 % ให้ค่าการสะท้อนแสงสูงสุดนั้น หากใช้ปริมาณมากกว่านี้ ก็อาจให้ค่าการสะท้อนแสงสูงกว่านี้ แต่ในทางอุตสาหกรรมนิยมใช้สารเพิ่มความขาวสว่างไม่เกิน 0.5 % ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ในงานวิจัยนี้จึงไม่ใช้สารเพิ่มความขาวสว่างเกิน 0.5 % เช่นกัน

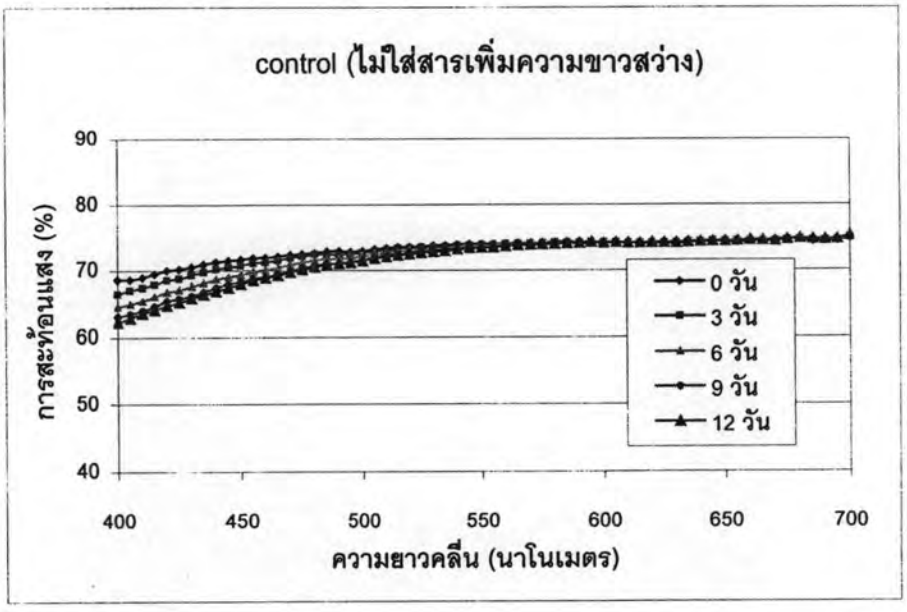
4.2 ผลของความร้อน แสง และรังสียูวีต่อสมบัติเชิงแสงของกระดาษ

4.2.1 ผลของความร้อนต่อสมบัติเชิงแสงของกระดาษ

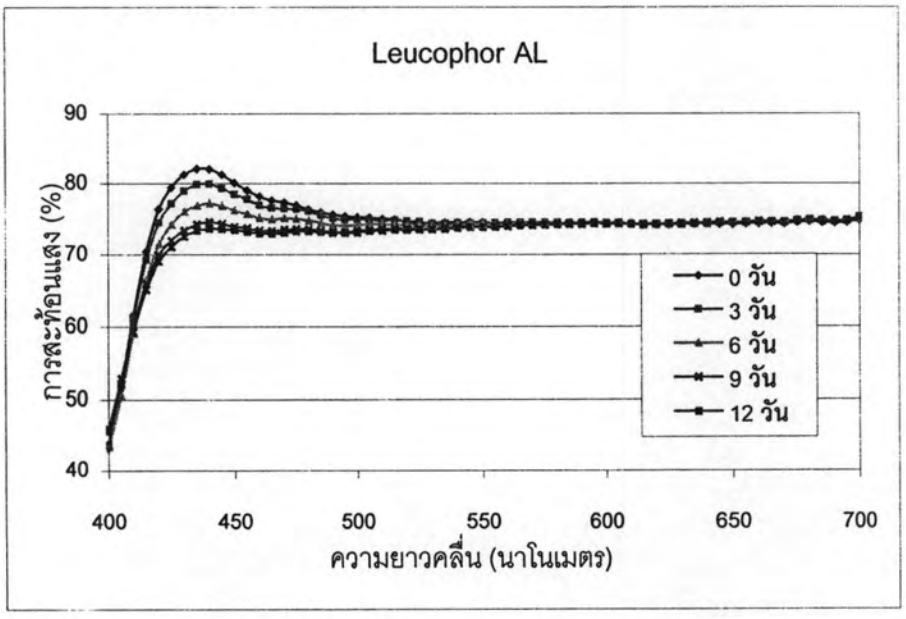
ความร้อนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงแสงของกระดาษทั้งในด้านการสะท้อนแสงที่ช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร และความขาวสว่างที่ความยาวคลื่น 457 นาโนเมตร ดังนี้

4.2.1.1 ผลของความร้อนต่อค่าการสะท้อนแสงของกระดาษ

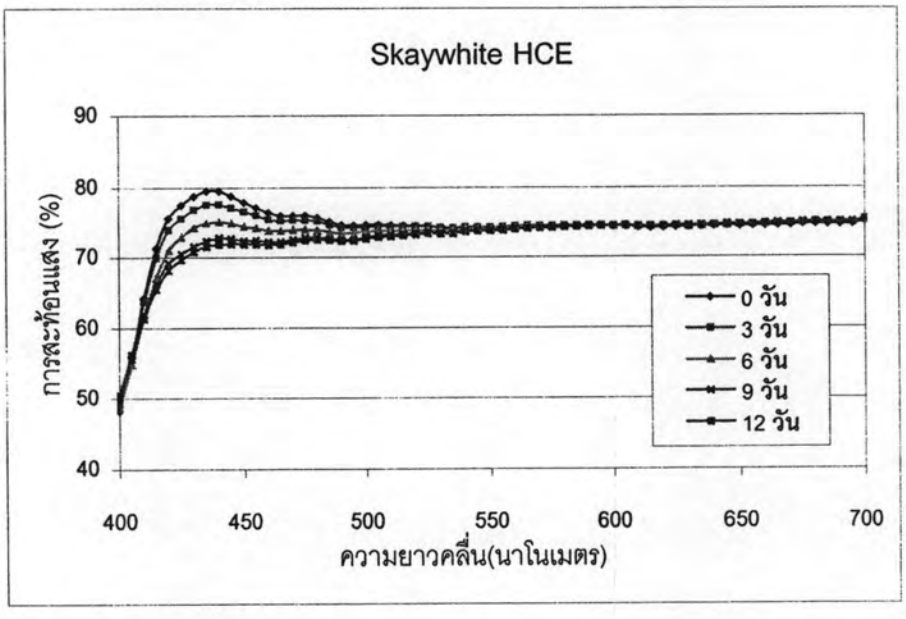
กระดาษที่ใส่และไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุโดยวิธีการอบด้วยอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส มีค่าการสะท้อนแสงลดลงเมื่อระยะเวลาในการอบนานขึ้น และจะเห็นได้ว่าที่เวลา 12 วัน ซึ่งอบนานที่สุด กระดาษจะให้ค่าการสะท้อนแสงต่ำที่สุด ดังภาพที่ 21-24



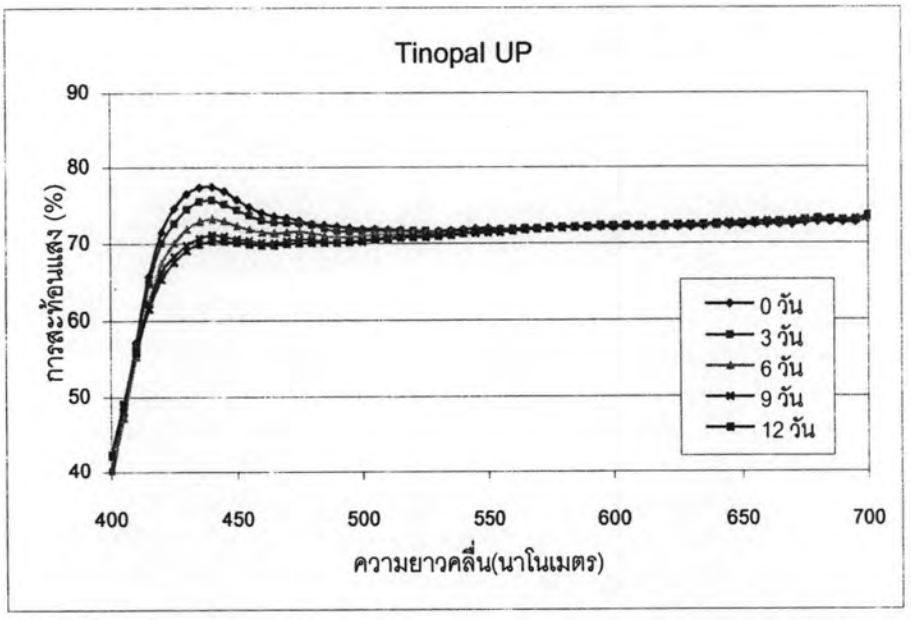
ภาพที่ 21 ค่าการสะท้อนแสง (% Reflectance) ที่ความยาวคลื่น 400 -700 นาโนเมตร ของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง ที่ผ่านการเร่งอายุโดยการอบที่เวลาต่าง ๆ



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

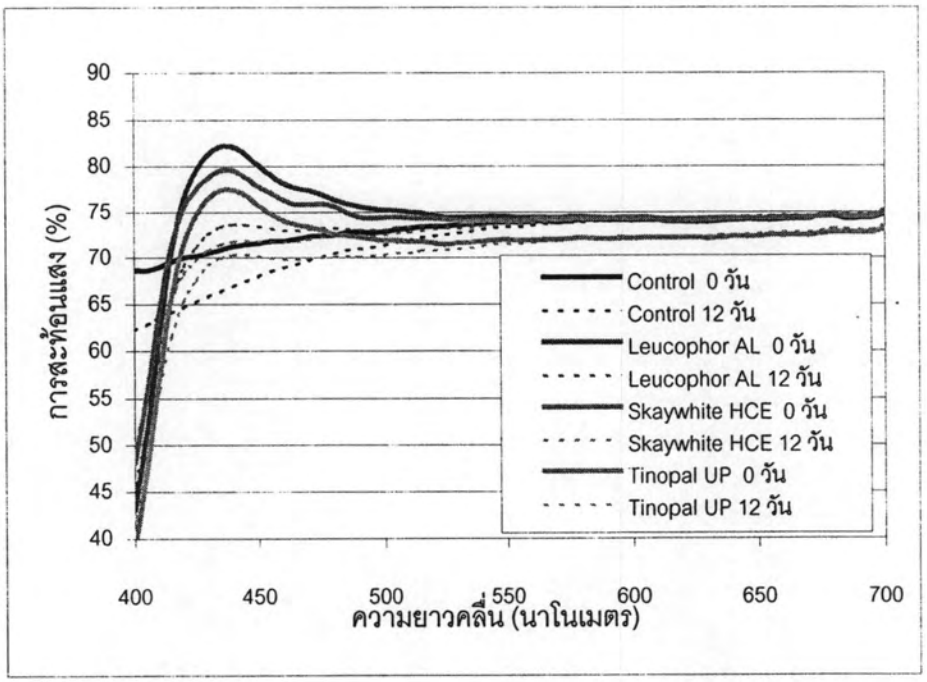


ภาพที่ 23 ค่าการสะท้อนแสง (% Reflectance) ที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุโดยการอบที่เวลาต่าง ๆ



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

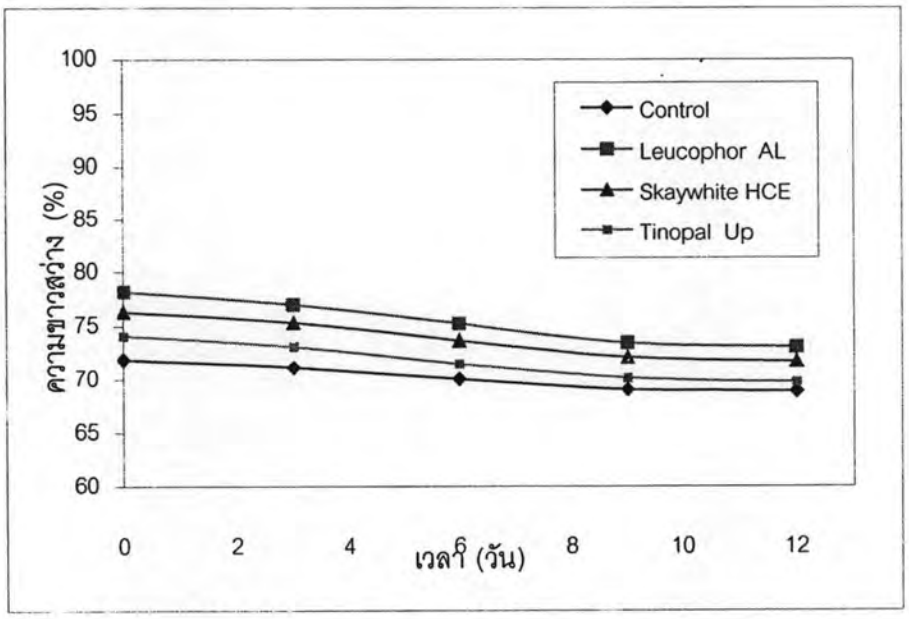
เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะกระดาษที่ไม่ผ่านการเร่งอายุ และที่ผ่านการเร่งอายุด้วยการอบเป็นเวลา 12 วัน ดังแสดงในภาพที่ 25 พบว่าเมื่อผ่านการอบเป็นเวลา 12 วัน เท่ากัน กระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ให้ค่าการสะท้อนแสงที่ 440 นาโนเมตร สูงที่สุด และกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ให้ค่าการสะท้อนแสงต่ำที่สุด โดยในช่วงความยาวคลื่น 420-470 นาโนเมตรยังมีค่าการสะท้อนแสงสูงกว่ากระดาษที่ไม่ได้ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง (control) แต่ในช่วงตั้งแต่ 470 นาโนเมตรขึ้นไปจะมีค่าการสะท้อนแสงต่ำกว่ากระดาษที่ไม่ได้ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างเลย



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

4.2.1.2 ผลของความร้อนต่อความขาวสว่างของกระดาษ

เมื่อเปรียบเทียบความขาวสว่างที่ความยาวคลื่น 457 นาโนเมตร ของกระดาษที่ใส่และไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง (control) ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยการอบที่เวลาต่าง ๆ พบว่าความขาวสว่างของกระดาษจะลดลงตามเวลาการอบที่เพิ่มขึ้นแสดงดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 ค่าความขาวสว่างของกระดาษที่ผ่านการเร่งอายุด้วยการอบที่เวลาต่าง ๆ

จากภาพที่ 26 แสดงถึงความขาวสว่างของกระดาษที่ผ่านการอบเป็นเวลา 0, 3, 6, 9 และ 12 วัน ซึ่งจะเห็นได้ว่ากระดาษจะมีค่าความขาวสว่างสูงที่สุดก่อนการเร่งอายุด้วยการอบ คือที่เวลา 0 วัน เมื่อทำการอบเป็นเวลา 3 วัน ความขาวสว่างของกระดาษก็จะเริ่มลดลงและจะลดลงมากขึ้นเมื่ออบกระดาษที่เวลานานขึ้น ซึ่งการอบด้วยเวลานานที่สุด คือที่เวลา 12 วัน จะทำให้ค่าความขาวสว่างต่ำที่สุด นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบความขาวสว่างของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง พบว่าค่าความขาวสว่างทั้งก่อนและหลังอบของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL มีมากที่สุด ส่วนกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP มีค่าน้อยที่สุด และจะเห็นได้ว่าค่าความขาวสว่างของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL กระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE และกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ที่ผ่านการอบที่เวลาต่าง ๆ ยังคงมีค่าสูงกว่ากระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการอบที่เวลาเดียวกัน

4.2.2 ผลของแสงต่อสมบัติเชิงแสงของกระดาษ

ในส่วนของวิธีการเร่งอายุด้วยแสงและรังสียูวีนี้ เนื่องจากตัวอย่างกระดาษที่ใช้ทำการเร่งอายุในแต่ละช่วงเวลาไม่ได้มาจากแผ่นเดียวกัน จึงรายงานเป็นค่าความแตกต่างของการสะท้อนแสงของกระดาษแผ่นนั้นก่อนและหลังการเร่งอายุแทน ดังนี้

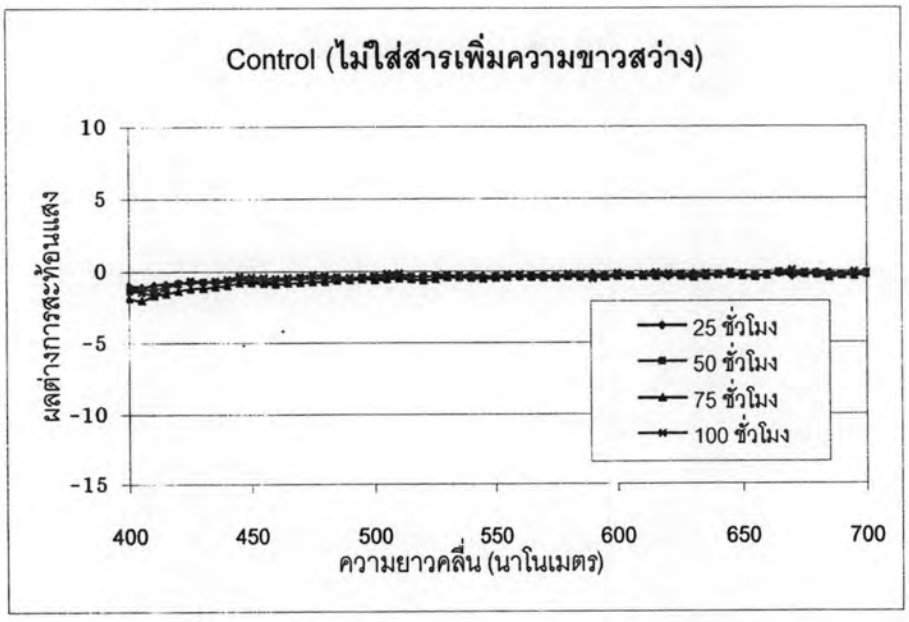
ผลต่างการสะท้อนแสง = การสะท้อนแสง (ก่อนเร่งอายุ) - การสะท้อนแสง (หลังเร่งอายุ)

(Δ Reflectance)

หากผลต่างการสะท้อนแสงมีค่าเป็นบวก แสดงว่ากระดาษมีค่าการสะท้อนแสงในความยาวคลื่นนั้นลดลงหลังเร่งอายุ และหากผลต่างการสะท้อนแสงมีค่าเป็นลบ แสดงว่ากระดาษมีค่าการสะท้อนแสงในความยาวคลื่นนั้นเพิ่มขึ้นหลังเร่งอายุ

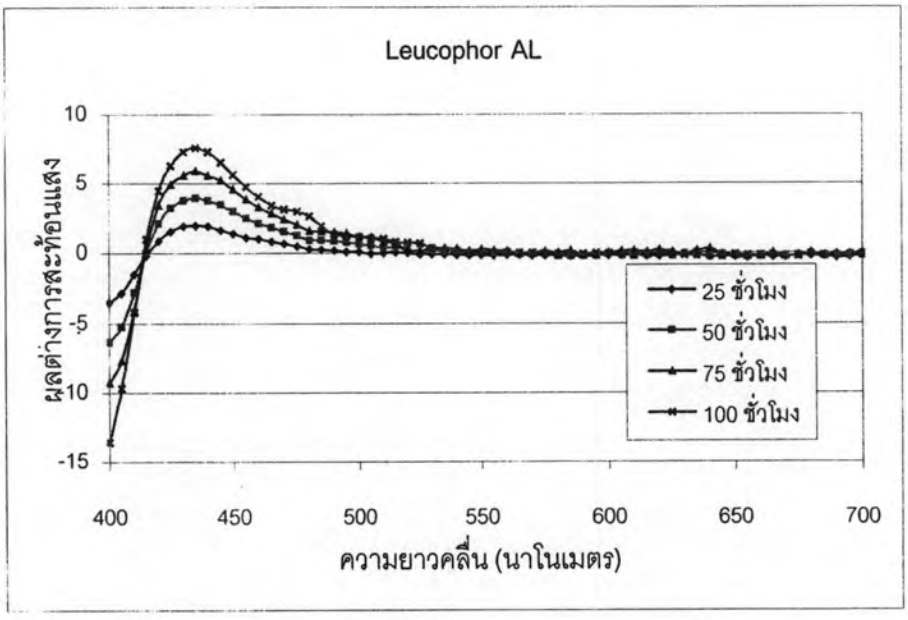
4.2.2.1 ผลของแสงต่อค่าการสะท้อนแสงของกระดาษ

กระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสงมีค่าการสะท้อนแสงที่ไม่แตกต่างกันชัดเจนนักในแต่ละช่วงเวลาที่เร่งอายุ ดังแสดงในภาพที่ 27 ส่วนกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสงมีค่าการสะท้อนแสงเปลี่ยนไป กล่าวคือ ในช่วงความยาวคลื่นต่ำกว่า 420 นาโนเมตร ผลต่างการสะท้อนแสงมีค่าลบมากขึ้นตามระยะเวลาของการฉายแสง แสดงว่ากระดาษมีการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นนี้เพิ่มขึ้น ส่วนในช่วงความยาวคลื่น 420-500 นาโนเมตร นั้น กระดาษมีผลต่างการสะท้อนแสงเป็นบวกมากขึ้นตามระยะเวลาของการฉายแสง แสดงว่ากระดาษมีการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นนี้ลดลง ดังแสดงในภาพที่ 28 – 30

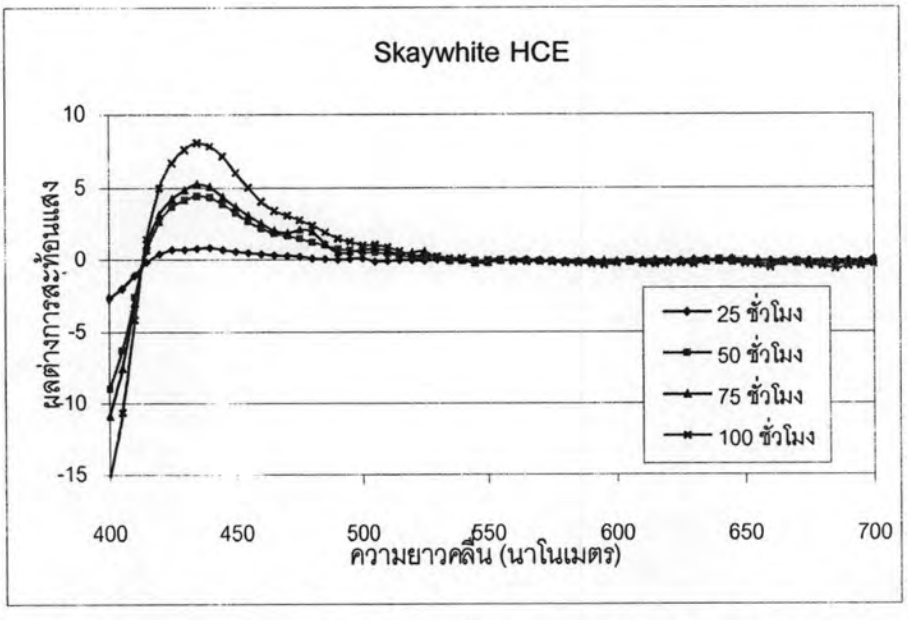


ภาพที่ 27 ผลต่างการสะท้อนแสง (ΔReflectance) ที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุโดยการอาบแสงที่เวลาต่าง ๆ

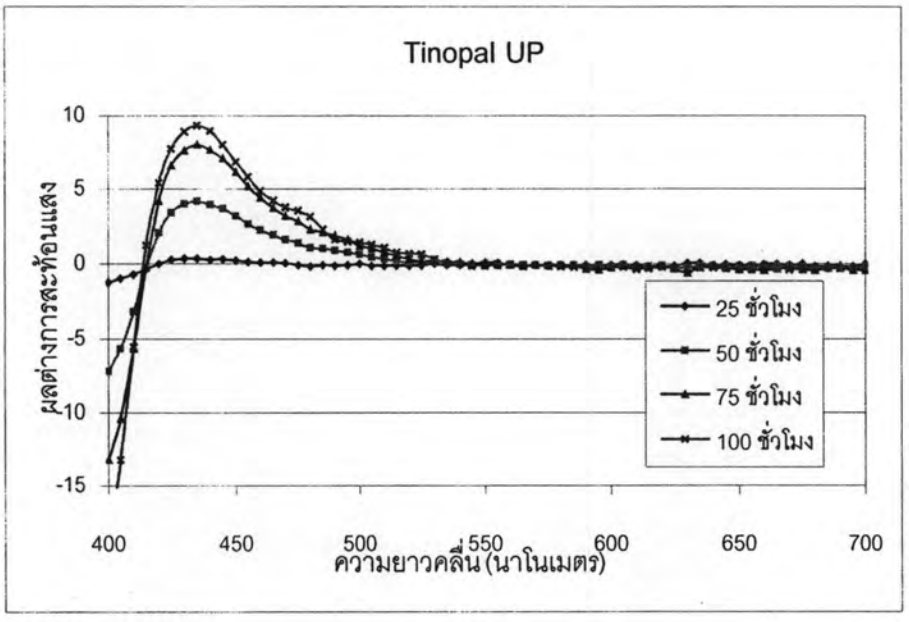
กระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสงมีค่าการสะท้อนแสงลดลงเมื่อระยะเวลาในการฉายแสงนานขึ้น โดยสารเพิ่มความขาวสว่างจะดูดกลืนแสงในช่วงน้อยกว่า 420 นาโนเมตรทำให้ค่าการสะท้อนแสงเป็น – จากนั้นจะสะท้อนออกมาในช่วงความยาวคลื่น 420-500 นาโนเมตร ซึ่งค่าการสะท้อนแสงจะเป็น + โดยจะเห็นได้ว่าที่เวลา 100 ชั่วโมง กระดาษมีค่าการสะท้อนแสงเปลี่ยนไปมากที่สุดโดยในช่วงความยาวคลื่นต่ำกว่า 420 นาโนเมตร การเร่งอายุด้วยแสงทำให้ผลต่างการสะท้อนแสงมีค่าเป็นลบมากขึ้น ซึ่งหมายถึงค่าการสะท้อนแสงที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้น่าจะเกิดจากการเสื่อมสภาพของสารเพิ่มความขาวสว่างความสามารถในการดูดกลืนรังสียูวีของกระดาษจึงลดลง



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

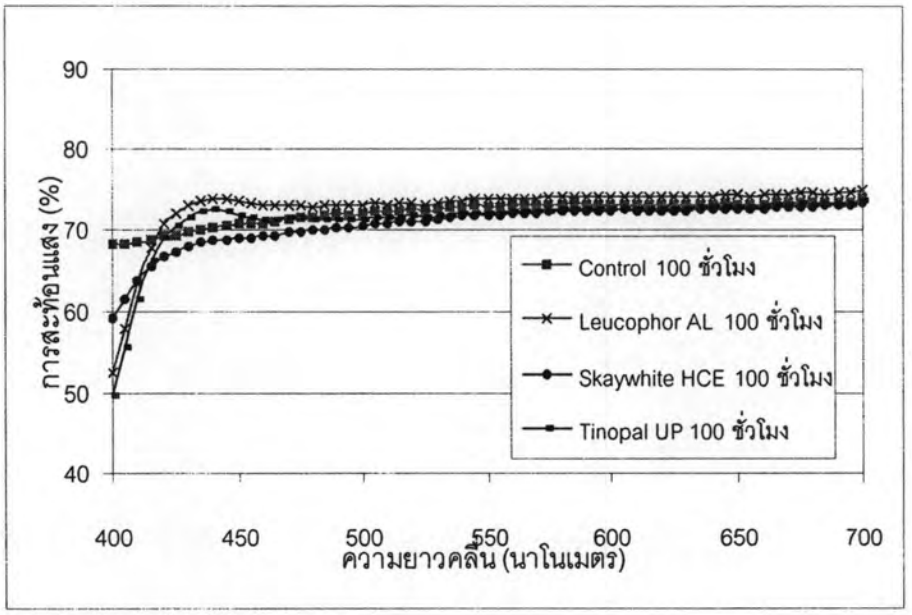


ภาพที่ 29 ผลต่างการสะท้อนแสง (ΔReflectance) ที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุโดยอาบแสงที่เวลาต่าง ๆ



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

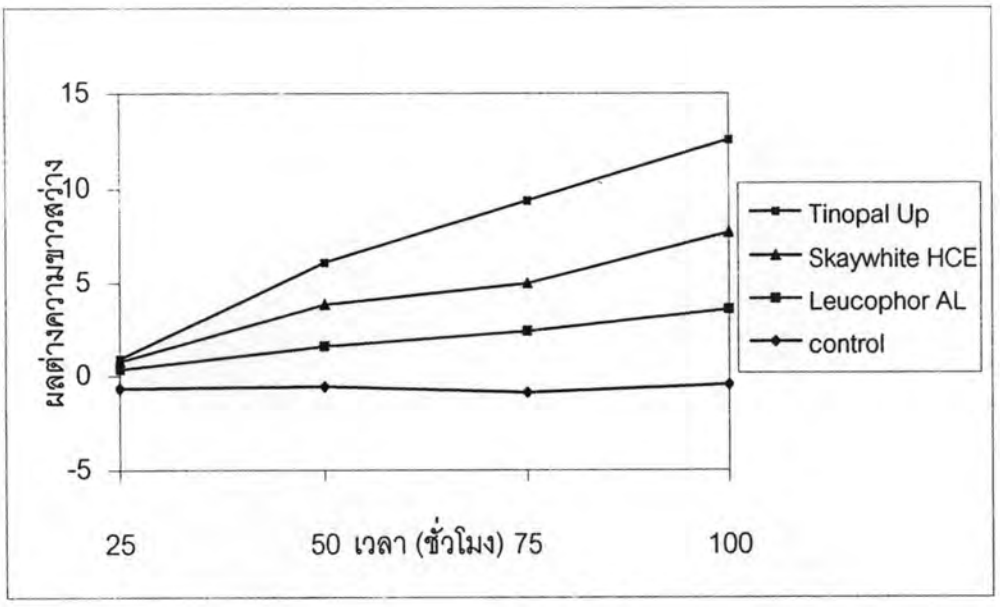
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกระดาษชนิดต่างๆ ที่เร่งอายุด้วยแสงเป็นระยะเวลานานที่สุด คือ 100 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 31 จะเห็นว่ามีค่าการสะท้อนแสงไม่แตกต่างกันมากนัก อย่างไรก็ตามจะสังเกตได้ว่า กระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างบางชนิด อาทิ Leucophor AI และ Tinopal UP ยังให้ค่าการสะท้อนแสงที่ 440 นาโนเมตร สูงกว่ากระดาษที่ไม่ได้ใส่สารเพิ่มขาวสว่าง ในขณะที่สารเพิ่มความขาวสว่างบางชนิด อาทิ Skaywhite HCE ให้ค่าการสะท้อนแสงที่ 440 นาโนเมตร ต่ำกว่ากระดาษที่ไม่ได้ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างเลย



ภาพที่ 31 ค่าการสะท้อนแสงของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง (Control) และกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างชนิดต่างๆ ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสง เป็นเวลา 100 ชั่วโมง

4.2.2.2 ผลของแสงต่อความขาวสว่างของกระดาษ

เมื่อเปรียบเทียบผลต่างของความขาวสว่างที่ความยาวคลื่น 457 นาโนเมตร ของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง (control) และกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยการอบที่เวลาต่าง ๆ เมื่อเทียบกับที่ไม่ได้เร่งอายุ พบว่า ผลต่างของความขาวสว่างของกระดาษที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีอาบด้วยแสงเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเร่งอายุ ดังแสดงในภาพที่ 32



ภาพที่ 32 ผลต่างความขาวสว่างของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง (Control) และกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างชนิดต่างๆ ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสง เป็นเวลา 100 ชั่วโมง

จากภาพที่ 32 จะเห็นว่าผลต่างของค่าความขาวสว่างของกระดาษที่ความยาวคลื่น 457 นาโนเมตร ของกระดาษที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสงเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เวลาอาบแสงนานขึ้น โดยที่เวลา 100 ชั่วโมง ซึ่งนานที่สุด จะมีค่าผลต่างความขาวสว่างสูงที่สุด โดยกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP มีผลต่างความขาวสว่างที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ในการเร่งอายุมากที่สุด ส่วนกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง (control) นั้นมีผลต่างความขาวสว่างที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ในการเร่งอายุต่ำที่สุด

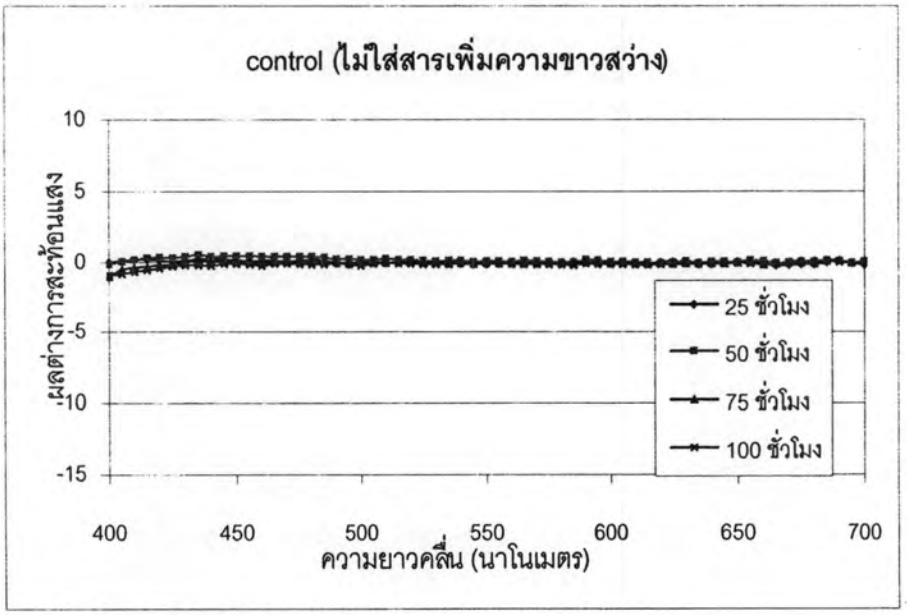
จากคำกล่าวข้างต้นว่าหากผลต่างของความขาวสว่างเป็นบวกหรือมีค่ามาก หมายความว่ากระดาษมีความขาวสว่างที่เวลานั้นลดลงหลังเร่งอายุ และหากผลต่างความขาวสว่างเป็นลบหรือมีค่าน้อย แสดงว่ากระดาษมีความขาวสว่างที่เวลานั้นเพิ่มขึ้นหลังเร่งอายุ ดังนั้นที่เวลา 100 วัน ซึ่งอาบแสงนานที่สุด กระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP จึงมีความขาวสว่างลดลงมากที่สุด รองลงมาเป็นกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE และกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ส่วนกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง (control) มีความขาวสว่างเพิ่มขึ้นหลังอาบด้วยแสงเนื่องจากจากมีผลต่างความขาวสว่างเป็นลบซึ่งต่างจากกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง

4.2.3 ผลของรังสียูวีต่อสมบัติเชิงแสงของกระดาษ

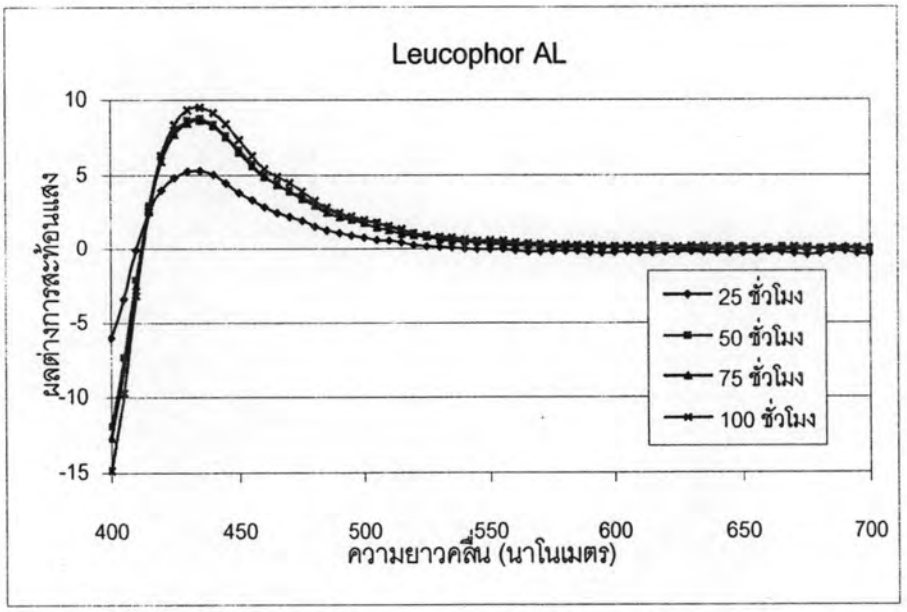
รังสียูวีมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงแสงของกระดาษทั้งในด้านการสะท้อนแสงที่ช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร และความขาวสว่างที่ความยาวคลื่น 457 นาโนเมตร ดังนี้

4.2.3.1 ผลของรังสียูวีต่อค่าการสะท้อนแสงของกระดาษ

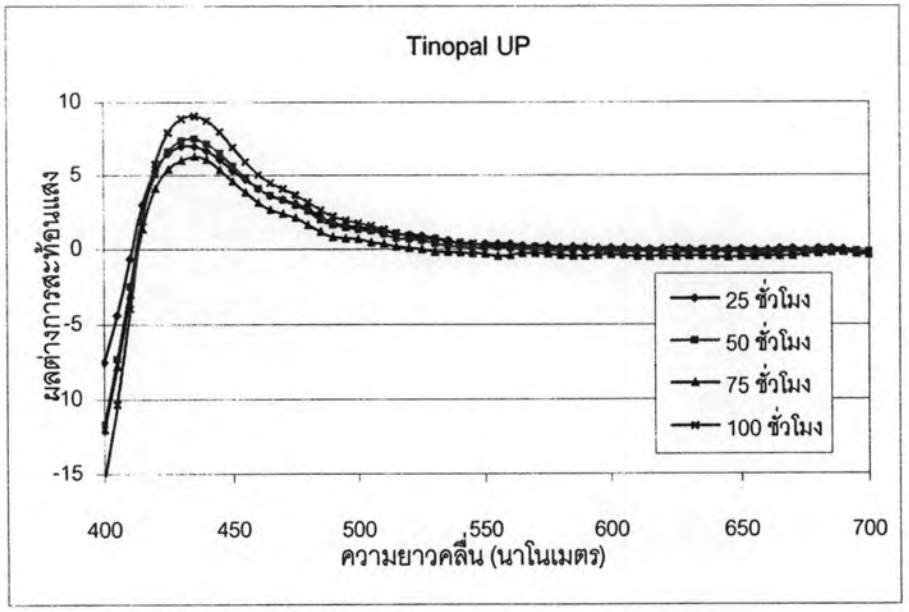
กระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวีมีค่าการสะท้อนแสงที่ไม่แตกต่างกันชัดเจนในแต่ละเวลาที่เร่งอายุ ดังแสดงในภาพที่ 33 ส่วนกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวีมีค่าการสะท้อนแสงเปลี่ยนไปในลักษณะคล้ายคลึงกับเมื่อเร่งอายุด้วยแสงจากหลอดไฟซีนอน กล่าวคือ ในช่วงความยาวคลื่นต่ำกว่า 420 นาโนเมตร ผลต่างการสะท้อนแสงมีค่าเป็นลบมากขึ้นตามระยะเวลาของการฉายรังสียูวี แสดงว่ากระดาษมีการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นนี้เพิ่มขึ้น ส่วนในช่วงความยาวคลื่น 420-500 นาโนเมตร นั้น กระดาษมีผลต่างการสะท้อนแสงเป็นบวกมากขึ้นตามระยะเวลาของการฉายแสง ซึ่งแสดงว่ากระดาษมีการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นนี้ลดลง ดังแสดงในภาพที่ 34-36 อย่างไรก็ตาม ในช่วงความยาวคลื่น 420-500 นาโนเมตรนี้ จะสังเกตเห็นว่ากระดาษเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในช่วง 25 ชั่วโมงแรก (และ 50 ชั่วโมงแรก สำหรับ Leucophor AI) จากนั้นไม่เกิดความเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก และกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE มีค่าการสะท้อนแสงที่ต่ำที่สุดที่เวลา 75 ชั่วโมง ซึ่งต่างจากกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างชนิดอื่น



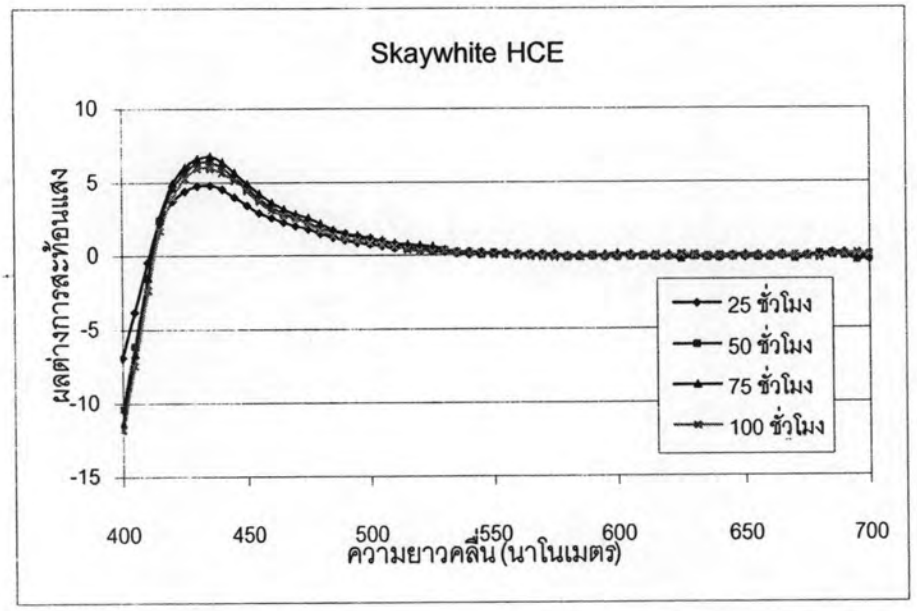
ภาพที่ 33 ผลต่างการสะท้อนแสง (Δ Reflectance) ที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง ที่ผ่านการเร่งอายุโดยการอาบรังสียูวีที่เวลาต่าง ๆ



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

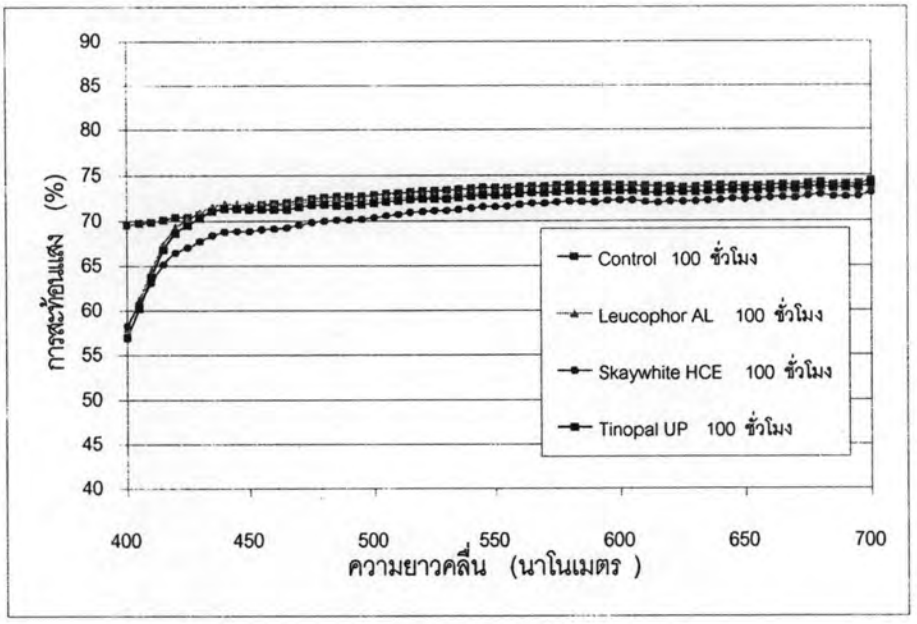


ภาพที่ 35 ผลต่างการสะท้อนแสง (Δ Reflectance) ที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ผ่านการเร่งอายุโดยอาบรังสียูวีที่เวลาต่าง ๆ



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

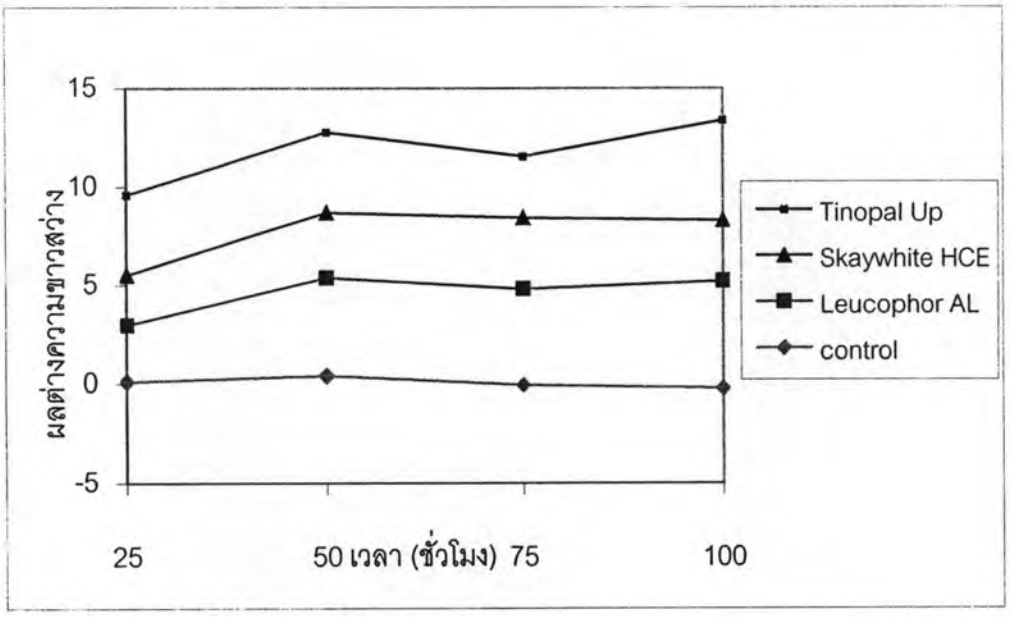
เมื่อเปรียบเทียบค่าการสะท้อนแสงเฉพาะกระดาษที่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวีเป็นเวลา 100 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 37 พบว่า กระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE มีค่าการสะท้อนแสงต่ำที่สุดในช่วงความยาวคลื่น 420-700 นาโนเมตร และต่ำกว่ากระดาษที่ไม่ได้ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างเลย ส่วนกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างอีก 2 ชนิด มีค่าการสะท้อนแสงใกล้เคียงกับกระดาษที่ไม่ได้ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง



ภาพที่ 37 ค่าการสะท้อนแสงของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง (Control) และกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างชนิดต่างๆ ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวี เป็นเวลา 100 ชั่วโมง

4.2.3.2 ผลของรังสียูวีต่อความขาวสว่างของกระดาษ

เมื่อเปรียบเทียบผลต่างของความขาวสว่างที่ความยาวคลื่น 457 นาโนเมตร ของกระดาษที่ใส่และกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง (control) ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยการอบที่เวลาต่าง ๆ เมื่อเทียบกับที่ไม่ได้เร่งอายุ พบว่า ความขาวสว่างของกระดาษจะลดลงตามเวลาการอบที่เพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 38



ภาพที่ 38 ผลต่างความขาวสว่างของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง (Control) และกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างชนิดต่างๆ ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสง เป็นเวลา 100 ชั่วโมง

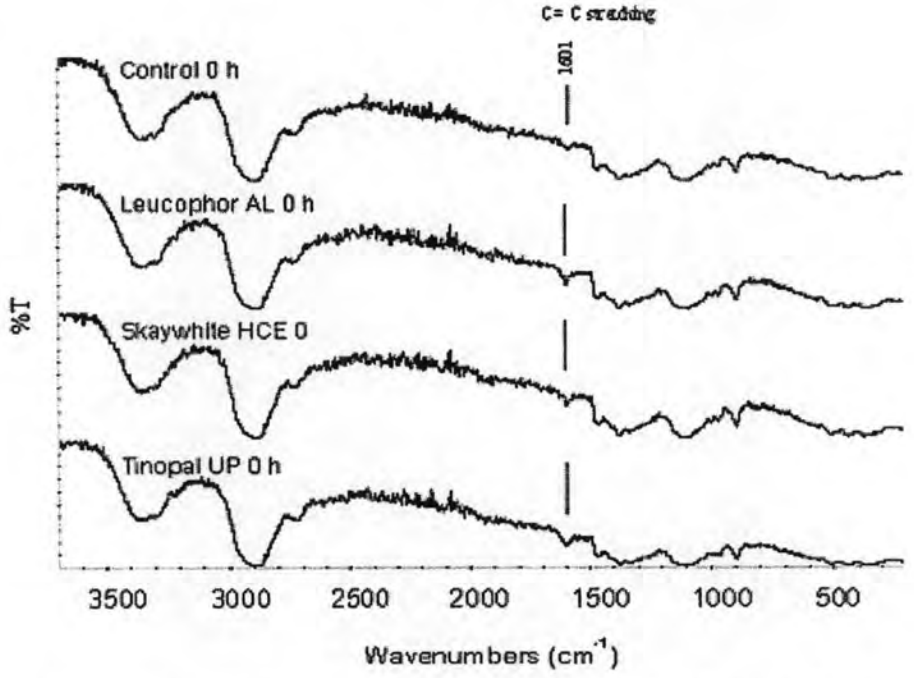
จากภาพที่ 38 จะเห็นว่าผลต่างของค่าความขาวสว่างของกระดาษที่ความยาวคลื่น 457 นาโนเมตร ของกระดาษที่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวีเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เวลาอาบรังสียูวีนานขึ้น โดยที่เวลา 100 ชั่วโมง ซึ่งนานที่สุด จะมีค่าผลต่างความขาวสว่างสูงที่สุด โดยกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP มีผลต่างความขาวสว่างที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ในการเร่งอายุมากที่สุด ส่วนกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง (control) นั้นมีผลต่างความขาวสว่างที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ในการเร่งอายุต่ำที่สุด

จากคำกล่าวข้างต้นว่าหากผลต่างของความขาวสว่างเป็นบวกหรือมีค่ามาก หมายความว่ากระดาษมีความขาวสว่างที่เวลานั้นลดลงหลังเร่งอายุ และหากผลต่างความขาวสว่างเป็นลบหรือมีค่าน้อย แสดงว่ากระดาษมีความขาวสว่างที่เวลานั้นเพิ่มขึ้นหลังเร่งอายุ ดังนั้นที่เวลา 100 วัน ซึ่งอาบรังสียูวีนานที่สุด กระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP จึงมีความขาวสว่างลดลงมากที่สุด รองลงมาเป็นกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE และกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ส่วนความขาวสว่างของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง (control) ที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ในการเร่งอายุเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย

4.3 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการเร่งอายุของกระดาษด้วยเทคนิคทางเคมี

4.3.1 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟูริเออร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Furier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR)

ผลอินฟราเรดสเปกตรัมของกระดาษที่ไม่มีสารเพิ่มความขาวสว่างและไม่ผ่านการเร่งอายุ และกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง 3 ชนิด คือ Leucophor AL, Skaywhite HCE และ Tinopal UP ซึ่งไม่ผ่านการเร่งอายุ แสดงดังภาพที่ 39

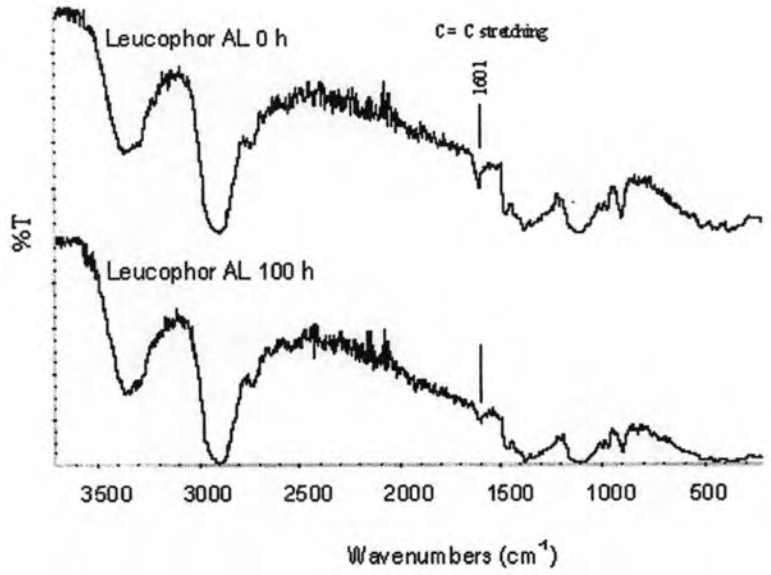


ภาพที่ 39 ฟูริเออร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกตราของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง และใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง ซึ่งไม่ผ่านการเร่งอายุ

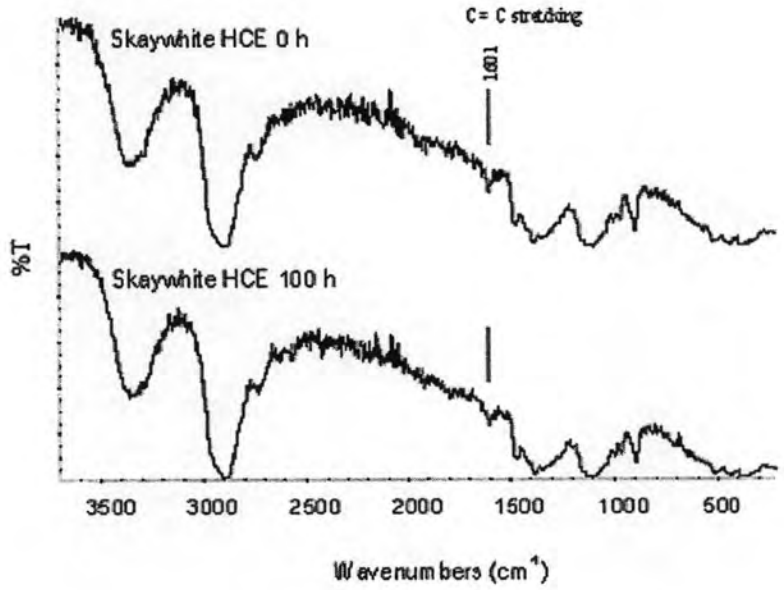
จากภาพที่ 39 พบว่ากระดาษที่ไม่มีสารเพิ่มความขาวสว่างและกระดาษที่มีสารเพิ่มความขาวสว่างทั้ง 3 ชนิด ปรากฏพีคที่คล้ายกันยกเว้นพีคที่เลขคลื่น 1601 cm^{-1} (C=C streching) ที่พบเฉพาะในกระดาษที่มีสารเพิ่มความขาวสว่างเท่านั้น โดยพีคนี้แสดงถึงการมีหมู่ C=C หรือ หมู่แอโรมาติก ที่มาจากโครงสร้างหลักของสารเพิ่มความขาวสว่างที่เป็นอนุพันธ์ของสารอะมิโนสทิลบีนไดซัลโฟนิกแอสิด (aminostilbene disulphonic acid) เหมือนกัน

ดังนั้นการบอกความแตกต่างของกระดาษที่ไม่มีสารเพิ่มความขาวสว่างและที่มีสารเพิ่มความขาวสว่างสามารถตรวจสอบได้ด้วยเทคนิคฟูริเออร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี โดยกระดาษที่มีสารเพิ่มความขาวสว่างจะปรากฏพีคที่ 1601 cm^{-1}

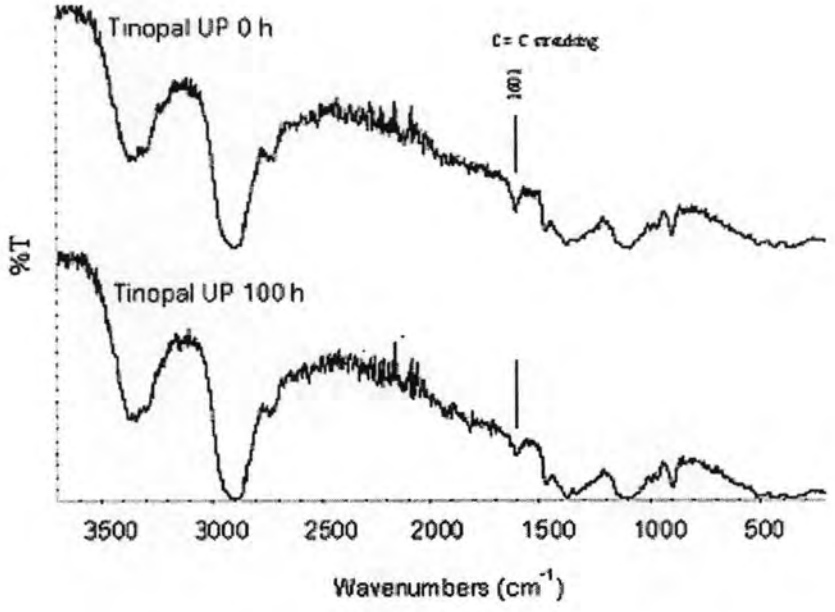
ผลกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL, Skaywhite HCE และ Tinopal UP ที่ไม่ผ่านการเร่งอายุและที่ผ่านการเร่งอายุให้อินฟราเรดสเปกตรา ดังภาพที่ 40-42



ภาพที่ 40 ฟูริเออร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกตรา ของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ซึ่งผ่านการเร่งอายุด้วยแสงเป็นเวลา 0 และ 100 ชั่วโมง



ภาพที่ 41 ฟูริเออร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกตรา ของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ซึ่งผ่านการเร่งอายุด้วยแสงเป็นเวลา 0 และ 100 ชั่วโมง



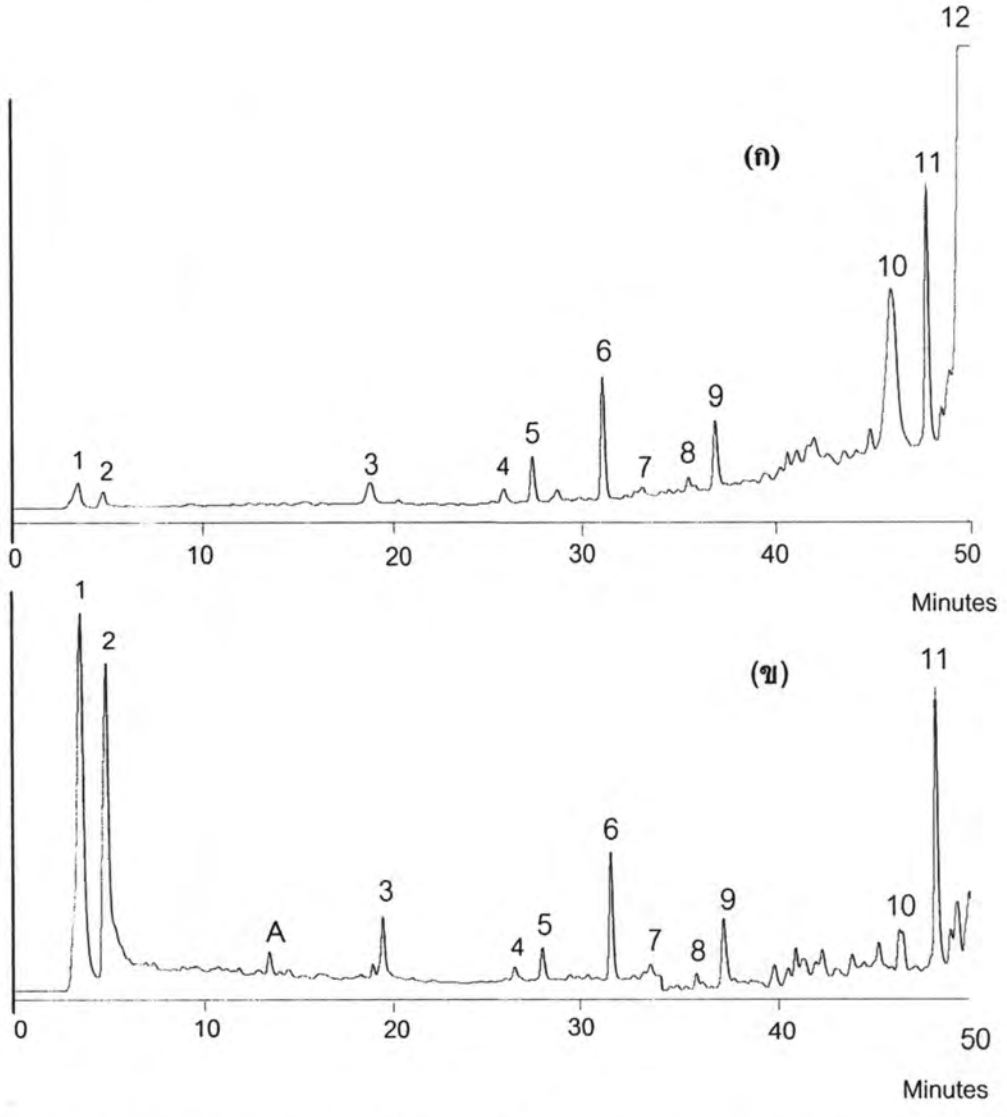
ภาพที่ 42 ฟูริเออร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกตรา ของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ซึ่งผ่านการเร่งอายุด้วยแสงเป็นเวลา 0 และ 100 ชั่วโมง

จากภาพที่ 40-42 พบว่ากระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างทั้ง 3 ชนิด ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสงเป็นเวลา 100 ชั่วโมง ปรากฏการเปลี่ยนปลงของพีคที่เลขคลื่น 1601 cm^{-1} โดยความเข้มของพีคดังกล่าวจะลดลงเมื่อเทียบกับกระดาษที่ไม่ผ่านการอาบแสง แสดงว่ามีการเปลี่ยนแปลงของหมู่ C=C เกิดขึ้น และหมายถึงมีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของสารเพิ่มความขาวสว่างด้วย ดังนั้นสารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL, Skywhite HCE และ Tinopal UP มีการเปลี่ยนแปลงเมื่ออาบแสงซีนอน แต่เนื่องจากเมื่อทำการวิเคราะห์เฉพาะกระดาษที่ไม่ผ่านการเร่งอายุและที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสงแล้วพบว่าเทคนิคนี้ไม่สามารถบอกรายละเอียดของการเปลี่ยนแปลงได้ จึงไม่ทำการวิเคราะห์กระดาษที่ไม่ผ่านการเร่งอายุและที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีให้ความร้อนและรังสียูวีต่อ แต่จะทำการวิเคราะห์คุณภาพกระดาษที่ผ่านการเร่งอายุและไม่ผ่านการเร่งอายุด้วยเทคนิคไฮ เพอร์ฟอร์มานซ์ ลิควิด โครมาโทกราฟี (High Performance Liquid Chromatogrphy, HPLC)

4.3.2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไฮ เพอร์ฟอร์มานซ์ ลิควิด โครมาโทกราฟี (High Performance Liquid Chromatogrphy, HPLC)

4.3.2.1 ผลการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อน

ผลการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อนแสดงดัง ภาพที่ 43



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

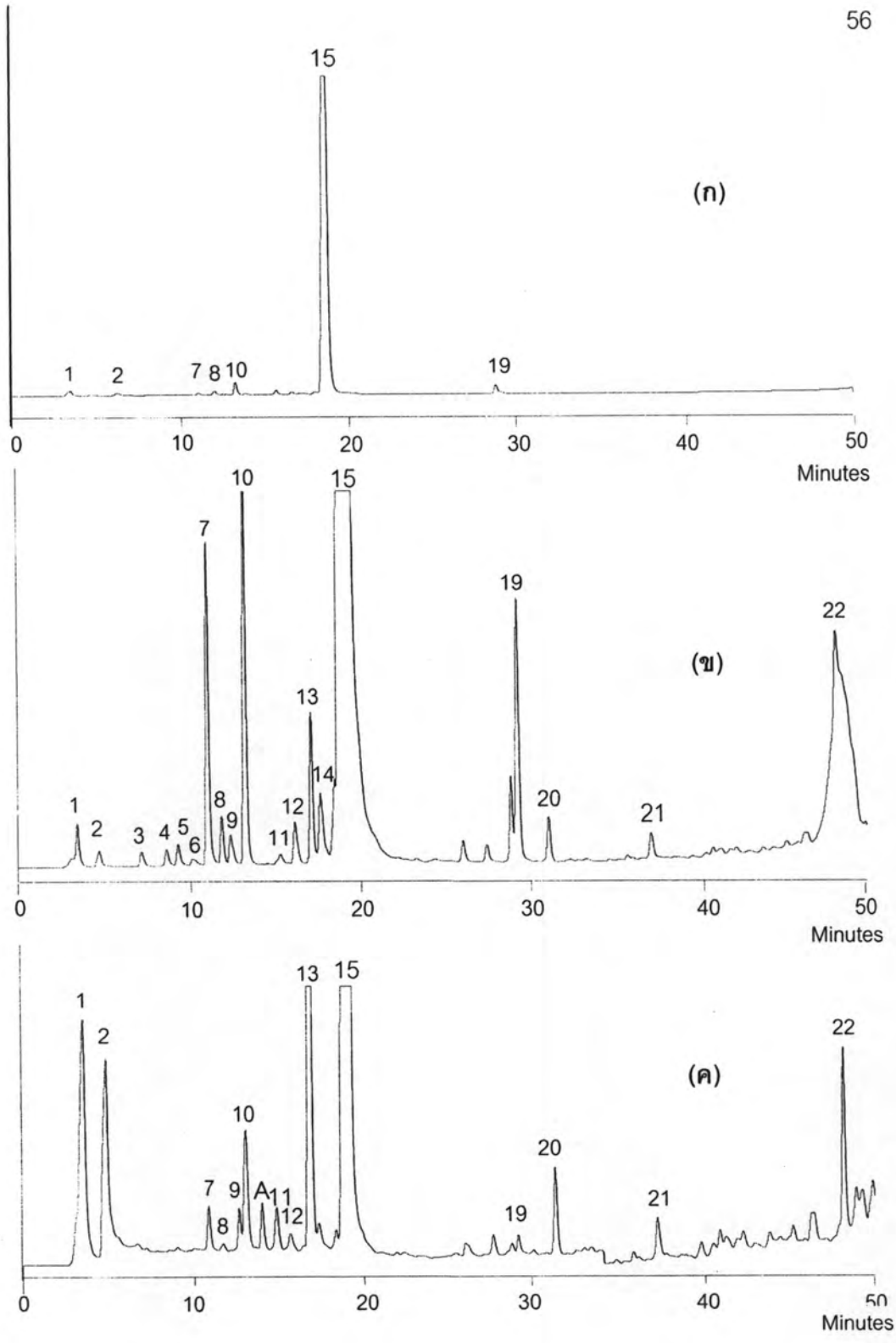
จากภาพที่ 43 พบว่าสารที่สกัดได้จากกระดาษที่ไม่มีสารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อนมีทั้งหมด 17 สาร ที่สามารถแยกออกเป็นพีคได้ เมื่อกระดาษผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อนเป็นเวลา 12 วัน พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของพีคเกิดขึ้นดังนี้ สารที่ตำแหน่งพีคที่ 1 และ 2 มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมาก ส่วนพีคที่ 3 มีการเพิ่มปริมาณเล็กน้อย นอกจากนี้สารที่ตำแหน่งพีคที่ 10 และ 12 มีปริมาณลดลงอย่างเห็นได้ชัด ส่วนพีคที่ 5 ลดลงเล็กน้อย และยังพบว่ามีสารเกิดขึ้นใหม่ที่ตำแหน่งพีค A

จากผลดังกล่าว แสดงว่าเมื่อกระดาษผ่านการเร่งอายุจะเกิดการสลายตัวของสาร 2 สาร (พีคที่ตำแหน่ง 10 และ 12) เป็นสารอื่นซึ่งอาจเป็นสารใหม่ที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งพีคที่ 3 และ/หรือเกิดสารเดิมที่มีอยู่ในกระดาษ 4 สาร (1, 2, 3 และ A)

4.3.2.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อน

ผลการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อน แสดงดังภาพที่ 44

จากภาพที่ 44 พบว่าสารที่สกัดได้จากกระดาษที่มีสารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ที่ไม่ผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อนมีพีคของสาร Leucophor AL ที่ 1, 2, 8, 10, 15 และ 19 เมื่อกระดาษผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อนเป็นเวลา 12 วัน พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของพีคเกิดขึ้นดังนี้ สารที่ตำแหน่งพีคที่ 1, 2 และ 13 มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมาก ส่วนพีคที่ 8 มีการลดลง และพบอีกว่าสารมีพีคที่ลดลงชัดเจนที่ตำแหน่ง 7, 10, 15 และ 19 ซึ่งเป็นพีคของสารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ที่ใส่ลงในกระดาษ อาจมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารอื่นที่ตำแหน่งพีค A นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นหลังพีคที่ 20 เป็นต้นไปเป็นพีคที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกระดาษเมื่อถูกเร่งอายุ

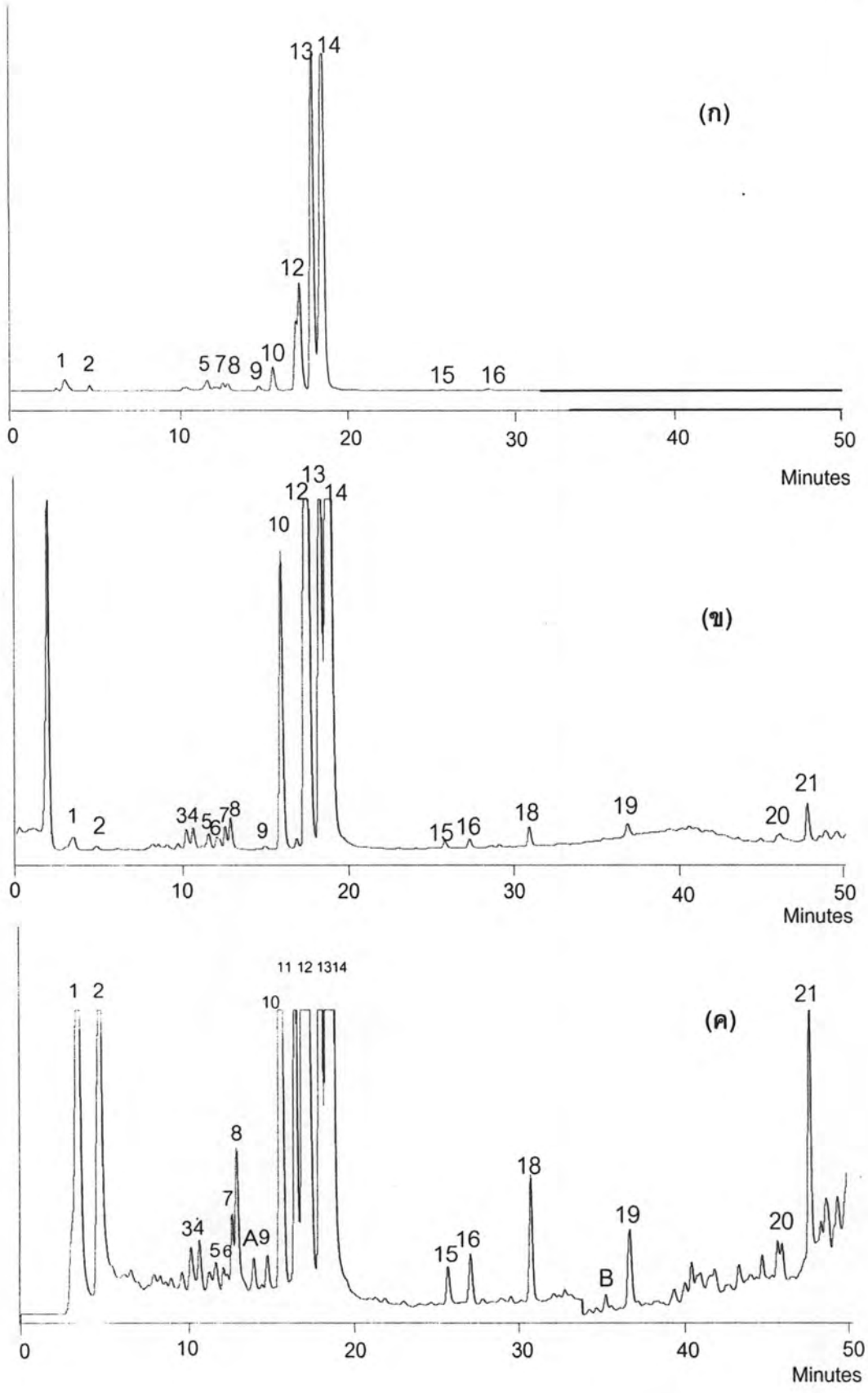


ภาพที่ 44 โครมาโทแกรม : (ก) Leucophor AL (ข) กระดาษที่ใส่ Leucophor AL และ (ค) กระดาษที่ใส่ Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อน 12 วัน

4.3.2.3 ผลการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อน

ผลการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อน แสดงดังภาพที่ 45

จากภาพที่ 45 (ก) เป็นโครมาโทแกรมของสารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE และภาพที่ 45 (ข) เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ไม่ผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อน พบว่า มีพีคของสาร Skaywhite HCE คือ พีคที่ 1, 2, 5, 7, 8, 9,10, 12, 13 และ 14 และพีคที่มาจากกระดาษที่เห็นได้ชัด คือ ตั้งแต่พีคที่18 เป็นต้นไป เมื่อกระดาษผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อนเป็นเวลา 12 วัน ดังแสดงในโครมาโทรแกรมภาพ 45 (ค) พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของพีคเกิดขึ้นดังนี้ สารที่ตำแหน่งพีคที่ 1 และ 2 มีปริมาณเพิ่มขึ้นเห็นได้ชัด นอกจากนี้จะเห็นได้ว่ามีพีคที่ตำแหน่ง 6, 7, 8 และ 9 มีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และพบพีคใหม่ที่ตำแหน่ง A และ B นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นหลังพีคที่ 16 เป็นต้นไปเป็นพีคที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกระดาษเมื่อถูกเร่งอายุ



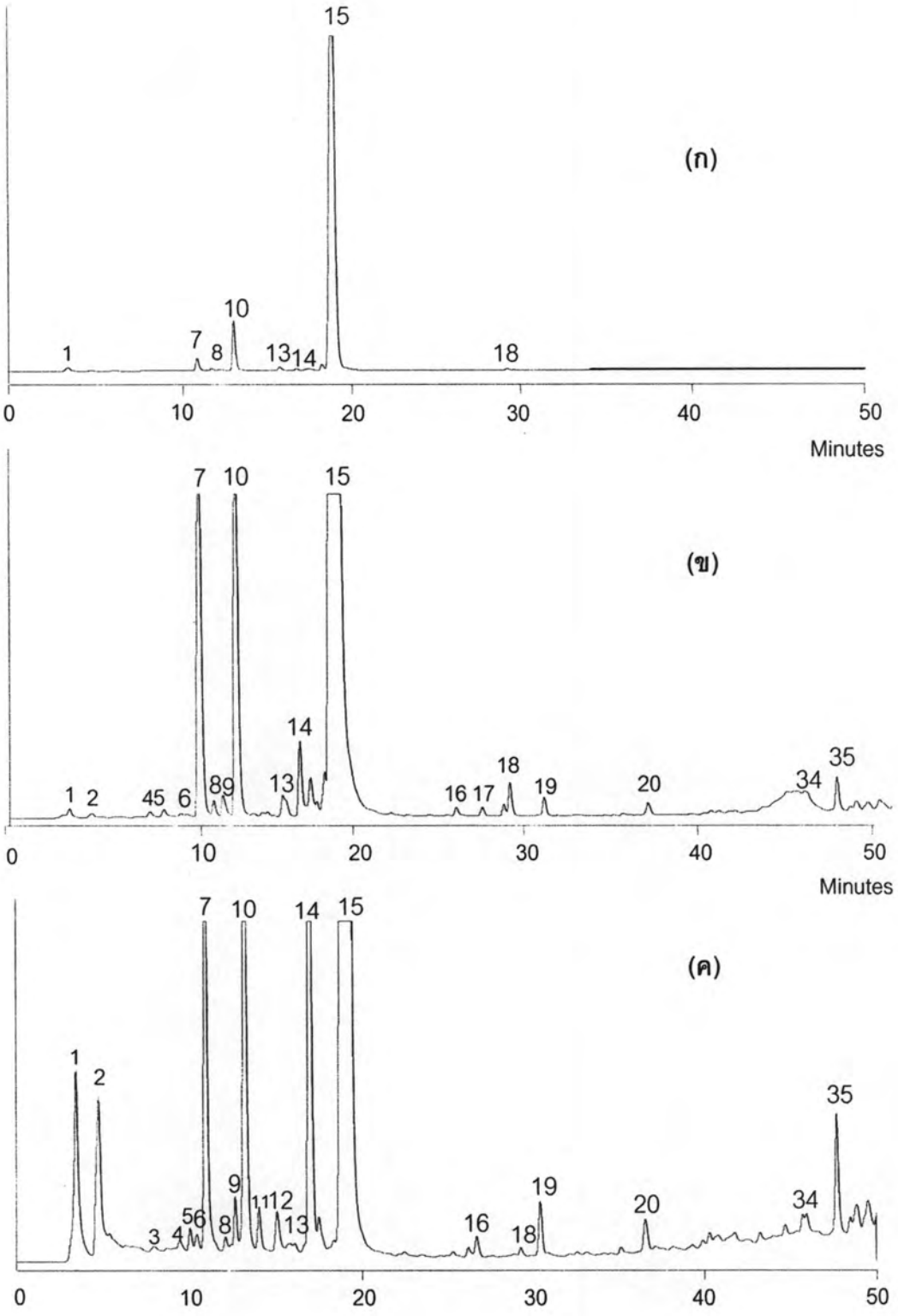
ภาพที่ 45 โครมาโทแกรม : (ก) Skaywhite HCE (ข) กระดาษที่ใส่ Skaywhite HCE และ (ค) กระดาษที่ใส่ Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อน 12 วัน

4.3.2.4 ผลการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อน

ผลการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อน แสดงดังภาพที่ 46

จากภาพที่ 46 (ก) เป็นโครมาโทแกรมของสารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP และภาพที่ 46 (ข) เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ที่ไม่ผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อน พบ คือ มีพีคของสาร Tinopal UP คือพีคที่ 1, 7 , 8, 10, 13 ,14, 15 และ 18 และพีคที่มาจากกระดาษที่เห็นได้ชัด คือ ตั้งแต่พีคที่16 เป็นต้นไป และเมื่อกระดาษผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อน 12 วัน ดังแสดงในโครมาโทรแกรมภาพ 46 (ค) พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของพีคเกิดขึ้นดังนี้ สารที่ตำแหน่งพีคที่ 1 และ 2 มีปริมาณเพิ่มขึ้นเห็นได้ชัด และมีพีคที่เพิ่มขึ้นที่ตำแหน่ง 5, 9, 11, 12, 16,19, 20, 34 และ 35 เช่นกัน นอกจากนี้พีคที่ลดลง ได้แก่ พีคที่ 13 และ 18 ซึ่งพบว่าทั้ง 2 พีคนี้เป็นพีคของสารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP และพีคที่เกิดขึ้นหลังพีคที่ 18 เป็นต้นไปเป็นพีคที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกระดาษเมื่อเร่งอายุ

จากการเร่งอายุกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างชนิดต่าง ๆ ทั้ง 3 ชนิด ด้วยความร้อน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของพีคที่เป็นของกระดาษอย่างชัดเจนกว่าพีคที่เป็นของสารเพิ่มความขาวสว่าง โดยเฉพาะในตำแหน่งที่ 1 และ 2 ที่เป็นพีคของกระดาษซึ่งเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนทั้งในกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างและกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง

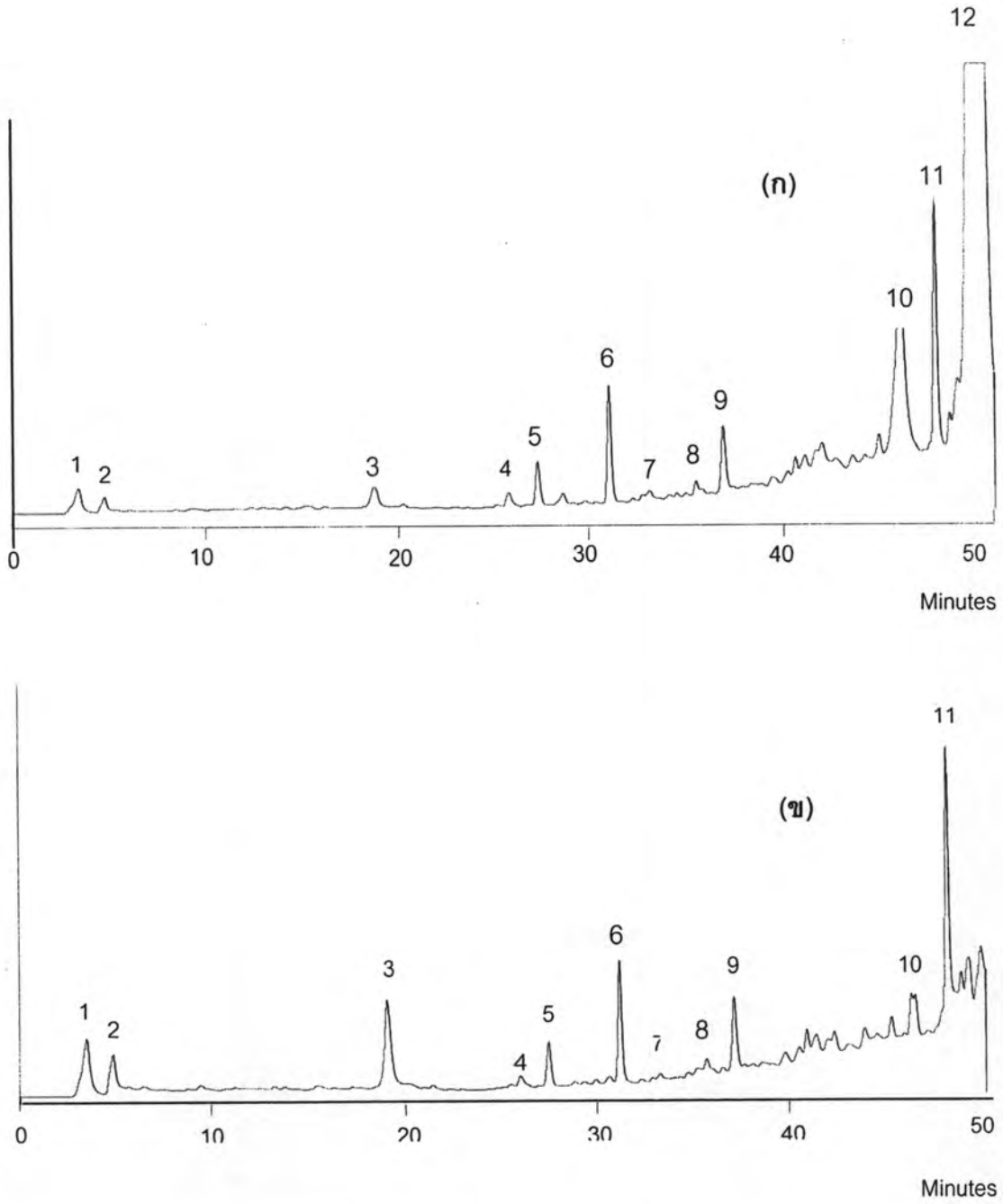


ภาพที่ 46 โครมาโทแกรม : (ก) Tinopal UP (ข) กระดาษที่ใส่สาร Tinopal UP และ (ค) กระดาษที่ใส่ Tinopal UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อน 12 วัน

4.3.3 ผลการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสง

4.3.3.1 ผลการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสง

ผลการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสงแสดงดังภาพที่ 47



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

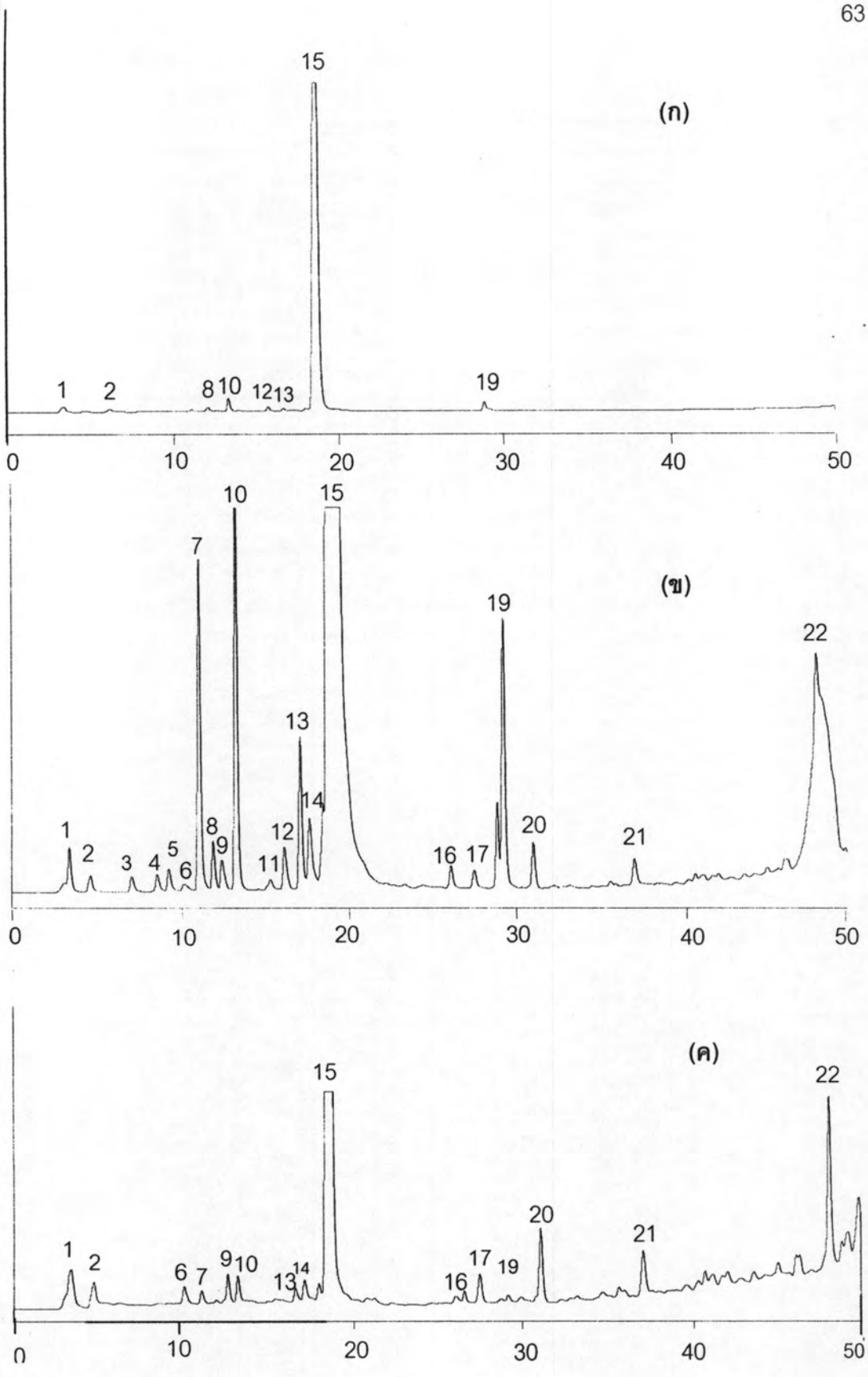
จากภาพที่ 47 พบว่าสารที่สกัดได้จากกระดาษที่ไม่มีสารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสงมีทั้งหมด 11 สาร ที่สามารถแยกออกเป็นพีคได้ เมื่อกระดาษผ่านการเร่งอายุด้วยแสงเป็นเวลา 100 ชั่วโมง พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของพีคเกิดขึ้นดังนี้ สารที่ตำแหน่งพีคที่ 1 และ 2 มีปริมาณเพิ่มขึ้น ส่วนพีคของสารที่ตำแหน่งพีคที่ 3 เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ยังพบว่าสารมีปริมาณลดลงอย่างเห็นได้ชัดที่ตำแหน่งพีคที่ 10 และ 12

จากผลดังกล่าว แสดงว่าเมื่อกระดาษผ่านการเร่งอายุจะเกิดการสลายตัวของสาร 2 สาร (พีคที่ตำแหน่ง 10 และ 12) เป็นสารอื่นซึ่งเกิดขึ้นที่ตำแหน่งพีคที่ 1, 2 และ 3

4.3.3.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสง

ผลการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสง แสดงดังภาพที่ 48

จากภาพที่ 48 (ก) เป็นโครมาโทแกรมของสารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL และภาพที่ 48 (ข) เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ที่ไม่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสงมีส่วนที่เป็นพีคของสาร Leucophor AL ที่ 1, 2, 8, 10,12, 13, 15 และ 19 และส่วนที่เป็นพีคของกระดาษที่เห็นชัดเจน คือ 16, 17, 20, 21 และ 22 และภาพที่ 48 (ค) เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสงเป็นเวลา 100 ชั่วโมง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของพีคเกิดขึ้นดังนี้ สารที่ตำแหน่งพีคที่ 1, 2, 6, 17, 20 และ 21 ปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนพีคที่ 7, 10, 13, 14, 15, 19 และ 22 มีปริมาณลดลง นอกจากนี้ยังพบว่ามีพีคที่หายไปหลังจากเร่งอายุ คือ พีคที่ 3, 4, 5, 11 และ 12 และพีคที่ 20 เป็นต้นไป เป็นพีคที่เกิดจาการเปลี่ยนแปลงของกระดาษเมื่อเร่งอายุ



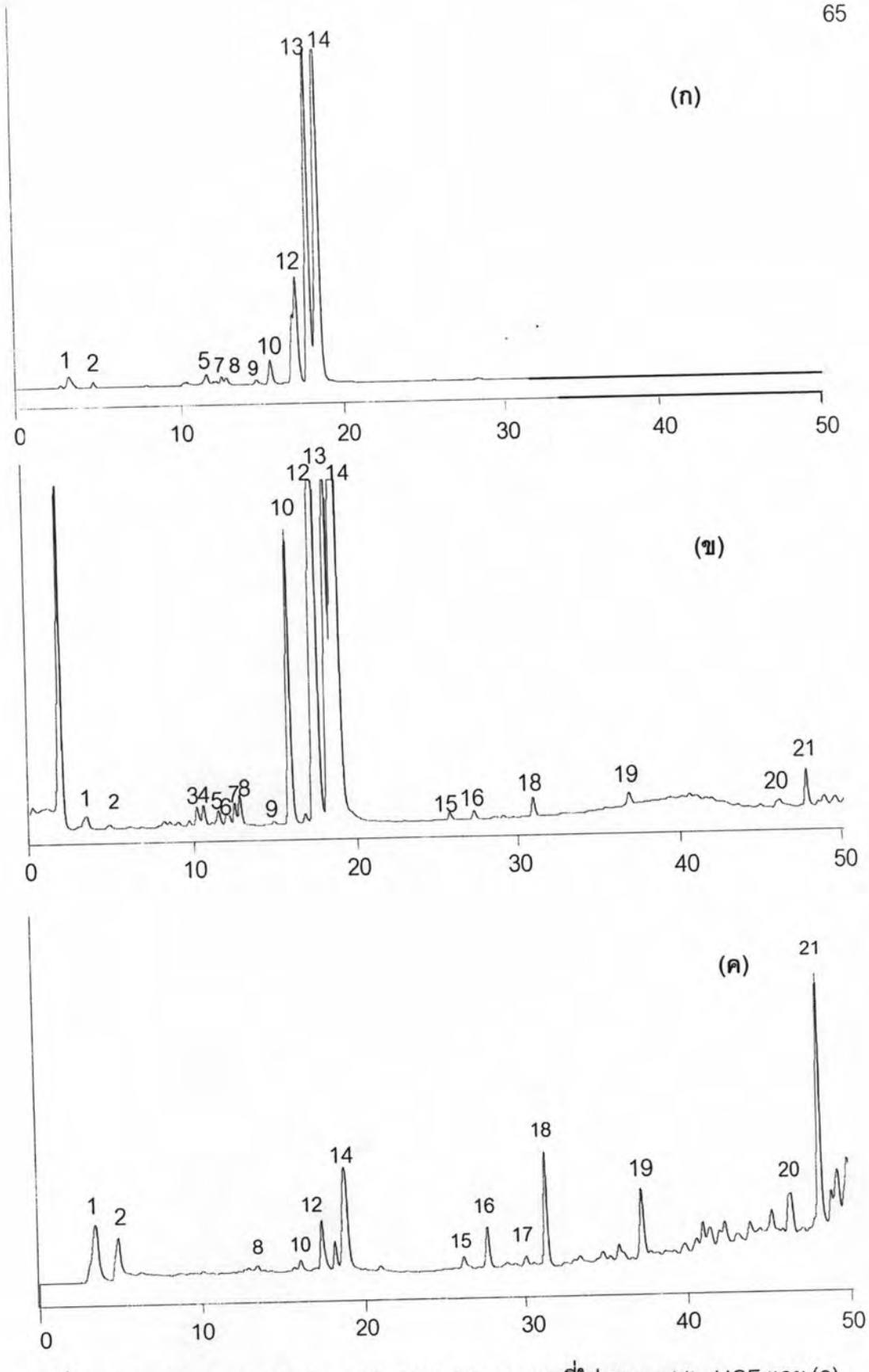
ภาพที่ 48 โครมาโทแกรม: (ก) Leucophor AL (ข) กระดาษที่ใส่ Leucophor AL และ (ค) กระดาษที่ใส่ Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสง 100 ชั่วโมง

4.3.3.3 ผลการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสง

ผลการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสง แสดงดังภาพที่ 49

จากภาพที่ 49 (ก) เป็นโครมาโทแกรมของสารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE และภาพที่ 49 (ข) เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ไม่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสง พบว่า มีส่วนที่เป็นพีคของกระดาษที่เห็นชัดเจน คือ พีคที่ 15 เป็นต้นไป และส่วนที่เป็นพีคของสารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE คือพีคที่ 1, 2, 5, 7, 8, 9,10, 12, 13 และ 14 และเมื่อกระดาษผ่านการเร่งอายุด้วยแสงเป็นเวลา 100 ชั่วโมง ดังแสดงในโครมาโทรแกรมภาพ 49 (ค) พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของพีคเกิดขึ้นดังนี้ สารที่ตำแหน่งพีคที่ 1 และ 2 มีปริมาณเพิ่มขึ้นเห็นได้ชัด และยังพบว่ามีพีคหายไป คือ พีคที่ 3, 4, 5, 6 และ 7 นอกจากนี้มีพีคลดลงอย่างมากที่ตำแหน่ง 10, 12, 13 และ 14 ซึ่งเป็นพีคที่พบในสารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของพีคที่ 14 เป็นต้นไป เป็นพีคที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกระดาษเมื่อเร่งอายุด้วยแสง

ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของกระดาษที่ใส่ Skaywhite HCE เมื่อผ่านการเร่งอายุด้วยแสงที่เห็นชัดเจน คือ การสลายตัวของ Skaywhite HCE

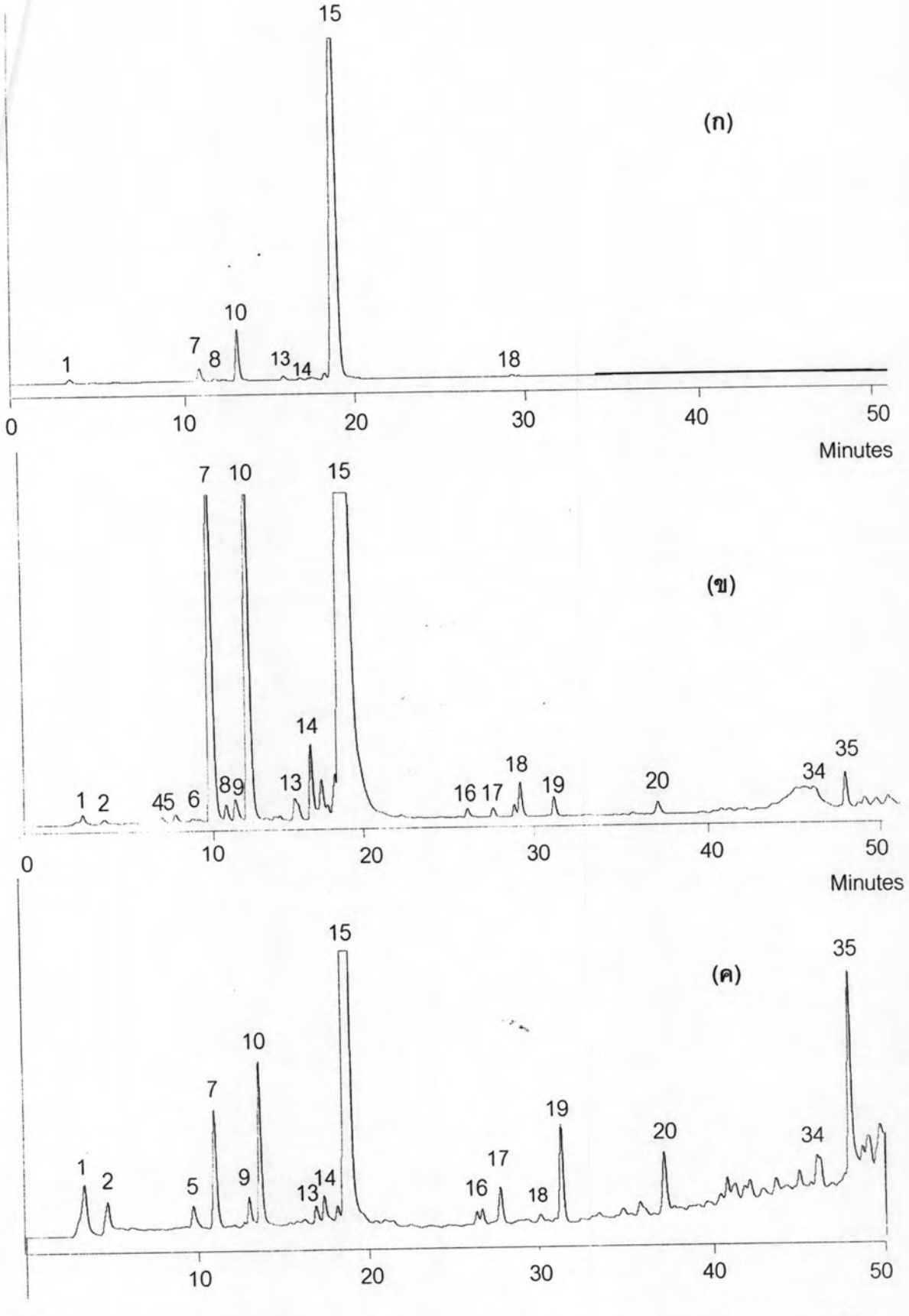


ภาพที่ 49 โครมาโทแกรม: (ก) Skaywhite HCE (ข) กระดาษที่ใส่ Skaywhite HCE และ (ค) กระดาษที่ใส่ Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสง 100 ชั่วโมง

4.3.3.4 ผลการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสง

ผลการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสง แสดงดังภาพที่ 50

จากภาพที่ 50 (ก) เป็นโครมาโทแกรมของสารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP และภาพที่ 50 (ข) เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ที่ไม่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสง พบว่า มีส่วนที่เป็นพีคของกระดาษที่ชัดเจน คือ พีคที่ 16 เป็นต้นไปจนถึงพีคที่ 35 และส่วนที่เป็นพีคของสารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP คือพีคที่ 1, 7 , 8, 10, 13 ,14, 15 และ 18 และเมื่อกระดาษผ่านการเร่งอายุด้วยแสงเป็นเวลา 100 ชั่วโมง ดังแสดงในโครมาโทแกรมภาพ 50 (ค) พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของพีคเกิดขึ้นดังนี้ สารที่ตำแหน่งพีคที่ 1 และ 2 มีปริมาณเพิ่มขึ้นเห็นได้ชัด และมีพีคที่เพิ่มขึ้นที่ตำแหน่ง 5, 9, 16, 17,19, 20, 34 และ 35 นอกจากนี้พีคที่ลดลง ได้แก่พีคที่ 7, 10, 14, 15 และ 18 ซึ่งพบว่าทั้ง 4 พีคนี้เป็นพีคของสารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP และพีคที่เกิดขึ้นหลังพีคที่ 15 เป็นต้นไปเป็นพีคที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกระดาษเมื่อเร่งอายุ

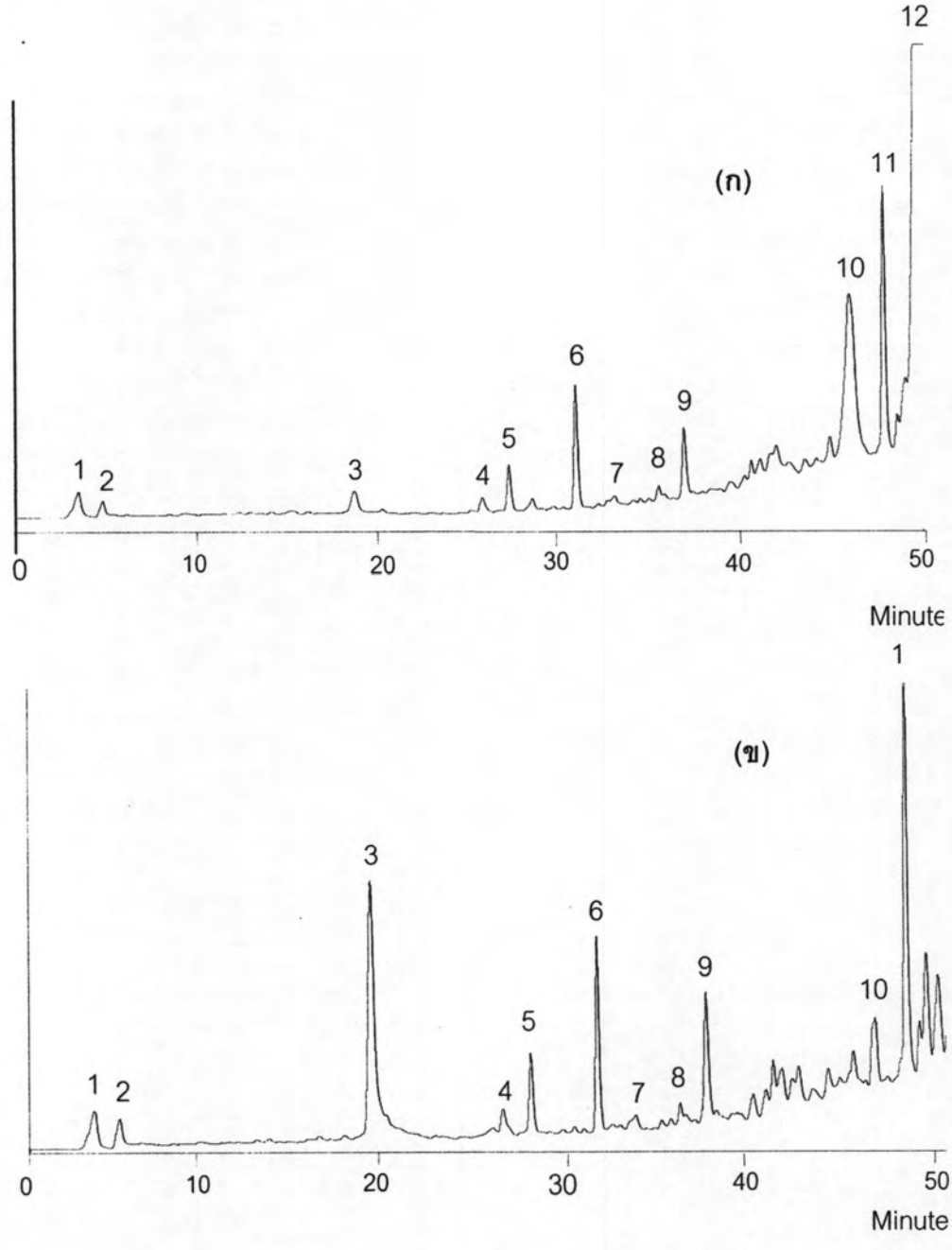


ภาพที่ 50 โครมาโทแกรม: (ก) Tinopal UP (ข) กระดาษที่ใส่สาร Tinopal UP และ (ค) กระดาษที่ใส่ Tinopal UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสง 100 ชั่วโมง

4.3.4 ผลการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวี

4.3.4.1 ผลการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวี

ผลการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวี แสดงดังภาพที่ 51



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

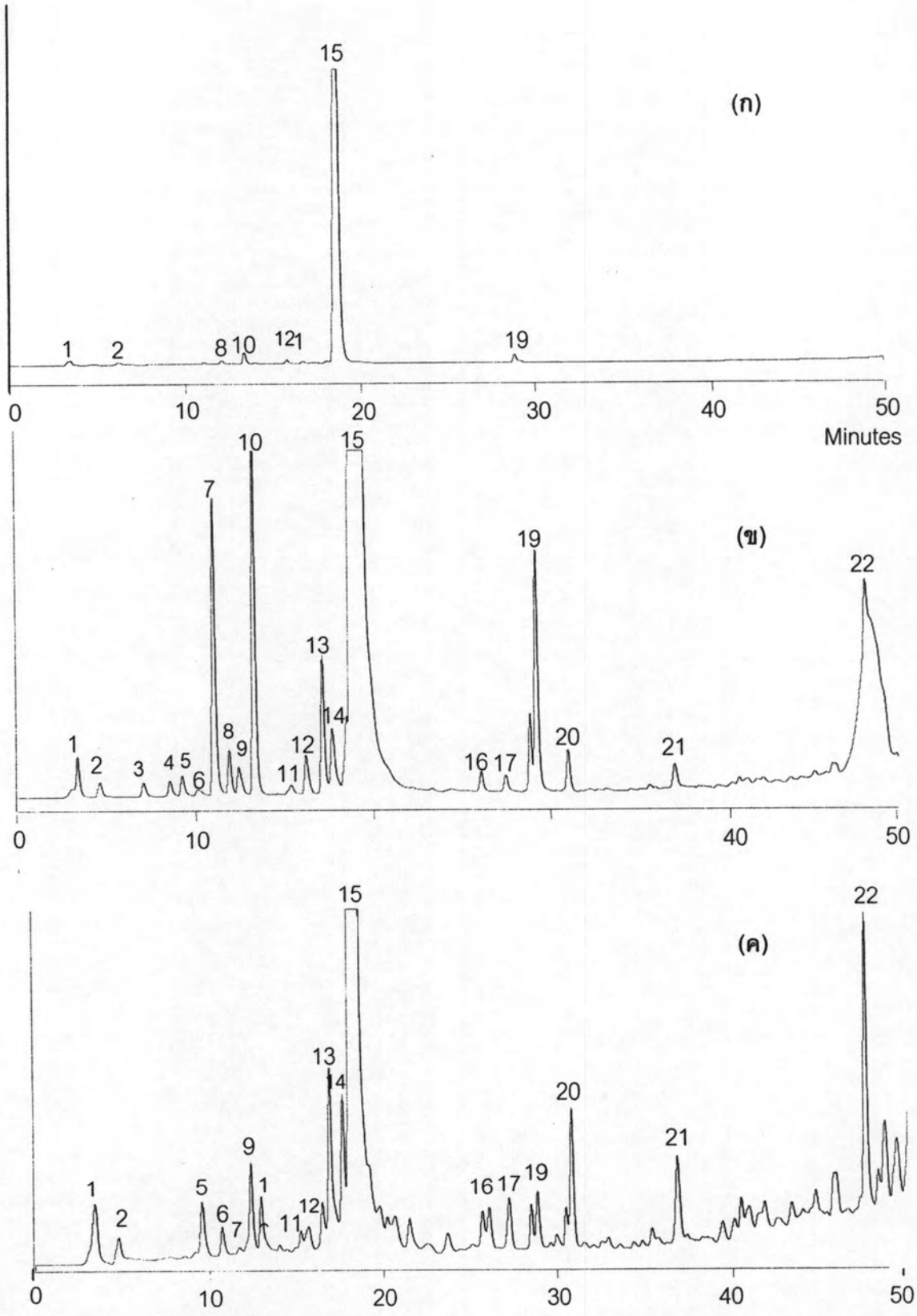
จากภาพที่ 51 (ก) เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ไม่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวี และภาพที่ 51 (ข) เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวีเป็นเวลา 100 ชั่วโมง พบว่าสารที่สกัดได้จากกระดาษที่ไม่มีสารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวีมีทั้งหมด 12 สาร ที่สามารถแยกออกเป็นพีคได้ เมื่อกระดาษผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวีเป็นเวลา 100 ชั่วโมง ดังภาพโคมาโทแกรมที่ 51 (ค) พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของพีคเกิดขึ้นดังนี้ พีคที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9 และ 11 มีปริมาณมากขึ้น โดยเฉพาะพีคที่ 3 เพิ่มขึ้นอย่างมาก ส่วนที่ตำแหน่งพีคที่ 10 และ 12 มีปริมาณลดลงไปอย่างมาก

จากผลดังกล่าว แสดงว่าเมื่อกระดาษผ่านการเร่งอายุจะเกิดการสลายตัวของสาร 2 สาร (พีคที่ตำแหน่ง 10 และ 12) เป็นสารอื่นซึ่งอาจเป็นสารเดิมที่มีอยู่ในกระดาษแล้ว

4.3.4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวี

ผลการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวี แสดงดังภาพที่ 52

จากภาพที่ 52 (ก) เป็นโครมาโทแกรมของสารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL และภาพที่ 52 (ข) เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor ALที่ไม่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวี พบว่า มีพีคที่เป็นของสาร Leucophor AL ที่ 1, 2, 8, 10, 12, 13 15 และ 19 เมื่อกระดาษที่ใส่ Leucophor AL และผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวีเป็นเวลา 100 ชั่วโมง ดังโครมาโทแกรมในภาพที่ 52 (ค) พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของพีคเกิดขึ้นดังนี้ สารที่ตำแหน่งพีคที่ 5, 6, 9, 13, 14, 16, 17, 20, 21 และ 22 มีปริมาณเพิ่มขึ้น และพบว่ามีพีคที่ลดลงที่ตำแหน่ง 7, 10 และ 19 นอกจากนี้ยังพบว่ามีพีคที่หายไป คือ พีคที่ตำแหน่ง 3 และ 4 และพีคตำแหน่งที่ 20 เป็นต้นไป เป็นพีคที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกระดาษเมื่อเร่งอายุ



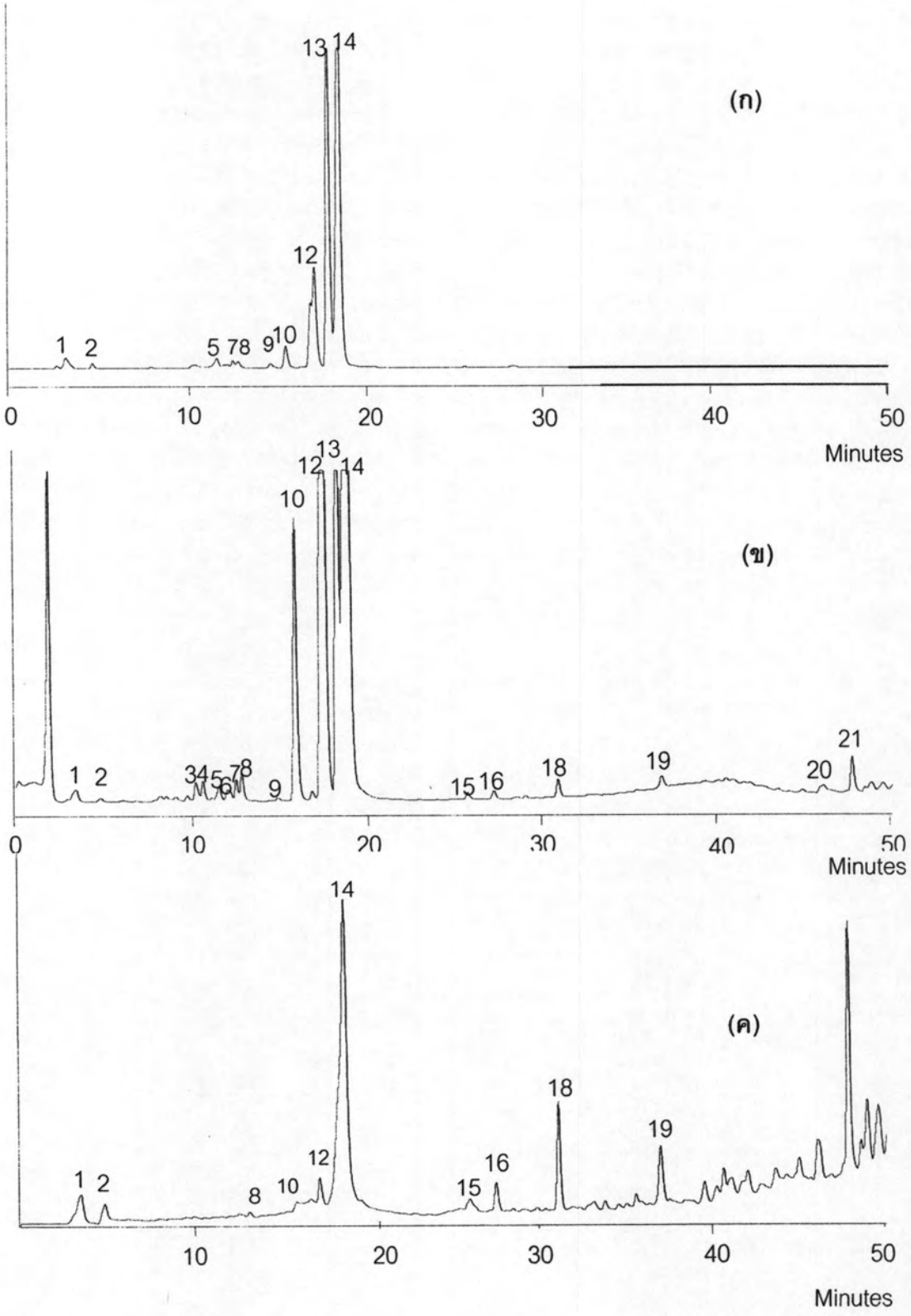
ภาพที่ 52 โครมาโทแกรม : (ก) Leucophor AL (ข) กระดาษ ที่ใส่ Leucophor AL และ (ค) กระดาษที่ใส่ Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวี 100 ชั่วโมง

4.3.4.3 ผลการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวี

ผลการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวี แสดงดังภาพที่ 53

จากภาพที่ 53 (ก) เป็นโครมาโทแกรมของสารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE และภาพที่ 53 (ข) เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ไม่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวี พบว่า พีคของกระดาษที่เห็นชัดเจน คือ พีคที่ 15 เป็นต้นไปจนถึงพีคที่ 21 และส่วนที่เป็นพีคของสารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE คือพีคที่ 1, 2, 5, 7, 8, 9,10, 12, 13 และ 14 และเมื่อกระดาษผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวีเป็นเวลา 100 ชั่วโมง ดังแสดงในโครมาโทรแกรมภาพ 53 (ค) พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของพีคเกิดขึ้นดังนี้ สารที่ตำแหน่งพีคที่ 1 และ 2 มีปริมาณเพิ่มขึ้น และยังพบว่ามีพีคหายไป คือ พีคที่ 3, 4, 5, 6 7 และ 9 นอกจากนี้มีพีคลดลงอย่างมากที่ตำแหน่ง 10, 12 และ 13 ซึ่งพบว่าเป็นพีคที่พบในสารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE นอกจากนี้พีคที่ 15 เป็นต้นไปเป็นพีคที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกระดาษเมื่อผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวี

ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของกระดาษที่ใส่ Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวีที่เห็นชัดเจน คือ การลดลงของพีคที่พบใน Skaywhite HCE แสดงให้เห็นถึงการสลายตัวของ Skaywhite HCE

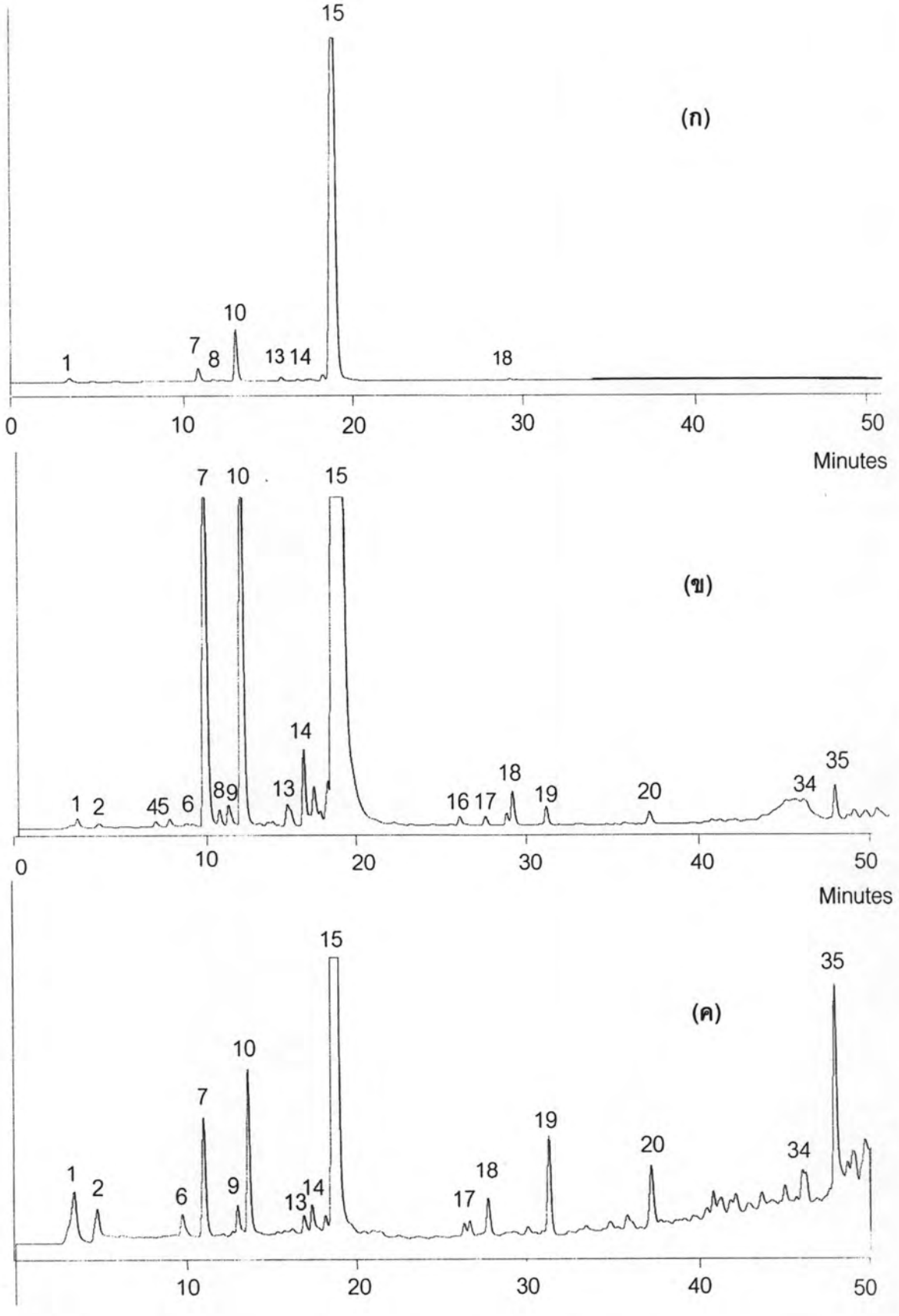


ภาพที่ 53 โครมาโทแกรม : (ก) Skaywhite HCE (ข) กระดาษที่ใส่ Skaywhite HCE และ (ค) กระดาษที่ใส่ Skaywhite HCE ที่ผ่านเร่งอายุด้วยรังสียูวี 100 ชั่วโมง

4.3.4.4 ผลการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวี

ผลการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวีแสดงดังภาพที่ 54

จากภาพที่ 54 (ก) เป็นโครมาโทแกรมของสารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP และภาพที่ 54 (ข) เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ที่ไม่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวี พบว่า มีส่วนที่เป็นพีคของกระดาษที่เห็นชัดเจน คือ พีคที่ 16 เป็นต้นไปจนถึงพีคที่ 35 และส่วนที่เป็นพีคของสารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP คือพีคที่ 1, 7 , 8, 10, 13, 14, 15 และ 18 โดยเมื่อกระดาษที่ใส่ Tinopal UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวีเป็นเวลา 100 ชั่วโมง ดังแสดงในโครมาโทแกรมภาพ 54 (ค) พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของพีคเกิดขึ้นดังนี้ สารที่ตำแหน่งพีคที่ 1, 2, 6, 9, 17, 19, 20 และ 35 มีปริมาณเพิ่มขึ้น และมีพีคที่ลดลงได้แก่พีคที่ 7, 10, 13 และ 15 ซึ่งพบว่าทั้ง 4 พีคนี้เป็นพีคของสารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP และยังมีพีคที่หายไปคือพีคที่ 4, 5 และ 8 นอกจากนี้พีคที่เกิดขึ้นที่ 15 เป็นต้นไปเป็นพีคที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกระดาษเมื่อเร่งอายุด้วยรังสียูวี



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

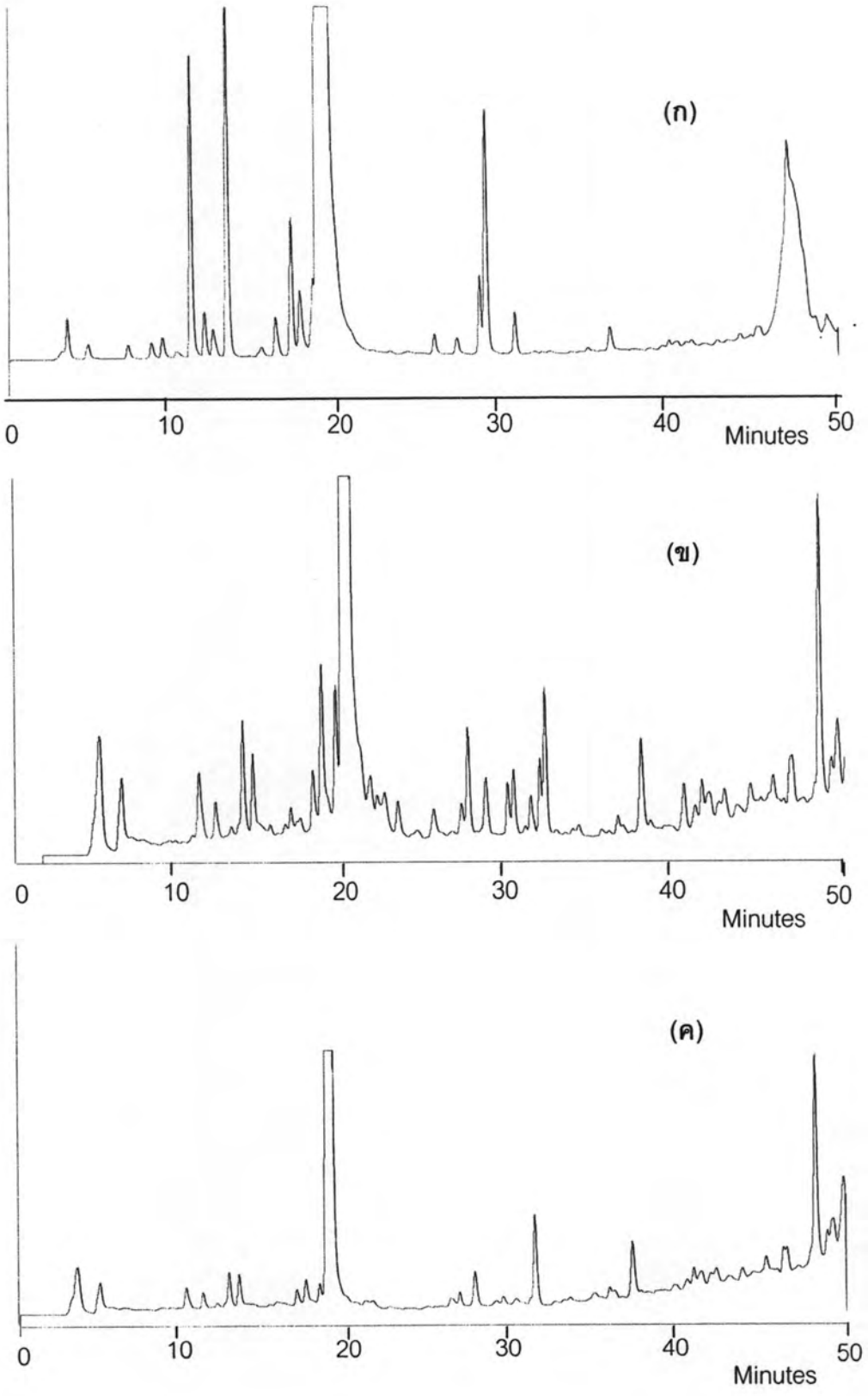
4.3.5 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ผ่านการเร่งอายุด้วยการฉายแสงและรังสียูวีที่เวลาต่างกัน

4.3.5.1 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ผ่านการเร่งอายุด้วยการฉายแสงที่เวลาต่างกัน

กระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายแสงที่เวลาต่างกัน มีโครมาโทแกรม ดังแสดงในภาพที่ 55-57

ภาพที่ 55 (ก) เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายแสงเป็นเวลา 0 ชั่วโมง ภาพที่ 55 (ข) เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายแสงเป็นเวลา 75 ชั่วโมง และภาพที่ 55 (ค) เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายแสงเป็นเวลา 100 ชั่วโมง

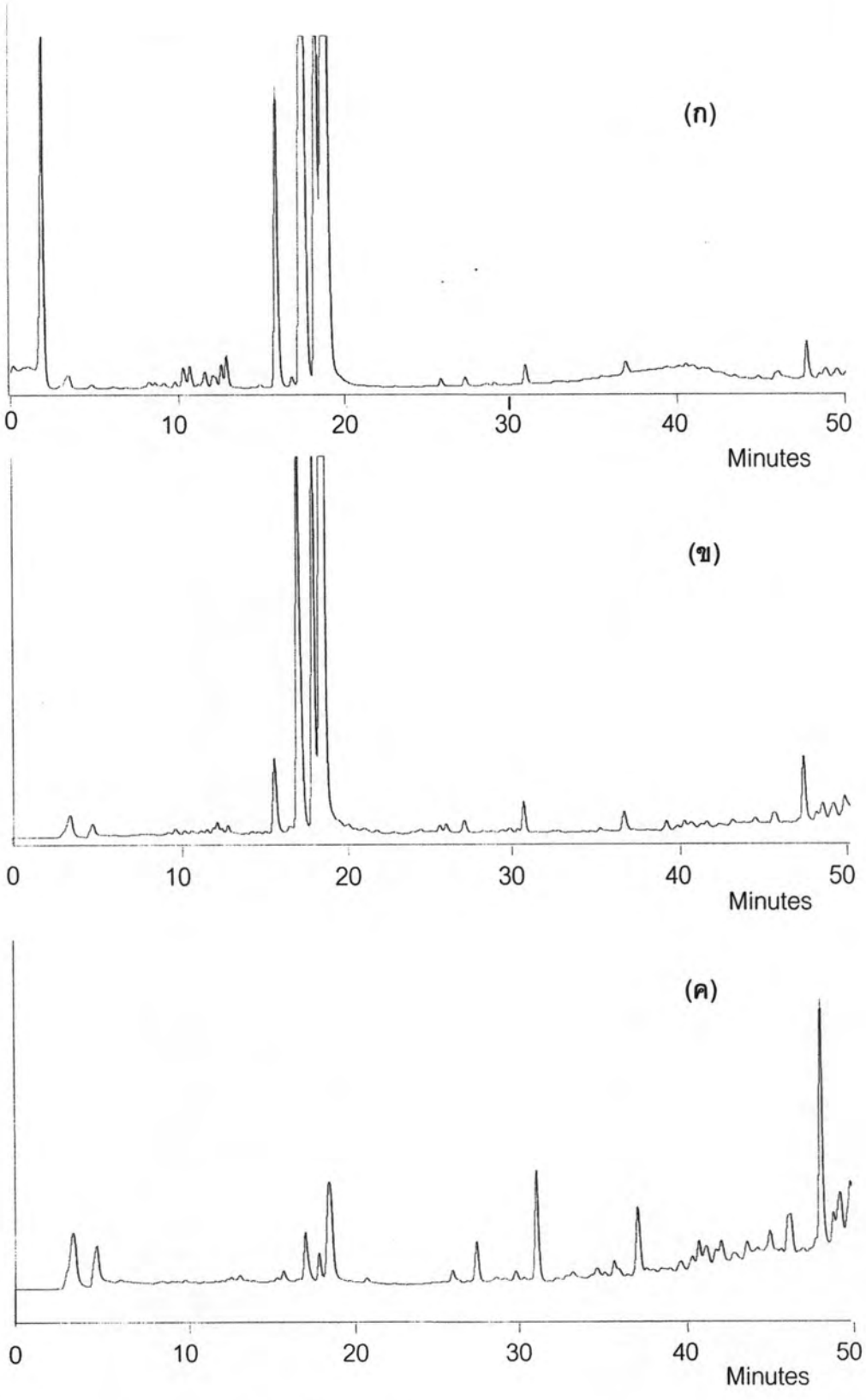
พบว่ากระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายแสงที่เวลาต่าง ๆ เมื่อเร่งอายุด้วยเวลานานขึ้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น โดยจะเห็นได้จากการเร่งอายุด้วยเวลา 75 ชั่วโมง พีคที่เวลา 10-20 นาที ของสารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ลดลงเมื่อเทียบกับกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ที่ไม่ผ่านการเร่งอายุ และพบว่ายิ่งเร่งอายุกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL นานขึ้นเป็น 100 ชั่วโมง ก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น



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

ภาพที่ 56 (ก) เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายแสงเป็นเวลา 0 ชั่วโมง และภาพที่ 56 (ข) เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายแสงเป็นเวลา 75 ชั่วโมง และภาพที่ 56 (ค) เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายแสงเป็นเวลา 100 ชั่วโมง

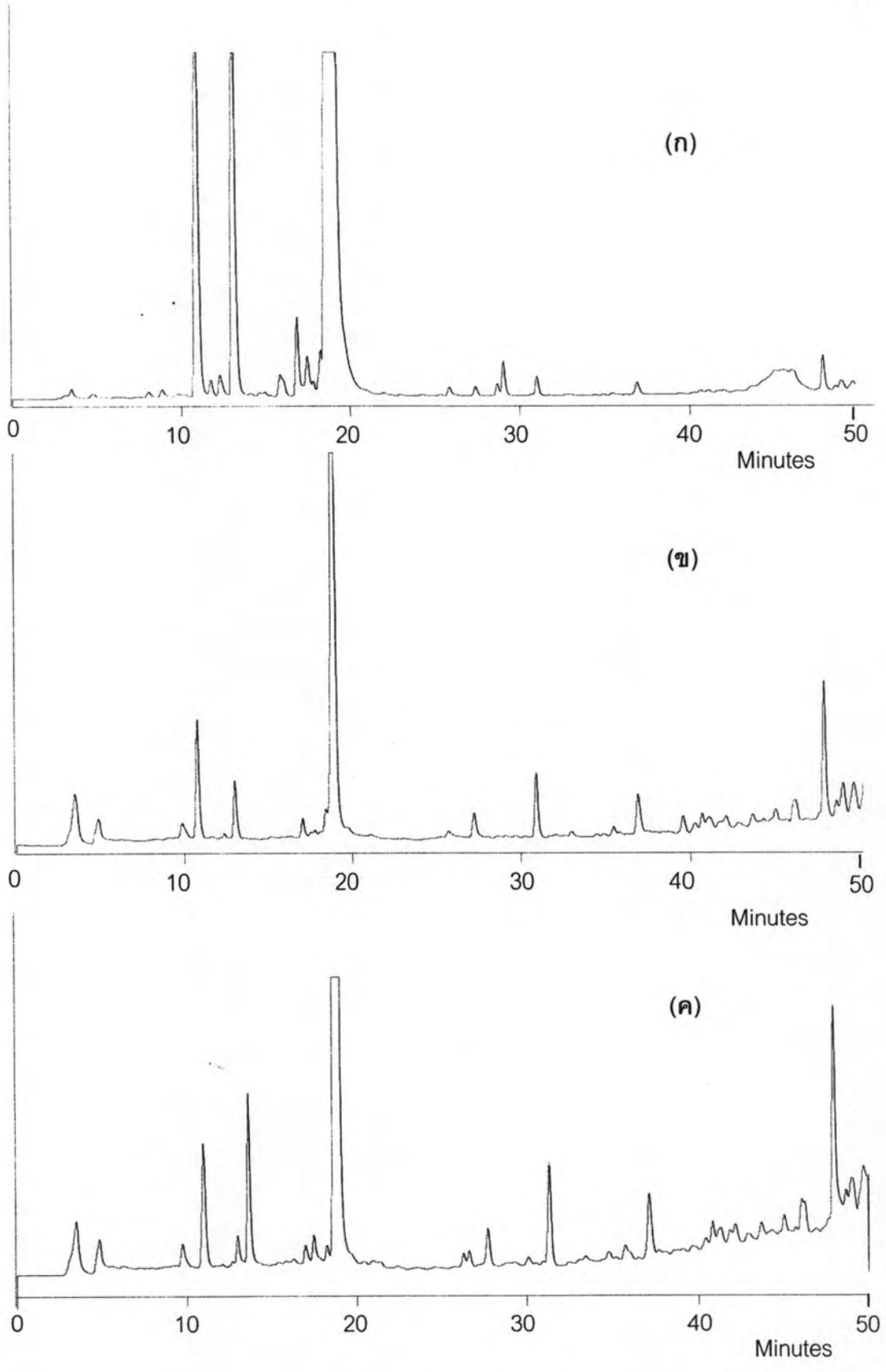
พบว่ากระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายแสงที่เวลาต่าง ๆ เมื่อเร่งอายุด้วยเวลานานขึ้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น โดยจะเห็นได้จากการเร่งอายุด้วยเวลา 75 ชั่วโมง พีคที่เวลา 10-20 นาที ของสารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ลดลงเมื่อเทียบกับกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ไม่ผ่านการเร่งอายุ และพบว่ายิ่งเร่งอายุกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE นานขึ้นเป็น 100 ชั่วโมง ก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น



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

ภาพที่ 57 (ก) เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายแสงเป็นเวลา 0 ชั่วโมง และภาพที่ 57 (ข) เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายแสงเป็นเวลา 75 ชั่วโมง และภาพที่ 57 (ค) เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายแสงเป็นเวลา 100 ชั่วโมง

พบว่ากระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายแสงที่เวลาต่าง ๆ เมื่อเร่งอายุด้วยเวลานานขึ้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น โดยจะเห็นได้จากการเร่งอายุด้วยเวลา 75 ชั่วโมง พีคที่เวลา 10-20 นาที ของสารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ลดลงเมื่อเทียบกับกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ที่ไม่ผ่านการเร่งอายุ และพบว่ายิ่งเร่งอายุกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP นานขึ้นเป็น 100 ชั่วโมง ก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น



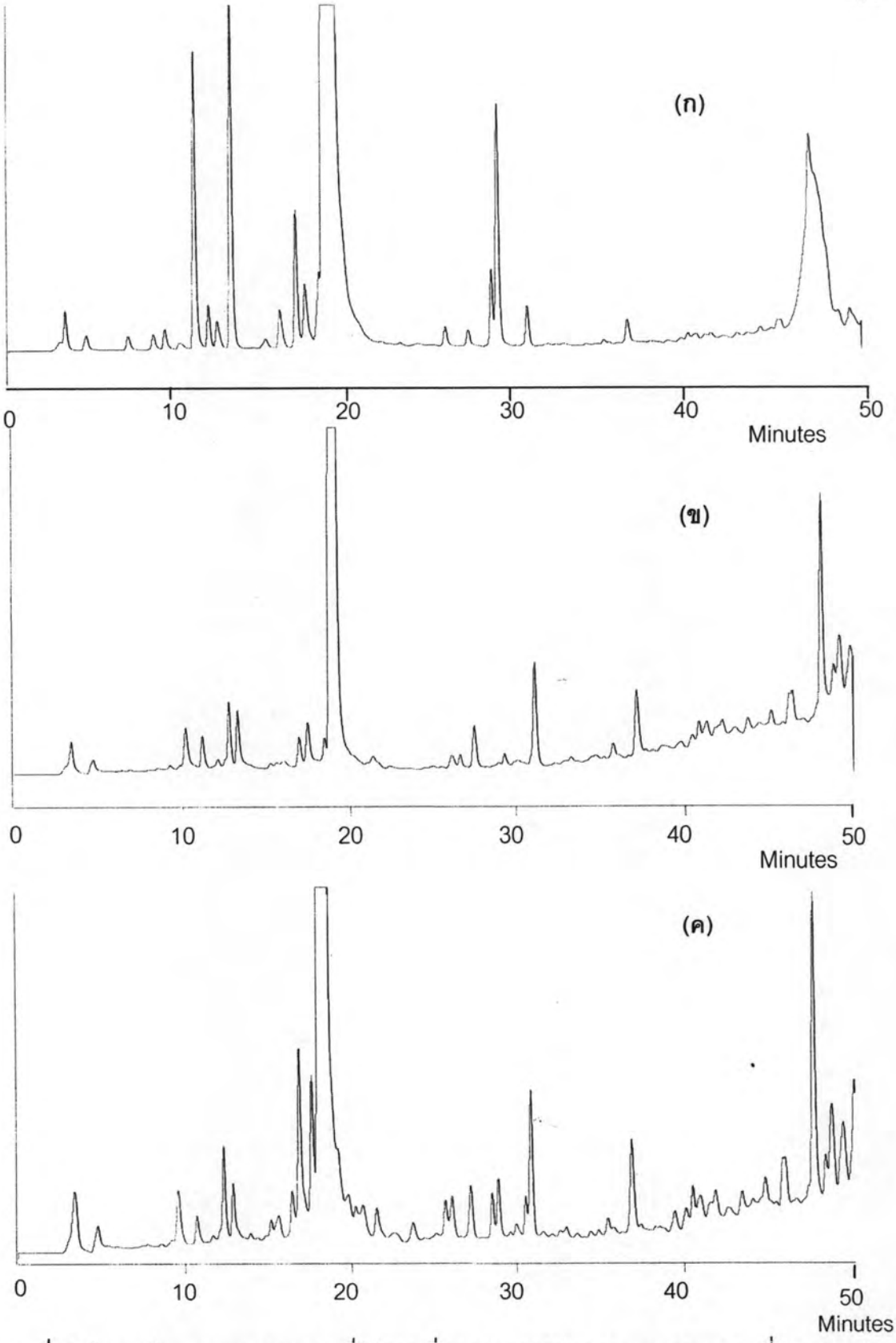
ภาพที่ 57 โครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinoapl UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายแสงเป็นเวลา: (ก) 0 ชั่วโมง (ข) 75 ชั่วโมง และ (ค) 100 ชั่วโมง

4.3.5.2 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของกระดาษที่ผ่านการเร่งอายุด้วยการฉายรังสียูวีที่เวลาต่างกัน

กระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายรังสียูวีที่เวลาต่างกัน มีโครมาโทแกรม ดังแสดงในภาพที่ 58-60

ภาพที่ 58 (ก) เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายรังสียูวีเป็นเวลา 0 ชั่วโมง ภาพที่ 58 (ข) เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายรังสียูวีเป็นเวลา 75 ชั่วโมง และภาพที่ 58 (ค) เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายรังสียูวีเป็นเวลา 100 ชั่วโมง

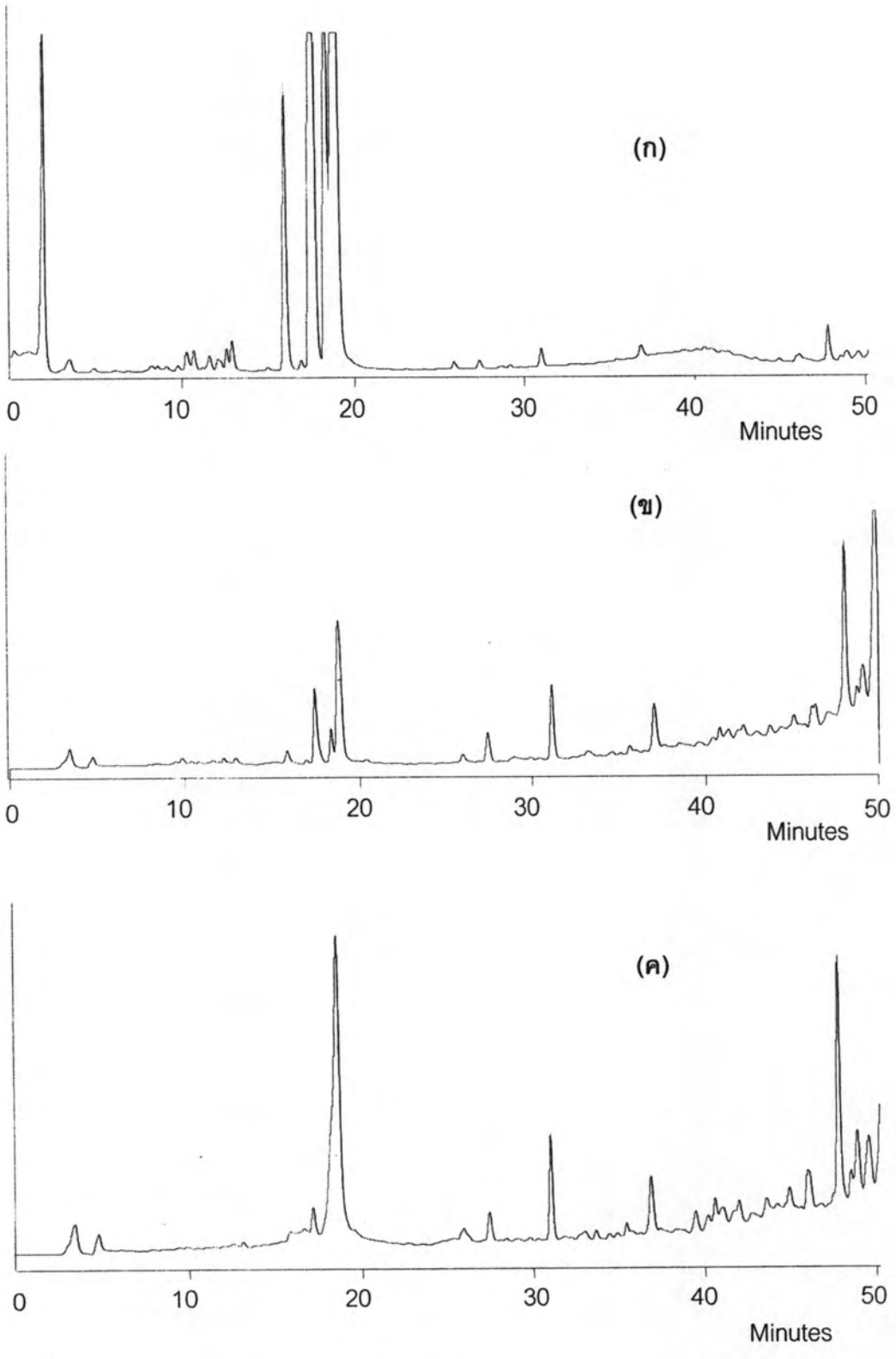
พบว่ากระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายรังสียูวีที่เวลาต่าง ๆ เมื่อเร่งอายุด้วยเวลานานขึ้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น โดยจะเห็นได้จากการเร่งอายุด้วยเวลา 75 ชั่วโมง พีคที่เวลา 10-20 นาที ของสารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ลดลงเมื่อเทียบกับกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ที่ไม่ผ่านการเร่งอายุ และพบว่ายิ่งเร่งอายุกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL นานขึ้นเป็น 100 ชั่วโมง ก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น



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

ภาพที่ 59 (ก) เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายรังสียูวีเป็นเวลา 0 ชั่วโมง ภาพที่ 59 (ข) เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายรังสียูวีเป็นเวลา 75 ชั่วโมง และภาพที่ 59 (ค) เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายรังสียูวีเป็นเวลา 100 ชั่วโมง

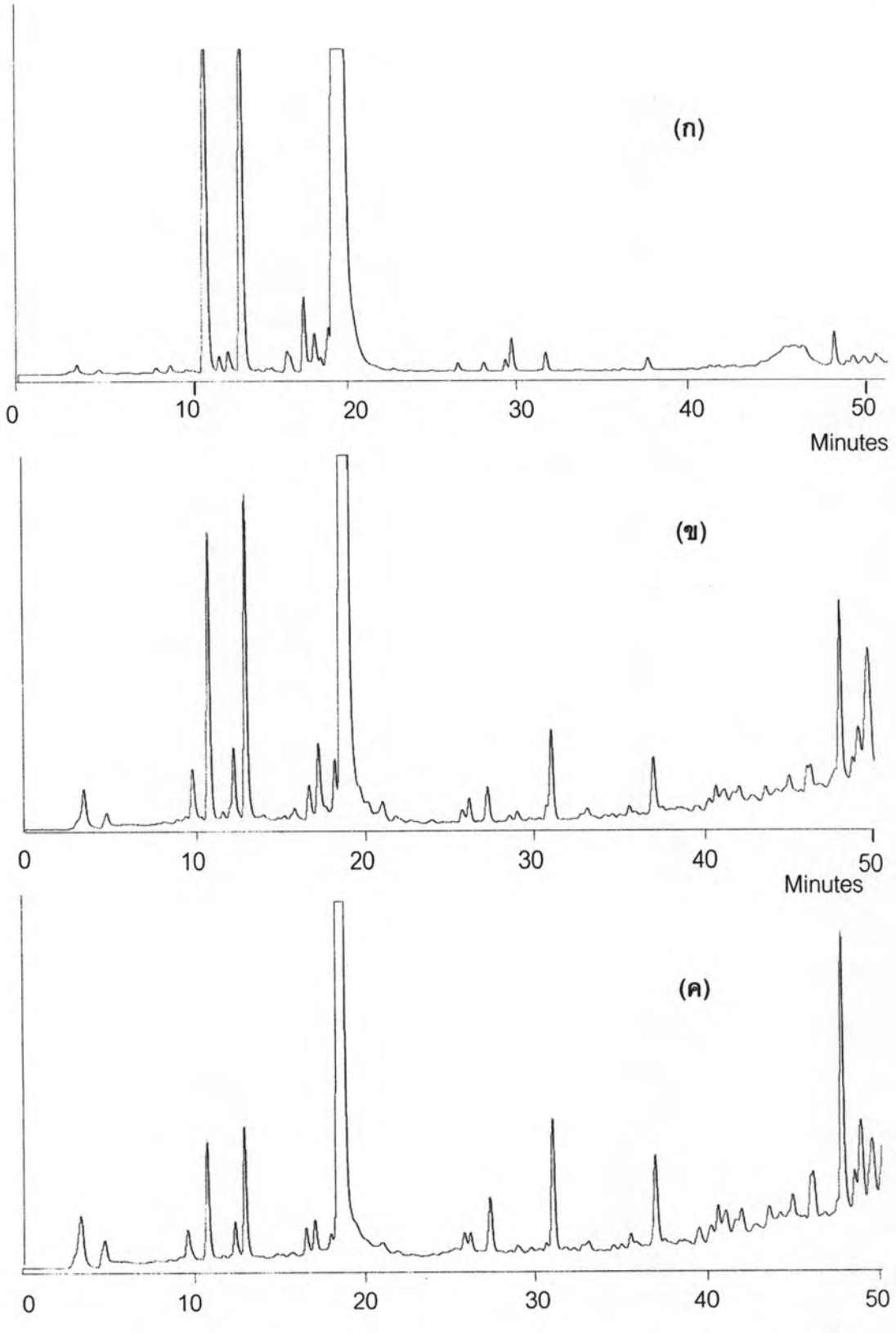
พบว่ากระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายรังสียูวีที่เวลาต่าง ๆ เมื่อเร่งอายุด้วยเวลานานขึ้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น โดยจะเห็นได้จากการเร่งอายุด้วยเวลา 75 ชั่วโมง พีคที่เวลา 10-20 นาที ของสารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE จะมีพีคลดลงเมื่อเทียบกับกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ไม่ผ่านการเร่งอายุ และพบว่ายิ่งเร่งอายุกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE นานขึ้นเป็น 100 ชั่วโมง ก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น



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

ภาพที่ 60 (ก) เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UPที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายรังสียูวีเป็นเวลา 0 ชั่วโมง และภาพที่ 60 (ข) เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายรังสียูวีเป็นเวลา 75 ชั่วโมง และภาพที่ 60 (ค) เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายรังสียูวีเป็นเวลา 100 ชั่วโมง

พบว่ากระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายรังสียูวีที่เวลาต่าง ๆ เมื่อเร่งอายุด้วยเวลานานขึ้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น โดยจะเห็นได้จากการเร่งอายุด้วยเวลา 75 ชั่วโมง พีคที่เวลา 10-20 นาที ของสารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ลดลงเมื่อเทียบกับกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ที่ไม่ผ่านการเร่งอายุ และพบว่ายิ่งเร่งอายุกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP นานขึ้นเป็น 100 ชั่วโมง ก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น

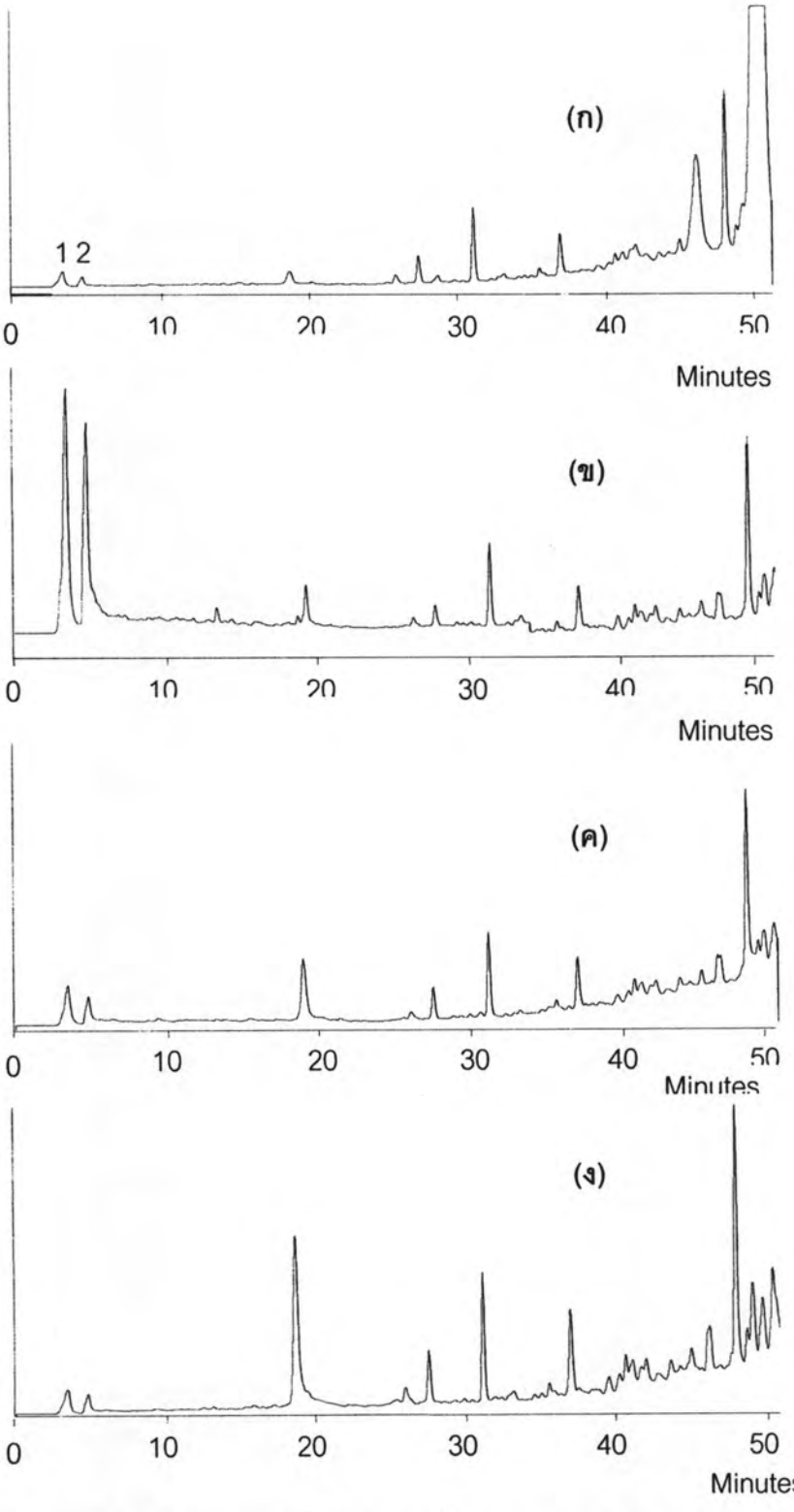


ภาพที่ 60 โครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายรังสียูวีเป็นเวลา: (ก) 0 ชั่วโมง (ข) 75 ชั่วโมง และ (ค) 100 ชั่วโมง

4.3.6 เปรียบเทียบกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างและไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีต่าง ๆ

4.3.6.1 การเปรียบเทียบกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีต่าง ๆ

เปรียบเทียบกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีต่าง ๆ ดังภาพที่ 61 พบว่ากระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงพีคของสารในกระดาษที่ตำแหน่ง 1 และ 2 อย่างมาก ในขณะที่กระดาษที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสงและรังสียูวีมีการเปลี่ยนแปลงของพีคดังกล่าวเล็กน้อย และพบว่าการเปลี่ยนแปลงพีคที่เกิดกับแสงและรังสียูวีมีความคล้ายกัน แสดงว่ากระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างเกิดการเสื่อมสลายเมื่อผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อนมากกว่าการเร่งอายุด้วยแสงและรังสียูวี ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการทดลองวัดค่าการสะท้อนแสงของกระดาษที่พบว่า กระดาษที่เร่งอายุด้วยความร้อนจะมีค่าการสะท้อนแสงต่ำสุด ทั้งนี้อาจเนื่องจากกระดาษเกิดการสลายตัวอย่างมากเมื่อให้ความร้อนและสลายตัวมากกว่าการเร่งอายุด้วยแสงหรือรังสียูวี



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

4.3.6.2 การเปรียบเทียบกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างและกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีต่าง ๆ

การเปรียบเทียบกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างกับกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีต่าง ๆ กัน ดังภาพที่ 62-64

เปรียบเทียบกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างกับกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีต่าง ๆ กัน ดังภาพที่ 62

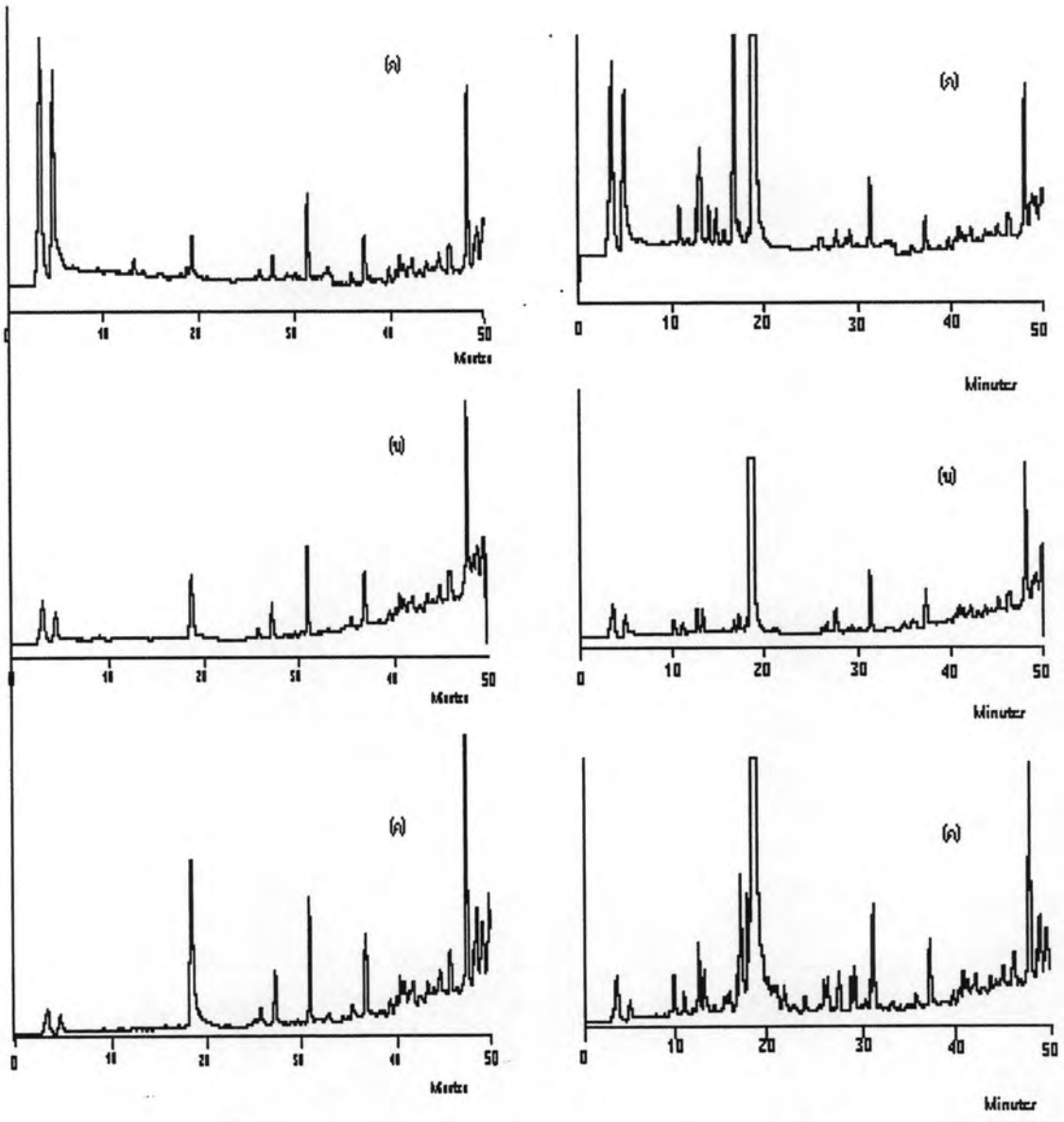
ภาพที่ 62 (ก) ซ้าย เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีอบความร้อน 12 วัน จะมีสัดส่วนของพีคของกระดาษที่ต่างไปจากกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายแสง ดัง ภาพที่ 62 (ข) ซ้าย และวิธีฉายรังสียูวี ดังภาพ 62 (ค) ซ้าย โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของพีคของกระดาษ ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.3.6.1

ภาพที่ 62 (ก) ขวา เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีอบความร้อน 12 วัน จะมีสัดส่วนของพีคที่เวลา 10-20 นาที ต่างไปจากกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายแสง 100 ชั่วโมง (ภาพที่ 62 (ข) ขวา) และวิธีฉายรังสียูวี 100 ชั่วโมง (ภาพที่ 62 (ค) ขวา) โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของพีคของสารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophhor AL

เมื่อเปรียบเทียบโครมาโทแกรม พบว่า โครมาโทแกรมในภาพที่ 62 (ก) ซ้าย กับ (ก) ขวา (ข) ซ้ายกับ(ข) ขวา และ (ค) ซ้ายกับ(ค) ขวา ซึ่งผ่านการเร่งด้วยวิธีเดียวกันจะพบลักษณะโครมาโทแกรมเหมือนกัน โดยภาพ (ก) ซ้าย ซึ่งเป็นกระดาษที่ไม่มีสารเพิ่มความขาวสว่างจะต่างจากภาพ (ก) ขวา ในส่วนของพีคที่ออกมาในช่วงเวลา 10-20 นาที ซึ่งกลุ่มพีคนี้เป็นพีคของสารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ส่วนการเปลี่ยนแปลงพีคที่ 1 และ 2 ในภาพ (ก) ขวา เป็นลักษณะพีคของกระดาษที่ถูกเร่งอายุด้วยความร้อนโดยตรงซึ่งมีลักษณะพีคที่สูงอย่างมากเหมือนที่ปรากฏในภาพ (ก) ซ้าย เพราะเป็นลักษณะเฉพาะของกระดาษที่เร่งอายุด้วยความร้อน เช่นเดียวกับภาพ (ข) ซ้าย ซึ่งเป็นกระดาษที่ไม่มีสารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสงจะต่างจากภาพ (ข) ขวา ในส่วนของพีคที่ออกมาในช่วง 10-20 นาที ซึ่งกลุ่มพีคนี้เป็นพีคของสารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ส่วนการเปลี่ยนแปลงที่ตำแหน่ง 1 และ 2 ในภาพ (ข) ขวา เป็นลักษณะเฉพาะของกระดาษที่ถูกเร่งอายุด้วยแสง ซึ่งมีลักษณะพีคที่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เหมือนที่ปรากฏในภาพ (ข) ซ้าย นอกจากนี้ยังพบว่า ในภาพ (ค) ซึ่งเป็นกระดาษที่ไม่มีสารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวีจะต่างจากภาพ (ค) ขวา ในส่วนของพีคที่ออกมา

ในช่วง 10-20 นาที ซึ่งกลุ่มพีคนี้เป็นพีคของสารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ส่วนการเปลี่ยนแปลงที่ตำแหน่ง 1 และ 2 ในภาพ (ค) ขวา เป็นลักษณะเฉพาะของกระดาษที่ถูกเร่งอายุด้วยรังสียูวี ซึ่งมีลักษณะพีคที่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เหมือนที่ปรากฏในภาพ (ค) ซ้าย

เมื่อเปรียบเทียบพีคในช่วงเวลา 10-20 นาที ของโครมาโทแกรมในภาพที่ 62 (ก) ภาพที่ 62 (ข) และ ภาพที่ 62 (ค) ด้านขวา จะเห็นการเปลี่ยนแปลงที่ไม่เหมือนกัน พบว่าการเร่งอายุด้วยความร้อน พีคของสารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ในช่วง 10-20 นาที มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด แสดงว่า สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ไม่สลายตัว หรือสลายตัวน้อยมากเมื่อถูกความร้อน ในขณะที่เมื่อเร่งอายุด้วยแสงและรังสียูวี พบว่า สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL มีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นซึ่งอาจเกิดจากสารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL เกิดการสลายตัวได้มากกว่าการเร่งอายุด้วยความร้อน ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับผลการวัดค่าการสะท้อนแสงของกระดาษ โดยกระดาษที่ใส่ Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อนพบว่ามีค่าการสะท้อนแสงที่สูงกว่ากระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสงและรังสียูวี เนื่องจากการเร่งอายุด้วยความร้อนทำให้สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL เสื่อมสลายได้น้อยกว่าการเร่งอายุด้วยแสงและรังสียูวี ดังนั้นเมื่อกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL ผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อนจึงมีสารเพิ่มความขาวสว่าง Leucophor AL เหลืออยู่มาก จึงช่วยให้ค่าการสะท้อนแสงของกระดาษนั้นคงสูงอยู่ เนื่องจากสารเพิ่มความขาวสว่างเอง มีคุณสมบัติในการเพิ่มค่าการสะท้อนแสงให้กับกระดาษ



ซ้าย **ขวา**

ภาพที่ 62 **ซ้าย** โครมาโทแกรมของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างผ่านการเร่งอายุด้วยวิธี: (ก) ให้ความร้อน 12 วัน (ข) ฉายแสง 100 ชั่วโมง และ (ค) ฉายรังสียูวี 100 ชั่วโมง

ขวา โครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สาร Leucophor AL ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธี: (ก) ให้ความร้อน 12 วัน (ข) ฉายแสง 100 ชั่วโมง และ (ค) ฉายรังสียูวี 100 ชั่วโมง

การเปรียบเทียบกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างกับกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีต่าง ๆ กัน

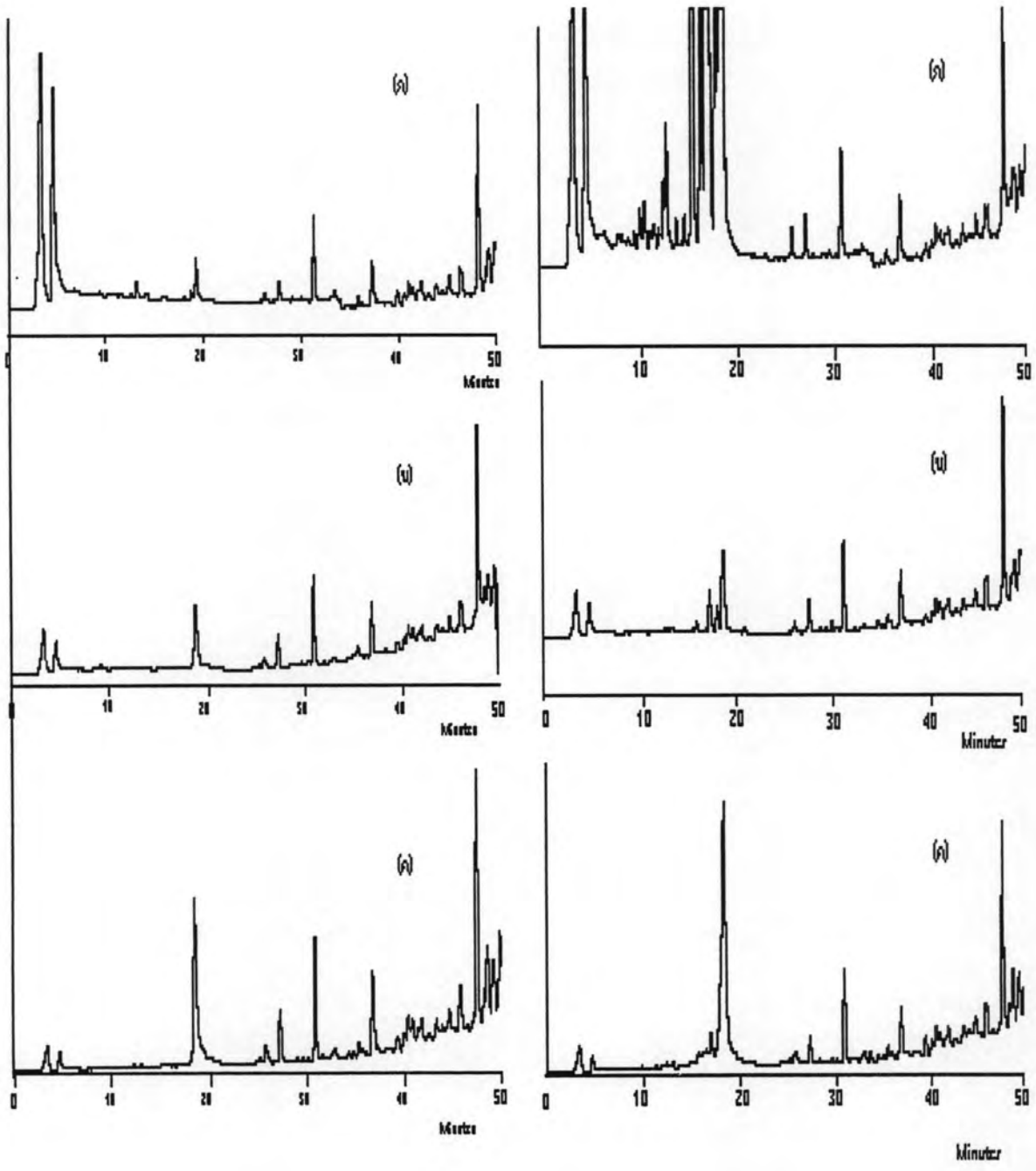
ภาพที่ 63 (ก) ซ้าย เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีอบความร้อน 12 วัน จะมีสัดส่วนของพีคของกระดาษที่ต่างไปจากกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายแสง (ภาพที่ 63 (ข) ซ้าย) และวิธีฉายรังสียูวี (ภาพ 63 (ค) ซ้าย) โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของพีคของกระดาษ

ภาพที่ 63 (ก) ขวา เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีอบความร้อน 12 วัน จะมีสัดส่วนของพีคที่ต่างไปจากกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายแสง 100 ชั่วโมง (ภาพที่ 63 (ข) ขวา) และวิธีฉายรังสียูวี 100 ชั่วโมง (ภาพที่ 63 (ค) ขวา)

เมื่อเปรียบเทียบโครมาโทแกรม พบว่า โครมาโทแกรมในภาพที่ 63 (ก) ซ้าย กับ (ก) ขวา (ข) ซ้ายกับ(ข) ขวา และ (ค) ซ้ายกับ(ค) ขวา ซึ่งผ่านการเร่งด้วยวิธีเดียวกันจะพบลักษณะโครมาโทแกรมเหมือนกัน โดยภาพ (ก) ซ้าย ซึ่งเป็นกระดาษที่ไม่มีสารเพิ่มความขาวสว่างจะต่างจากภาพ (ก) ขวา ในส่วนของพีคที่ออกมาในช่วงเวลา 10-20 นาที ซึ่งกลุ่มพีคนี้เป็นพีคของสารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ส่วนการเปลี่ยนแปลงพีคที่ 1 และ 2 ในภาพ (ก) ขวา เป็นลักษณะพีคของกระดาษที่ถูกเร่งอายุด้วยความร้อนโดยตรงซึ่งมีลักษณะพีคที่สูงอย่างมากเหมือนที่ปรากฏในภาพ (ก) ซ้าย เพราะเป็นลักษณะเฉพาะของกระดาษที่เร่งอายุด้วยความร้อน เช่นเดียวกับภาพ (ข) ซ้าย ซึ่งเป็นกระดาษที่ไม่มีสารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสงจะต่างจากภาพ (ข) ขวา ในส่วนของพีคที่ออกมาในช่วง 10-20 นาที ซึ่งกลุ่มพีคนี้เป็นพีคของสารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ส่วนการเปลี่ยนแปลงที่ตำแหน่ง 1 และ 2 ในภาพ (ข) ขวา เป็นลักษณะเฉพาะของกระดาษที่ถูกเร่งอายุด้วยแสง ซึ่งมีลักษณะพีคที่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เหมือนที่ปรากฏในภาพ (ข) ซ้าย นอกจากนี้ยังพบว่า ในภาพ (ค) ซึ่งเป็นกระดาษที่ไม่มีสารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวีจะต่างจากภาพ (ค) ขวา ในส่วนของพีคที่ออกมาในช่วง 10-20 นาที ซึ่งกลุ่มพีคนี้เป็นพีคของสารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ส่วนการเปลี่ยนแปลงที่ตำแหน่ง 1 และ 2 ในภาพ (ค) ขวา เป็นลักษณะเฉพาะของกระดาษที่ถูกเร่งอายุด้วยรังสียูวี ซึ่งมีลักษณะพีคที่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เหมือนที่ปรากฏในภาพ (ค) ซ้าย

เมื่อเปรียบเทียบพีคในช่วงเวลา 10-20 นาที ของโครมาโทแกรมในภาพที่ 63 (ก) ภาพที่ 63 (ข) และ ภาพที่ 63 (ค) ด้านขวา จะเห็นการเปลี่ยนแปลงที่ไม่เหมือนกัน พบว่าการเร่งอายุด้วยความร้อน พีคของสารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ในช่วง 10-20 นาที มีการเปลี่ยน

แปลงน้อยที่สุด แสดงว่า สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ไม่สลายตัว หรือสลายตัวน้อยมากเมื่อถูกความร้อน ในขณะที่เมื่อเร่งอายุด้วยแสงและรังสียูวี พบว่า สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE มีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นซึ่งอาจเกิดจากสารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE เกิดการสลายตัวได้มากกว่าการเร่งอายุด้วยความร้อน ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับผลการวัดค่าการสะท้อนแสงของกระดาษ โดยกระดาษที่ใส่ Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อน พบว่ามีค่าการสะท้อนแสงที่สูงกว่ากระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสงและรังสียูวี เนื่องจากการเร่งอายุด้วยความร้อนทำให้สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE เสื่อมสลายได้น้อยกว่าการเร่งอายุด้วยแสงและรังสียูวี ดังนั้นเมื่อกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อนจึงมีสารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE เหลืออยู่มาก จึงช่วยให้ค่าการสะท้อนแสงของกระดาษนั้นคงสูงอยู่ เนื่องจากสารเพิ่มความขาวสว่างเอง มีคุณสมบัติในการเพิ่มค่าการสะท้อนแสงให้กับกระดาษ แต่กระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสงและรังสียูวีมีค่าการสะท้อนแสงต่ำกว่ากระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีอาบแสงและอาบรังสียูวี ซึ่งถือได้ว่าการเร่งอายุด้วยแสงและรังสียูวีมีผลต่อการเสื่อมสลายของสารเพิ่มความขาวสว่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารเพิ่มความขาวสว่าง Skaywhite HCE



ภาพที่ 63 **ซ้าย** โครมาโทแกรมของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธี: (ก) ให้ความร้อน 12 วัน (ข) ฉายแสง 100 ชั่วโมง และ (ค) ฉายรังสียูวี 100 ชั่วโมง

ขวา โครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สาร Skaywhite HCE ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธี: (ก) ให้ ความร้อน 12 วัน (ข) ฉายแสง 100 ชั่วโมง และ (ค) ฉายรังสียูวี 100 ชั่วโมง

การเปรียบเทียบกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างกับกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinoapl UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีต่าง ๆ กัน

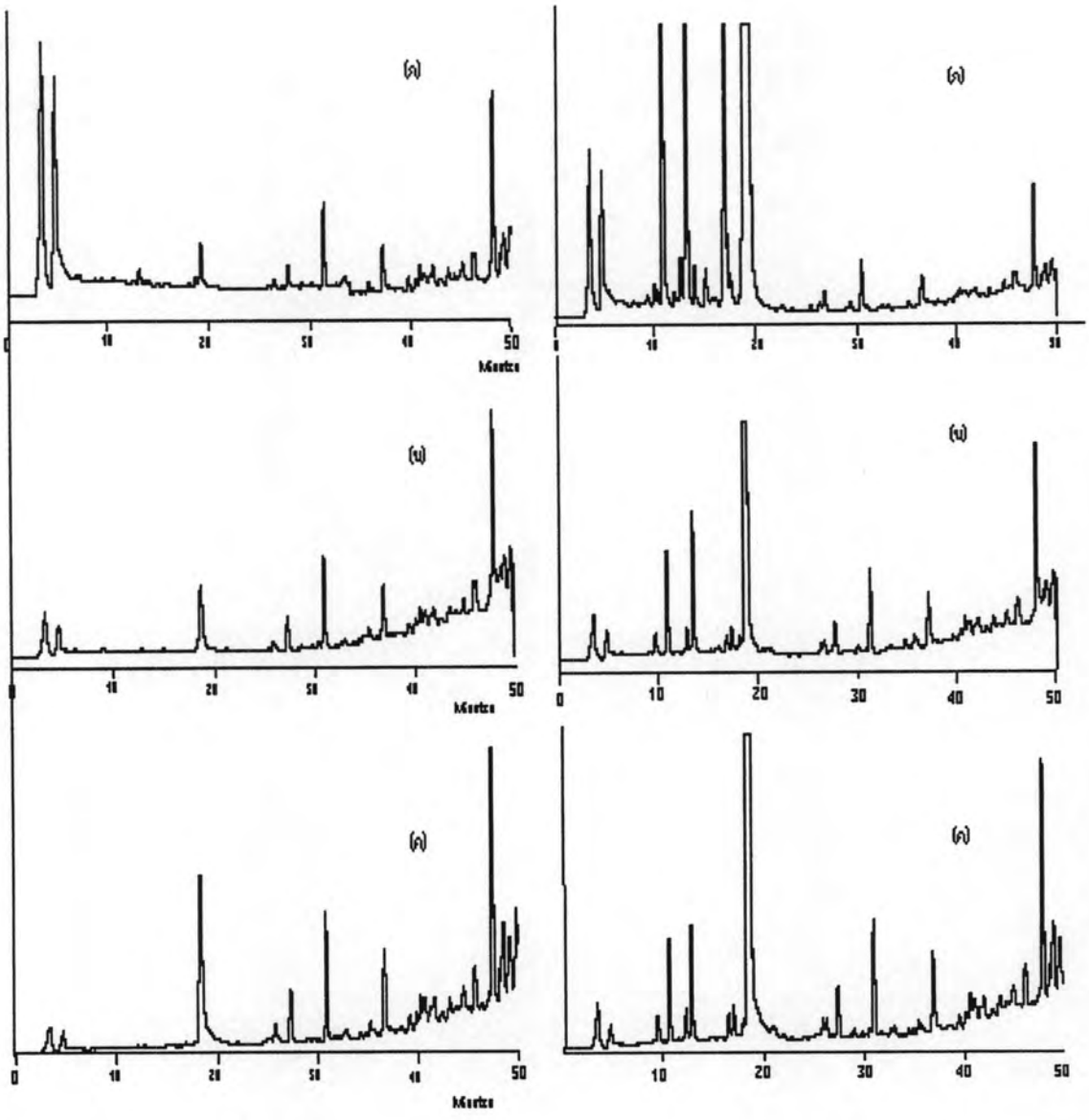
ภาพที่ 64 (ก) ซ้าย เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีอบความร้อน 12 วัน จะมีสัดส่วนของพีคของกระดาษที่ต่างไปจากกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายแสง (ภาพที่ 64 (ข) ซ้าย) และวิธีฉายรังสียูวี (ภาพ 64 (ค) ซ้าย) โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของพีคของกระดาษ

ภาพที่ 64 (ก) ขวา เป็นโครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีอบความร้อน 12 วัน จะมีสัดส่วนของพีคที่ต่างไปจากกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธีฉายแสง 100 ชั่วโมง (ภาพที่ 64 (ข) ขวา) และวิธีฉายรังสียูวี 100 ชั่วโมง (ภาพที่ 64 (ค) ขวา)

เมื่อเปรียบเทียบโครมาโทแกรม พบว่า โครมาโทแกรมในภาพที่ 64 (ก) ซ้าย กับ (ก) ขวา (ข) ซ้ายกับ(ข) ขวา และ (ค) ซ้ายกับ(ค) ขวา ซึ่งผ่านการเร่งด้วยวิธีเดียวกันจะพบลักษณะโครมาโทแกรมเหมือนกัน โดยภาพ (ก) ซ้าย ซึ่งเป็นกระดาษที่ไม่มีสารเพิ่มความขาวสว่างจะต่างจากภาพ (ก) ขวา ในส่วนของพีคที่ออกมาในช่วงเวลา 10-20 นาที ซึ่งกลุ่มพีคนี้เป็นพีคของสารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ส่วนการเปลี่ยนแปลงพีคที่ 1 และ 2 ในภาพ (ก) ขวา เป็นลักษณะพีคของกระดาษที่ถูกเร่งอายุด้วยความร้อนโดยตรงซึ่งมีลักษณะพีคที่สูงอย่างมากเหมือนที่ปรากฏในภาพ (ก) ซ้าย เพราะเป็นลักษณะเฉพาะของกระดาษที่เร่งอายุด้วยความร้อน เช่นเดียวกับภาพ (ข) ซ้าย ซึ่งเป็นกระดาษที่ไม่มีสารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสงจะต่างจากภาพ (ข) ขวา ในส่วนของพีคที่ออกมาในช่วง 10-20 นาที ซึ่งกลุ่มพีคนี้เป็นพีคของสารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ส่วนการเปลี่ยนแปลงที่ตำแหน่ง 1 และ 2 ในภาพ (ข) ขวา เป็นลักษณะเฉพาะของกระดาษที่ถูกเร่งอายุด้วยแสง ซึ่งมีลักษณะพีคที่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เหมือนที่ปรากฏในภาพ (ข) ซ้าย นอกจากนี้ยังพบว่า ในภาพ (ค) ซึ่งเป็นกระดาษที่ไม่มีสารเพิ่มความขาวสว่างที่ผ่านการเร่งอายุด้วยรังสียูวีจะต่างจากภาพ (ค) ขวา ในส่วนของพีคที่ออกมาในช่วง 10-20 นาที ซึ่งกลุ่มพีคนี้เป็นพีคของสารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ส่วนการเปลี่ยนแปลงที่ตำแหน่ง 1 และ 2 ในภาพ (ค) ขวา เป็นลักษณะเฉพาะของกระดาษที่ถูกเร่งอายุด้วยรังสียูวี ซึ่งมีลักษณะพีคที่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เหมือนที่ปรากฏในภาพ (ค) ซ้าย

เมื่อเปรียบเทียบพีคในช่วงเวลา 10-20 นาที ของโครมาโทแกรมในภาพที่ 64 (ก) ภาพที่ 64 (ข) และ ภาพที่ 64 (ค) ด้านขวา จะเห็นการเปลี่ยนแปลงที่ไม่เหมือนกัน พบว่าการเร่งอายุด้วยความร้อน พีคของสารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ในช่วง 10-20 นาที มีการเปลี่ยน

แปลงน้อยที่สุด แสดงว่า สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ไม่สลายตัว หรือสลายตัวน้อยมากเมื่อถูกความร้อน ในขณะที่เมื่อเร่งอายุด้วยแสงและรังสียูวี พบว่า สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP มีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นซึ่งอาจเกิดจากสารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP เกิดการสลายตัวได้มากกว่าการเร่งอายุด้วยความร้อน ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับผลการวัดค่าการสะท้อนแสงของกระดาษ โดยกระดาษที่ใส่ Tinopal UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อนพบว่ามีค่าการสะท้อนแสงที่สูงกว่ากระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยแสงและรังสียูวี เนื่องจากการเร่งอายุด้วยความร้อนทำให้สารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP เสื่อม Tinopal UP ผ่านการเร่งอายุด้วยความร้อนจึงมีสารเพิ่มความขาวสว่าง Tinopal UP เหลืออยู่มาก จึงช่วยให้ค่าการสะท้อนแสงของกระดาษนั้นคงสูงอยู่ เนื่องจากสารเพิ่มความขาวสว่างเอง มีคุณสมบัติในการเพิ่มค่าการสะท้อนแสงให้กับกระดาษ



ซ้าย ขวา

ภาพที่ 64 **ซ้าย** โครมาโทแกรมของกระดาษที่ไม่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่างผ่านการเร่งอายุด้วยวิธี:
(ก) ให้ความร้อน 12 วัน (ข) ฉายแสง 100 ชั่วโมง และ (ค) ฉายรังสียูวี 100 ชั่วโมง

ขวา โครมาโทแกรมของกระดาษที่ใส่สาร Tinopal UP ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยวิธี:
(ก) ให้ความร้อน 12 วัน (ข) ฉายแสง 100 ชั่วโมง และ (ค) ฉายรังสียูวี 100 ชั่วโมง