

การแยกฟอยล์ออกจากเยื่อกระดาษที่ผ่านการเดินรอยร้อนเพื่อทำกระดาษรีไซเคิล De-Foiling of Wasted Paper from Hot Foil Stamping for Paper Recycling

จุฑามณี จินดารัตน์ไพบูลย์ ปัทิตา กุลวนิชธนาโชค ธนธร ทองสัมฤทธิ์* และ สุชาภา เนตรประดิษฐ์

Chuthamane Jindaratpaiboon, Pathita Kulwanichthanachok,

Tanatorn Tongsumrith* and Suchapa Netpradit

ภาควิชาเทคโนโลยีการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถ. ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

*tanatorn.ton@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแยกชั้นฟอยล์ออกจากกระดาษที่ผ่านการเดินรอยร้อนมาแล้ว และนำเยื่อที่ได้ไปขึ้นแผ่นกระดาษรีไซเคิลพร้อมทั้งศึกษาสมบัติทางทัศนศาสตร์และสภาพพิมพ์ได้ของกระดาษ โดยทดลองทำขึ้นงานตัวอย่างที่ผ่านการเดินรอยร้อนด้วยฟอยล์ไม่มีสี (ฟอยล์เงิน) และฟอยล์มีสี (ฟอยล์ชมพู) บนกระดาษอาร์ต 130 แกรม โดยมีพื้นที่ฟอยล์ 3 ระดับคือ ร้อยละ 25, 50 และ 75 บนพื้นที่กระดาษ 100 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ทำการแยกฟอยล์ออกจากเยื่อกระดาษโดยฉีกขึ้นงานตัวอย่างแล้วนำไปแช่น้ำและสารละลายอะซิโตน จากนั้นเปรียบเทียบลักษณะและสมบัติของกระดาษรีไซเคิลระหว่างแผ่นทดสอบ (ผ่านการเดินรอยร้อน) และแผ่นควบคุม (ไม่ผ่านการเดินรอยร้อน) โดยใช้กระบวนการเช่นเดียวเดียวกัน พบว่า มีจำนวนจุดฟอยล์หลงเหลือบนกระดาษรีไซเคิลมาก เมื่อกระดาษตั้งต้นที่ใช้รีไซเคิลมีพื้นที่ฟอยล์บนกระดาษ ร้อยละ 75 และการใช้ฟอยล์ชมพูปรากฏจุดฟอยล์หลงเหลือบนผิวกระดาษชัดเจนกว่าฟอยล์เงิน การแช่ขึ้นงานในสารละลายอะซิโตนทำให้ชั้นสีของฟอยล์ละลายออกมา จึงทำให้กระดาษรีไซเคิลมีสมบัติทางทัศนศาสตร์ดีกว่าการแช่น้ำ ส่วนด้านความมันวาว การรับหมึกพิมพ์ และความทนทานต่อการขีดข่วนของหมึกพิมพ์ ไม่แตกต่างกันระหว่างแผ่นทดสอบและแผ่นควบคุม ดังนั้นกระดาษที่ผ่านการเดินรอยร้อนมาแล้ว สามารถแยกฟอยล์ออกจากเยื่อ แล้วมาทำกระดาษรีไซเคิลที่มีคุณภาพและใช้พิมพ์งานได้ แต่พื้นที่ฟอยล์บนขึ้นงานไม่ควรเกินร้อยละ 50 และควรใช้สารละลายอะซิโตนในการทำละลายชั้นสีของฟอยล์

คำสำคัญ: กระดาษรีไซเคิล, การเดินรอยร้อน, การแยกฟอยล์ออกจากกระดาษ

Abstract

The separation of the foil layer from the hot foil stamped paper was the main objective of this research. After de-foiling from wasted paper, the pulp was used to repulp to make a recycled paper, which the optical properties and printability of recycled paper were determined. Two colors of foil were used to prepare samples: silver foil (colorless) and pink foil (colored). They were hot-stamped onto 130 gsm coated paper. There were three differences in the degree of foil printed area consisted of 25%, 50%, and 75% on 100 cm² paper area, respectively. Then, the printed paper was torn apart and immerse in water and acetone solution for de-foiling process to compare the de-foiling efficiency. The effect of the foil printed area was investigated. It was found that the number of foil dots (dirtiness) on recycled paper is very large. When recycled paper has a large foil area on the paper, especially, the foil area of 75% was the highest. Comparison of the solution, it showed that acetone solution can dissolve the pink color from foiled paper more than water, which optical property was better. In terms of printability, it showed no differences between de-foiling recycled paper and recycled paper. Therefore, hot stamping foil paper can be recycled and provide usable paper quality. However, the foil area should be less than 50%, and an acetone solution should be used to help dissolving the foil color layer.

Keywords: De-foiling, Hot Stamping, Paper Recycling

1. บทนำ

อุตสาหกรรมการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ภายในประเทศไทยมีการเติบโตอย่างรวดเร็ว และมีการแข่งขันสูงทั้งในเรื่องความสวยงามและราคา แต่สองประเด็นนี้คงไม่เพียงพอต่อการแข่งขันทางธุรกิจในโลกปัจจุบัน เนื่องจากกระแสการรักษาสิ่งแวดล้อมกำลังมาแรง จึงเป็นอีกหนึ่งประเด็นที่ต้องคำนึงถึงอย่างยิ่ง ผู้ผลิตต้องมีการเลือกวัตถุดิบที่นำมาตกแต่งสิ่งพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ให้สวยงาม และทำลายสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด รวมทั้ง คำนึงถึงวัฏจักรชีวิต (life cycle) ของผลิตภัณฑ์ด้วย คือหลังจากที่บรรจุภัณฑ์ถูกใช้งานแล้ว จะต้องมีการกำจัดขยะอย่างถูกวิธี ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับการตกแต่งสิ่งพิมพ์หรือบรรจุภัณฑ์โดยใช้วิธีการเดินรอยร้อนด้วยฟอยล์ (hot foil stamping) หรือคนทั่วไปเรียกว่าการปั๊มฟอยล์ด้วยความร้อนนั้น เป็นการประดับตกแต่งด้วยฟอยล์ที่มีความแวววาวให้สวยงาม โดยใช้ความร้อนและแรงกดเพื่อถ่ายโอนภาพจากแม่พิมพ์หรือบล็อกโลหะที่เป็นพื้นนูนไปยังวัสดุใช้พิมพ์ของฉลากสินค้าหรือบรรจุภัณฑ์ โดยใช้ฟอยล์โลหะทำให้ให้ผิวหน้ากระดาษมีการสะท้อนแสงและอาจมีสีสันสวยงาม โดยทั่วไปฟอยล์สำหรับการเดินรอยร้อน (hot stamping foil) มักเป็นสีทองหรือสีเงิน ซึ่งมีการผลิตเป็นสีอื่น ๆ และมีลักษณะผิวพิเศษในรูปแบบต่าง ๆ ด้วย [1] การเดินรอยร้อนจึงเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีความนิยมอย่างมาก ในการทำให้สิ่งพิมพ์หรือบรรจุภัณฑ์มีความสวยงามมากขึ้น เพิ่มมูลค่าให้ดูหรูหรา และดึงดูดความสนใจของผู้รับ ผู้ใช้หรือผู้บริโภค โดยมักมีการเน้นเฉพาะบริเวณด้วยความแวววาวของฟอยล์ทอง ฟอยล์เงิน หรือฟอยล์สีต่าง ๆ ซึ่งมีวัสดุหลักเป็นชั้นบาง ๆ ของแผ่นอลูมิเนียม (aluminum metalizing) ยึดติดได้ชั้นฟิล์มนำพาซึ่งเป็นโพลีเอสเตอร์ (polyester film carrier) มีชั้นแววกซ์ที่ต้องคลายออกเมื่อได้รับความร้อน (release layer) มีชั้นสี (color pigment layer) หรือเคลือบเงาอยู่บนชั้นอลูมิเนียม และด้านล่างสุดของฟอยล์สำหรับเดินรอยร้อนเป็นชั้นกาว (adhesive layer) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ม้วนฟอยล์จาก บจก. เคิร์ช (ประเทศไทย) และองค์ประกอบในชั้นต่าง ๆ ของฟอยล์ที่ใช้เดินรอยร้อน [2]

เมื่อทำการปั๊มฟอยล์ลงบนกระดาษโดยวางตำแหน่งให้ชั้นกาวคว่ำหน้าลง มีการใช้แรงกดพร้อมการสัมผัสด้วยแม่พิมพ์หรือบล็อกรูปภาพที่ถูกทำให้ร้อน เพื่อกระตุ้นให้ชั้นกาวมีความเหนียว จากนั้น ฟิล์มชั้นบนจะถูกแยกตัวออกจากกระดาษ ปลอ่ยให้ภาพฟอยล์ถูกถ่ายทอลงบนกระดาษตามภาพบนแม่พิมพ์หรือบล็อก จากการสำรวจข้อมูลพบว่า ร้านรับซื้อเศษกระดาษไม่รับซื้อกระดาษที่ผ่านการเดินรอยร้อนด้วยฟอยล์มาแล้ว ถึงแม้ว่าน้ำหนักและความหนาของชั้นฟอยล์จะน้อยเมื่อเทียบกับความหนาของแผ่นกระดาษ ปัญหาคือไม่สามารถนำเศษกระดาษที่ถูกประกบติดกับฟอยล์เข้าสู่กระบวนการทำกระดาษรีไซเคิลได้ และหากต้องการทำลายทิ้งก็อาจใช้วิธีฝังกลบหรือเผาทำลาย ซึ่งทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันจึงยังไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการทำให้ฟอยล์ที่ประกบติดบนผิวกระดาษนั้นแยกออกจากกันเพื่อนำเยื่อไปทำกระดาษรีไซเคิล โดยทั่วไป การนำกระดาษใช้แล้วหรือเหลือทิ้งแต่ละชนิดกลับมาเวียนทำใหม่ ต้องผ่านกระบวนการรีไซเคิล (recycle process) ซึ่งมีวิธีการแตกต่างกัน ถึงแม้ว่าจะเป็นกระดาษชนิดเดียวกัน เช่น กระดาษพิมพ์แล้วซึ่งมีหมึกพิมพ์ยึดติดบนกระดาษ ต้องผ่านกระบวนการแยกหมึกพิมพ์ออก (de-inking) ก่อนการนำเยื่อกลับมาเวียนทำกระดาษใหม่ โดยวิธีการแยกหมึกพิมพ์ออกจากเยื่อกระดาษมักแตกต่างกันตามชนิดฐานของหมึกพิมพ์ (ink base) หรือสารยึดติด (binder) ของหมึกพิมพ์ คุณภาพของเยื่อเวียนทำใหม่ที่ได้จะขึ้นกับความสามารถในการแยกหมึกพิมพ์ออกจากเส้นใย นอกจากชนิดของกระดาษและชนิดของหมึกพิมพ์แล้ว ยังขึ้นกับชนิดของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการแยกหมึกพิมพ์ออกอีกด้วย [3]

จากแนวโน้มการใช้บรรจุภัณฑ์กระดาษที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณความต้องการผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค โดยเฉพาะในยุค New Normal ที่ผู้บริโภคปรับเปลี่ยนพฤติกรรมมาเป็นการสั่งซื้อสินค้าผ่านช่องทางออนไลน์มากขึ้น รวมถึงผู้ประกอบการให้ความสำคัญกับการสร้างภาพลักษณ์ของสินค้า การให้บริการที่เน้นการออกแบบรูปลักษณ์ของบรรจุภัณฑ์หรือการตกแต่งที่สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ โดยใช้วิธีการเดินรอยร้อนหรือปั๊มฟอยล์กันมากขึ้น เมื่อมีการผลิตและใช้กล่องกระดาษที่ตกแต่งโดยการเดินรอยร้อนด้วยแผ่นฟอยล์กันมากขึ้น ผู้ผลิตและผู้บริโภคก็ควรคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดจากขยะบรรจุภัณฑ์ด้วย หากมีการนำกระดาษใช้แล้วที่ผ่านการเดินรอยร้อนมาเข้าสู่ระบบหมุนเวียนเพื่อผลิตเป็นกระดาษรีไซเคิลได้ ก็จะช่วยลดปัญหาการทิ้งกระดาษของเสียที่มีฟอยล์ประกบติดอยู่ และช่วยให้ธุรกิจต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องมีความยั่งยืนมากขึ้น ในขณะที่ผู้ผลิตฟอยล์หรือสิ่งพิมพ์บรรจุภัณฑ์กำลังตระหนักถึงความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น [4] ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงปัญหาและต้องการศึกษาทดลองแยกฟอยล์ออกจากกระดาษ โดยมีตัวแปรและปัจจัยต่างกัน เช่น สีของฟอยล์ พื้นที่ของฟอยล์ และวิธีการแยกฟอยล์ออกจากเยื่อกระดาษเพื่อการทำกระดาษรีไซเคิล แล้วนำมาตรวจสอบสมบัติทางทัศนศาสตร์คุณภาพของกระดาษในการรับหมึกพิมพ์ และความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์บนกระดาษรีไซเคิล

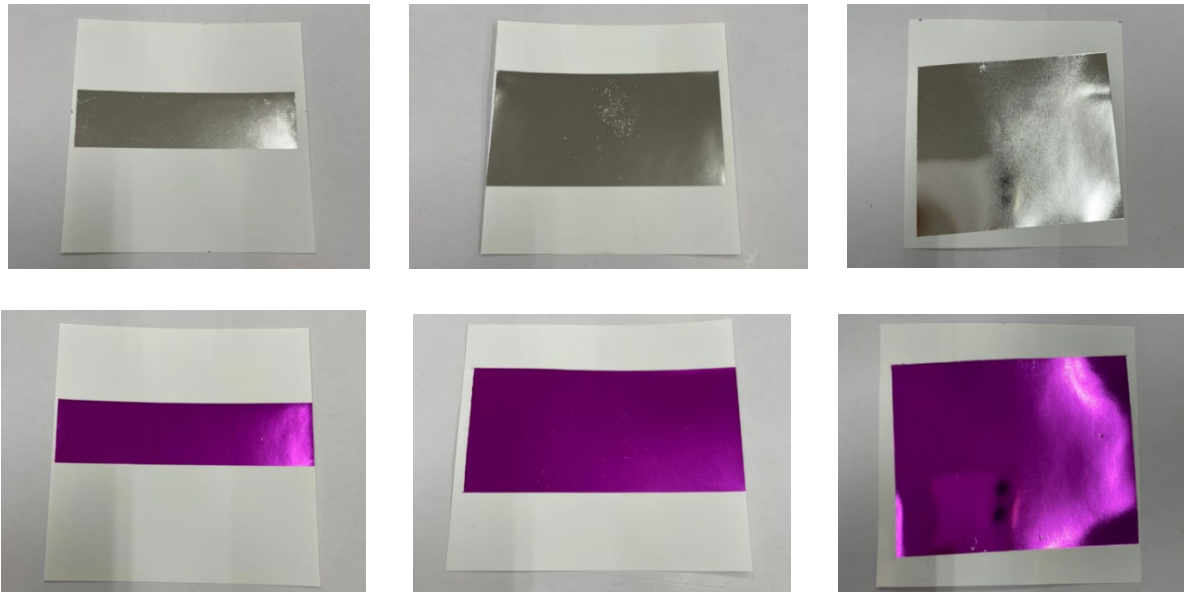
2. วิธีดำเนินการทดลอง

2.1 การเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง

นำกระดาษเคลือบผิว (กระดาษอาร์ต) 130 แกรม ตัดให้ได้ขนาด 10×10 เซนติเมตร (100 ตารางเซนติเมตร) เป็นจำนวน 280 แผ่น โดยแบ่งเป็นกระดาษแผ่นควบคุมที่ไม่ผ่านการเดินรอยร้อน 20 แผ่น กระดาษแผ่นทดสอบที่ปั๊มฟอยล์เงิน 120 แผ่น และกระดาษที่ปั๊มฟอยล์ชมพู 120 แผ่น เพื่อให้จำนวนชิ้นงานตัวอย่างเพียงพอต่อจำนวนตัวแปรในการทดลอง จากนั้นนำบล็อกตะกั่วที่สร้างขึ้น 3 ขนาด คือ 2.5×10 เซนติเมตร, 5×10 เซนติเมตร และ 7.5×10 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 2 ติดตั้งบนเครื่องเดินรอยร้อน (รุ่น Opus Goldpress 5) ตั้งอุณหภูมิที่ 120 องศาเซลเซียส ทำการเดินรอยร้อนลงบนกระดาษอาร์ตเป็นเวลา 3 วินาทีต่อชิ้นงาน เพื่อให้ได้ชิ้นงานตัวอย่างที่มีพื้นที่ฟอยล์ 3 ระดับ คือ 25%, 50% และ 75% ตามลำดับ ดังรูปที่ 3 โดยใช้ฟอยล์เงินและฟอยล์ชมพู จำนวนแบบละ 20 แผ่น แยกเป็น 2 ชุด สำหรับการทดลองฉีกกระดาษที่ผ่านการเดินรอยร้อนแล้วเป็นเศษชิ้นเล็ก ๆ แล้วทำการแยกเยื่อกระดาษ รวมทั้งแยกเศษฟอยล์ออกจากเยื่อกระดาษ โดยแยกกระดาษในตัวทำละลาย 2 แบบ คือ แอลกอฮอล์ และแอสโตรอน ความเข้มข้นร้อยละ 50 เป็นเวลาประมาณ 12 ชั่วโมง



รูปที่ 2 บล็อกแม่พิมพ์ตะกั่ว 3 ขนาด คือ 2.5×10 เซนติเมตร (25%), 5×10 เซนติเมตร (50%), 7.5×10 เซนติเมตร (75%) ตามลำดับ และเครื่องสำหรับการเดินรอยร้อน



รูปที่ 3 ชิ้นงานตัวอย่างที่ผ่านการเดินรอยร้อนด้วยฟอยล์เงินและฟอยล์ชมพู บนกระดาษอาร์ตพื้นที่ 3 ขนาด คือ 2.5×10 เซนติเมตร (25%), 5×10 เซนติเมตร (50%), 7.5×10 เซนติเมตร (75%) ตามลำดับ

2.2 การทำเป็นเยื่อกระดาษและทดลองขึ้นแผ่นกระดาษทดสอบ

นำกระดาษที่แชในสารละลายอะซิโตนแล้วไปทำการชะล้างสารเคมีออกจากเยื่อกระดาษด้วยน้ำ 3 ครั้งให้สะอาด ก่อนนำไปปั่นด้วยเครื่องกระจายเยื่อ (Disintegrator Formax รุ่น T-100) ส่วนเศษกระดาษที่แชในน้ำ นำไปปั่นด้วยเครื่องกระจายเยื่อได้ทันที โดยกำหนดรอบความเร็วในการกระจายเยื่อ 30,000 รอบ ในเวลา 9 นาที แล้วนำเยื่อที่กระจายเสร็จมาเทใส่ในกระบอกตวง ทำการเติมน้ำ ให้เป็น 1 ลิตร ต่อ 1 แผ่นกระดาษทดสอบ กวนน้ำเยื่อตามเข็มนาฬิกาเพื่อไม่ให้เยื่อตกตะกอน

ทำการทดลองขึ้นแผ่นกระดาษด้วยเครื่องทำแผ่นทดสอบ (hand sheet forming machine) ให้กระดาษมีน้ำหนักมาตรฐาน 100 กรัมต่อตารางเมตร ยกกระบอกลงมาปิดตะแกรงขึ้นแผ่น ทำการเปิดวาล์วให้น้ำประปาไหลเข้ามาในปริมาณ $\frac{1}{3}$ ของกระบอก ก่อนตักน้ำเยื่อจากถังกวนมา 1 ลิตร สำหรับการขึ้นแผ่นกระดาษ 1 แผ่น แล้วเทลงไปในเครื่องทำแผ่นกระดาษ เปิดให้น้ำไหลเข้ามาเพิ่มเป็น $\frac{2}{3}$ ของกระบอก เปิดวาล์วลมจากถังกระบอกเพื่อให้เยื่อกระจายตัวอยู่ในน้ำสักระยะ 2 นาที มาสูบน้ำออกจากเยื่อที่ค้างอยู่บนตะแกรง วางแผ่นเหล็กเรียบและใช้ลูกกลิ้งเหล็กกดทับเพื่อให้แผ่นกระดาษเรียบ แล้วจึงทำการดึงลอกแผ่นกระดาษที่แห้งหมาดออกจากตะแกรง แล้วนำไปทำให้แห้งด้วยเครื่องอบแห้ง (L&W Rapid Dryer)



รูปที่ 4 การปั่นกระจายเยื่อ และขึ้นแผ่นกระดาษทดสอบ

2.3 การประเมินสมบัติทางทัศนศาสตร์ของแผ่นกระดาษรีไซเคิล

2.3.1 ทำการตรวจพินิจคุณลักษณะเกี่ยวกับจุดหรือความเลอะเทอะของกระดาษรีไซเคิลที่ขึ้นแผ่นเอง [5] โดยนำมาตีเส้นตารางขนาด 5 x 5 เซนติเมตร เพื่อให้ได้ตารางช่องละ 1 x 1 เซนติเมตร หรือ 100 ตารางมิลลิเมตร จำนวน 25 ช่อง ทำการประเมินโดยเลือก 3 ช่องที่มองเห็นจุดฟอยล์หลงเหลือบนผิวกระดาษชัดเจนที่สุด แล้วนับจำนวนจุดฟอยล์ที่สังเกตเห็นด้วยตาภายใต้แสงสว่างของหลอดไฟ D65 ทำการบันทึกผลซ้ำ 3 ตัวอย่าง และหาค่าเฉลี่ย

2.3.2 ทำการตรวจพินิจคุณลักษณะเกี่ยวกับสีของกระดาษรีไซเคิลที่ขึ้นแผ่นแล้ว โดยนำมาวัดค่าสีในปริภูมิสี CIE L*a*b* ของผิวกระดาษด้วยเครื่อง spectro-densitometer ยี่ห้อ X-rite รุ่น SpectroEye ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65/ 10° วิเคราะห์ค่าความแตกต่างสีเปรียบเทียบกับแผ่นกระดาษควบคุม รวมทั้งวัดค่าความเงาของกระดาษด้วย gloss meter (Nippon Denshoku รุ่น PG-1M) ที่มุม 60 องศา ทำการบันทึกผลซ้ำ 3 ตัวอย่าง และหาค่าเฉลี่ย วิเคราะห์เปรียบเทียบกับแผ่นควบคุม

2.4 การประเมินสมบัติทางการพิมพ์ของแผ่นกระดาษรีไซเคิล

2.4.1 นำหมึกเฟล็กโซกราฟีฐานน้ำ 3 สีคือ cyan, magenta และ yellow มาวัดความหนืดด้วยเครื่อง Zahn Cup เบอร์ 3 เพื่อตรวจสอบสภาพหมึกพิมพ์ ก่อนทดสอบปาดหมึกบนกระดาษแผ่นตัวอย่างโดยใช้ Bar coater เบอร์ 6 วัดค่าความดำ (optical density) ของหมึกบนกระดาษด้วยเครื่อง spectro-densitometer ยี่ห้อ X-rite รุ่น SpectroEye โดยวัดค่า 3 จุด ทำการบันทึกผล และหาค่าเฉลี่ย

2.4.2 ทดสอบความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ทั้ง 3 สี บนกระดาษรีไซเคิล โดยใช้เครื่อง Rub Tester แบบ manual ทำการหุ้มกระดาษขาวบนตุ่มน้ำหนัก แล้วทำการขัดถูบนกระดาษที่มีหมึกพิมพ์จำนวน 100 รอบต่อ 1 แผ่น วัดค่า density หากมีสีหมึกพิมพ์หลุดไปติดที่แผ่นขัดถู โดยเครื่อง densitometer โดยวัดค่า 3 จุด และหาค่าเฉลี่ย เทียบระดับความทนทานต่อการขัดถู (ระดับ 1 หลุดมากที่สุด - ระดับ 5 ไม่หลุดเลย) โดยใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน BS-3110, ASTM D-5264, 5181, ISO 9000, TAPPI T830

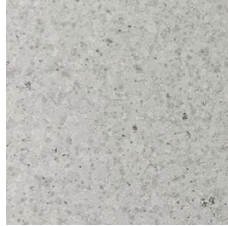
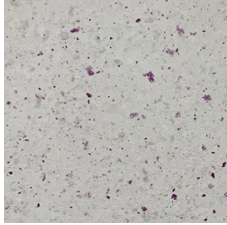
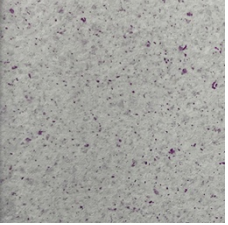
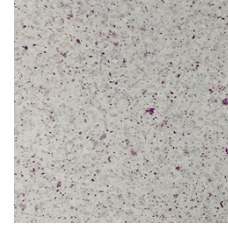
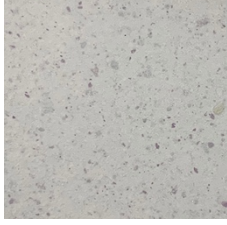
3. ผลการทดลอง

3.1 สมบัติทางทัศนศาสตร์ของแผ่นกระดาษรีไซเคิล

3.1.1 จำนวนจุดฟอยล์ที่หลงเหลืออยู่บนผิวกระดาษ

ตารางที่ 1 แสดงภาพจุดฟอยล์ที่หลงเหลือและปรากฏบนแผ่นกระดาษรีไซเคิล เห็นได้ว่ากระดาษมีจุดฟอยล์หลงเหลืออยู่หลากหลายขนาดและรูปร่าง มีการกระจายตัวทั่วทั้งแผ่นกระดาษอย่างสม่ำเสมอ ทั้งอยู่บนผิวกระดาษและฝังในเยื่อกระดาษ จุดฟอยล์มีความถี่ในการกระจายตัวบนแผ่นกระดาษมากขึ้นเมื่อพื้นที่ฟอยล์ของแผ่นตัวอย่างเพิ่มขึ้น ซึ่งการทดลองครั้งนี้ได้นับเพียงจุดที่อยู่บนผิวหน้ากระดาษและสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า พบว่ามองเห็นจุดฟอยล์บนกระดาษรีไซเคิลน้อยที่สุด เมื่อแผ่นกระดาษตั้งต้นมีพื้นที่ฟอยล์เงินร้อยละ 25 แขนในสารละลายอะซิโตนขณะทำการแยกเยื่อกระดาษ ส่วนแผ่นตัวอย่างที่ปรากฏจุดฟอยล์หลงเหลือชัดเจนมากที่สุด คือแผ่นกระดาษตั้งต้นที่มีฟอยล์ชมพู แขนในน้ำ และมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อแผ่นตัวอย่างมีพื้นที่ฟอยล์ชมพูเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 50 และร้อยละ 75 ตามลำดับ

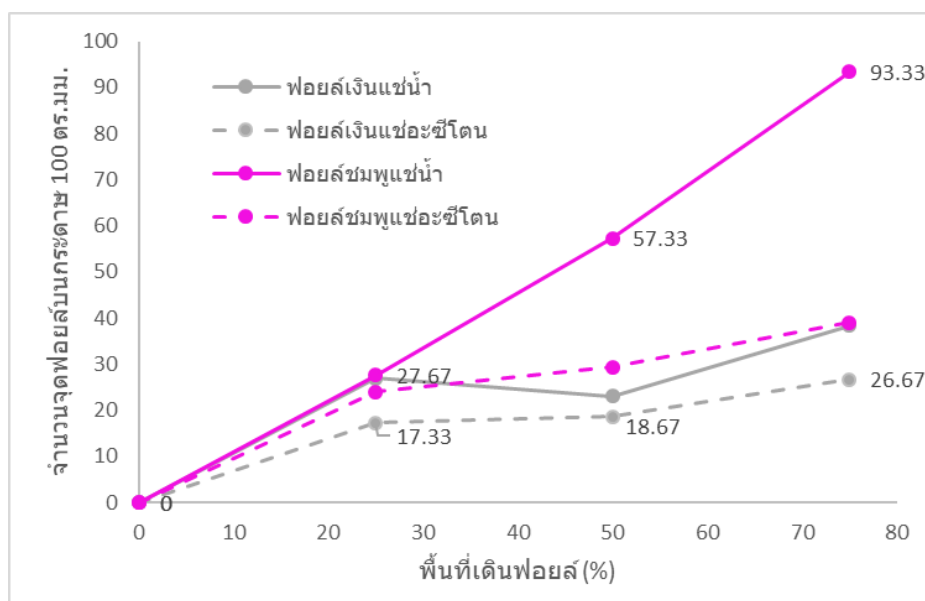
ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบภาพจุดฟอยล์ที่หลงเหลือบนกระดาษรีไซเคิล (กำลังขยาย 1 เท่า)

แผ่นตัวอย่าง		พื้นที่ฟอยล์ 25%	พื้นที่ฟอยล์ 50%	พื้นที่ฟอยล์ 75%
ฟอยล์เงิน	แช่น้ำ			
	แช่สารละลายอะซิโตน			
ฟอยล์ชมพู	แช่น้ำ			
	แช่สารละลายอะซิโตน			

เมื่อวิเคราะห์จากภาพกระดาษรีไซเคิล พบว่ามองเห็นจุดฟอยล์บนผิวกระดาษไม่ชัดเจน หากกระดาษได้ผ่านการเดินรอยร้อนด้วยฟอยล์เงิน ที่มีพื้นที่การเดินฟอยล์ไม่เกินร้อยละ 50 หากใช้ฟอยล์มีสี ก็ควรแก้ปัญหาโดยแช่ในสารละลายอะซิโตนขณะทำการแยกเยื่อกระดาษ เมื่อนับจำนวนจุดฟอยล์บนผิวกระดาษรีไซเคิลแล้วมาสร้างกราฟเปรียบเทียบ เป็นดังรูปที่ 5 ซึ่งแสดงให้เห็นแนวโน้มของจำนวนจุดฟอยล์ที่หลงเหลือหลังการรีไซเคิลแปรผันตามพื้นที่ฟอยล์คือ เมื่อกระดาษตั้งต้นมีพื้นที่ฟอยล์มาก ส่งผลให้จำนวนจุดฟอยล์หลังการรีไซเคิลมีจำนวนมากด้วย เนื่องจากไม่สามารถแยกฟอยล์ออกจากเยื่อกระดาษได้ทั้งหมด เป็นเพราะฟอยล์มีน้ำหนักเบา และการเดินรอยร้อนทำให้ชั้นกาวของฟอยล์ยึดติดกับเยื่อกระดาษได้ดีมาก ส่งผลให้กระดาษรีไซเคิลยังคงมีจุดเศษฟอยล์หลงเหลืออยู่

นอกจากนี้ยังพบว่า ฟอยล์ที่มีสีส่งผลให้จำนวนจุดฟอยล์ที่หลงเหลือหลังการรีไซเคิลมีมากกว่าฟอยล์ไม่มีสี แต่สามารถใช้สารละลายอะซิโตนเพื่อทำลายชั้นสี pigment ได้ เมื่อใช้สารละลายอะซิโตนทำให้ได้กระดาษรีไซเคิลมีสมบัติด้านทัศนศาสตร์ดีขึ้น คือทำให้จำนวนจุดลดน้อยลงอย่างมากจนใกล้เคียงกับการใช้ฟอยล์แบบไม่มีสี แสดงว่าการแช่เยื่อในสารละลายอะซิโตน นอกจากช่วยละลายชั้นสีแล้ว ยังละลายชั้นกาวของฟอยล์ที่ติดบนกระดาษ ทำให้เศษฟอยล์หลุดออกจากเยื่อได้มากขึ้นด้วย และเมื่อสีหลุดละลายออกไป ก็ทำให้การมองเห็นจุดฟอยล์ลดน้อยลง พบว่าแผ่นตัวอย่างที่แช่สารละลายอะซิโตนมีจุดฟอยล์ลดน้อยลงกว่าการแช่น้ำอย่างชัดเจน ส่วนแผ่นตัวอย่างที่ใช้ฟอยล์ชมพูแช่น้ำมีแนวโน้มการเพิ่มจำนวนของจุดฟอยล์บนกระดาษรีไซเคิลสูงขึ้นมาก เมื่อมีการใช้พื้นที่ฟอยล์มากขึ้น ส่วนฟอยล์ชมพูแช่สารละลายอะซิโตนตอน

แยกเยื่อได้ผลใกล้เคียงกับฟอยล์เงินแช่น้ำ อย่างไรก็ตาม ไม่ควรให้มีการเดินรอยร้อนบนแผ่นชิ้นงานใหญ่เกินร้อยละ 50 ของพื้นที่กระดาษทั้งหมด และหากมีฟอยล์สี ก็ควรแยกเยื่อโดยแช่ในสารละลายอะซีโตนก่อนนำมาทำกระดาษรีไซเคิล



รูปที่ 5 จำนวนจุดฟอยล์ที่หลงเหลือต่อ 100 ตร.ม. ของแผ่นกระดาษรีไซเคิล เมื่อแผ่นตัวอย่างมีฟอยล์ร้อนสีต่างกัน (ฟอยล์เงินและฟอยล์ชมพู) พื้นที่ต่างกัน (25, 50, 75%) และแยกเยื่อโดยแช่ในตัวทำละลายต่างกัน (น้ำและอะซีโตน)

3.1.2 สีและความเงาของกระดาษรีไซเคิล

เมื่อนำกระดาษรีไซเคิลจากกระดาษที่ผ่านการเดินรอยร้อนแล้วมาวัดค่าสีของผิวกระดาษ โดยใช้ระบบสีในปริภูมิสี CIE $L^*a^*b^*$ เพื่อหาค่าความแตกต่างสีเปรียบเทียบกับแผ่นตัวอย่างควบคุมที่รีไซเคิลจากกระดาษที่ไม่มีฟอยล์ โดยใช้กระบวนการเดียวกัน พบว่า ค่าเฉลี่ย L^* อยู่ในช่วง 98-100 ค่าเฉลี่ย a^* น้อยกว่า 0.5 และค่าเฉลี่ย b^* น้อยกว่า 0.5 ซึ่งมีค่าสีของกระดาษอยู่ในช่วงที่เหมาะสม เมื่อเทียบกับมาตรฐาน ISO 12647-6 : 2006 สำหรับการพิมพ์ระบบ Flexography [6] ซึ่งกำหนดค่าสีของกระดาษที่เหมาะสมคือ $L^* > 88$, $a^* = \pm 3$ และ $b^* = \pm 5$ ส่งผลให้ค่าความแตกต่างสีของแต่ละแผ่นเพียงเล็กน้อย (มีค่า ΔE น้อยกว่า 1) หรือไม่สามารถมองเห็นความแตกต่างสีด้วยตาเปล่าระหว่างแผ่นกระดาษทดสอบและแผ่นกระดาษควบคุม แต่แผ่นตัวอย่างที่ใช้ฟอยล์ชมพูและแช่น้ำ เมื่อผ่านกระบวนการรีไซเคิลแล้ว ได้กระดาษที่มีความขาวไปในโทนสีแดงเล็กน้อย สังเกตได้จากค่า a^* มีค่าประมาณ 0.4-0.6 ซึ่งสูงกว่าแผ่นที่ไม่ใช้ฟอยล์ชมพู ($a^* = 0.02-0.06$) ทำให้กระดาษมีค่าความแตกต่างสีจากกระดาษควบคุมมากกว่า คือมีค่า ΔE อยู่ระหว่าง 0.8-1 ในขณะที่แผ่นอื่น ๆ มีค่า $\Delta E < 0.4$ เนื่องจากสีของฟอยล์ชมพูยังคงอยู่ในเนื้อกระดาษ เพราะน้ำไม่สามารถล้างชั้นสี pigment ของฟอยล์ออกได้

เมื่อวัดค่าความเงาของกระดาษในหน่วย GU เปรียบเทียบกับแผ่นกระดาษควบคุม พบว่าความเงาของกระดาษรีไซเคิลทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 4.8-5.97 GU ซึ่งมีช่วงการยอมรับค่าความเงาตามมาตรฐานของกระดาษสีขาวไม่เคลือบผิว ซึ่งอยู่ในช่วง 6 ± 5 GU [7] แสดงว่าแผ่นกระดาษรีไซเคิลตัวอย่างทั้งหมดมีค่าความเงาเหมาะสม แม้จะมีจุดฟอยล์หลงเหลืออยู่ แต่จุดฟอยล์เหล่านั้นมีขนาดเล็กมาก จึงไม่ส่งผลในการเพิ่มความเงาของกระดาษรีไซเคิล

3.2 สมบัติทางการพิมพ์ของแผ่นกระดาษรีไซเคิล

3.2.1 การรับหมึกพิมพ์ของกระดาษรีไซเคิล

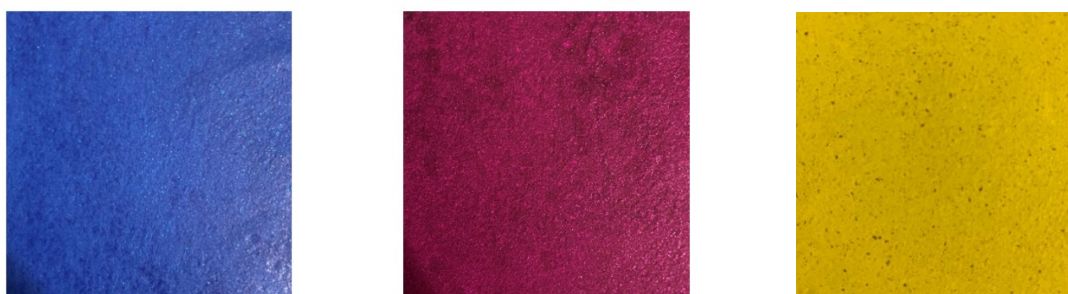
ทำการทดสอบคุณภาพในการรับหมึกพิมพ์ของกระดาษรีไซเคิล ที่ผ่านการเดินรอยร้อนด้วยฟอยล์เงินซึ่งปรากฏจุดฟอยล์หลงเหลือน้อยมาก มาทดสอบปาดหมึกพิมพ์ฟลักโซกราฟีฐานน้ำสี cyan, magenta และ yellow ที่มีความหนืดหมึก 14 วินาที (วัดด้วย Zahn Cup เบอร์ 3) โดยใช้ bar coater เบอร์ 6 แล้วทำการวัดค่าความดำ (optical density) ของสีหมึกพิมพ์

บนแผ่นกระดาษทดสอบ แล้วเปรียบเทียบค่า optical density (D) กับแผ่นกระดาษควบคุม พบว่ากระดาษรีไซเคิลมีการรับหมึกพิมพ์ด้อยลงเล็กน้อย เพราะมีค่า D ต่ำกว่าเล็กน้อย หรือแตกต่างแบบไม่มีนัยสำคัญ ถึงแม้ว่าค่าความดำมีแนวโน้มลดลงหรือแตกต่างกันมากขึ้น เมื่อกระดาษผ่านการเดินร้อนที่มีพื้นที่ฟอยล์มากขึ้น ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่า optical density (D) ที่ลดลงของหมึกพิมพ์บนกระดาษแผ่นทดสอบเปรียบเทียบกับบนแผ่นควบคุม

หมึกพิมพ์	ค่า D บนแผ่นควบคุม	พื้นที่ฟอยล์ 25%		พื้นที่ฟอยล์ 50%		พื้นที่ฟอยล์ 75%	
		แขน้า	แขนือซิน	แขน้า	แขนือซิน	แขน้า	แขนือซิน
cyan	1.42	-0.03	-0.03	-0.05	-0.05	-0.06	-0.07
magenta	1.48	-0.02	-0.05	-0.05	-0.05	-0.06	-0.13
yellow	1.35	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03	-0.04	-0.02

อย่างไรก็ตาม กระดาษรีไซเคิลที่ผ่านกระบวนการแยกฟอยล์ออกจากเยื่อกระดาษแล้ว ไม่มีผลต่อคุณภาพในการรับหมึกพิมพ์ กระดาษรีไซเคิลยังคงรับหมึกพิมพ์ได้ดีและให้ค่า optical density ใกล้เคียงกับแผ่นควบคุม หากหมึกพิมพ์ที่ใช้มีสีเข้ม มีค่า optical density สูง หรือทึบแสง เช่น สี cyan และสี magenta ก็สามารถปกปิดจุดฟอยล์ที่หลงเหลือบนผิวกระดาษรีไซเคิลได้ดีกว่าหมึกพิมพ์สีอ่อน หรือสี yellow ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผ่นกระดาษรีไซเคิลที่ทดลองปาดหมึกพิมพ์ฐานน้ำสี cyan, magenta และ yellow ตามลำดับ

3.2.2 ความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์บนกระดาษรีไซเคิล

ในการทดลองนี้ได้ทดสอบความทนทานต่อการขัดถูของหมึกบนกระดาษรีไซเคิล โดยพิจารณาสีหมึกพิมพ์ที่อาจหลุดมาติดบนกระดาษขาวที่หุ้มตุ้มน้ำหนัก หลังจากทำการขัดถูไปมา 100 รอบ จึงนำแผ่นกระดาษขาวนั้น มาวัดค่า optical density (D) ของสี cyan, magenta, yellow ที่หลุดมาติดบนแผ่นขัดถู พบว่าค่า D ของสีที่ติดบนกระดาษขาวมีค่าน้อยมาก คือ ในการขัดถูหมึกพิมพ์สี cyan ค่า D ของสีที่ไปติดประมาณ 0.4-0.6 ในการขัดถูหมึกพิมพ์สี magenta ค่า D ของสีที่ไปติดประมาณ 0.2-0.4 และในการขัดถูหมึกพิมพ์สี yellow ค่า D ของสีที่ไปติดประมาณ 0.4-0.6 แต่เมื่อเทียบเป็นระดับความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์บนกระดาษทุกประเภท (ระดับ 5 ดีที่สุด) พบว่า หมึกพิมพ์สี cyan และ magenta มีความทนทานต่อการขัดถูอยู่ในระดับ 4.5 ส่วนหมึกพิมพ์สี yellow มีความทนทานต่อการขัดถูอยู่ในระดับ 4 เห็นได้ว่า การพิมพ์หมึกบนกระดาษรีไซเคิลที่เคยผ่านการเดินรอยร้อนมาแล้ว มีผิวกระดาษที่สามารถรับหมึกได้ดี ทำให้มีการยึดติดและทนทานต่อการขัดถูได้ดี แต่หมึกพิมพ์สีอ่อน เช่น yellow ทนทานต่อการขัดถูได้น้อยกว่าหมึกพิมพ์ที่มีความทึบสูงกว่า เช่น หมึกพิมพ์สี cyan หรือ สี magenta

4. สรุปผล อภิปราย และเสนอแนะ

4.1 ทศนศาสตร์ของกระดาษรีไซเคิลจากกระดาษที่ผ่านการเดินรอยร้อน

1) กระดาษรีไซเคิลจากกระดาษที่ผ่านการเดินรอยร้อนมาแล้ว มีจุดฟอยล์หลงเหลืออยู่บนผิวกระดาษน้อย เมื่อมีพื้นที่ฟอยล์บนกระดาษตั้งต้นน้อย ในการทดลองนี้เห็นได้ว่าพื้นที่ฟอยล์ร้อยละ 25 ของพื้นที่กระดาษ ทำให้ได้กระดาษรีไซเคิลมีคุณลักษณะดีที่สุด หรือไม่ควรใช้กระดาษตั้งต้นที่มีพื้นที่ฟอยล์ใหญ่เกินร้อยละ 50 ของพื้นที่กระดาษ

2) การใช้ฟอยล์ไม่มีสี (ฟอยล์เงิน) สามารถแยกฟอยล์ออกจากเยื่อโดยแช่ในน้ำ แล้วนำเยื่อมาทำกระดาษรีไซเคิลได้ โดยมีสมบัติด้านทัศนศาสตร์ที่ดีกว่าการใช้ฟอยล์มีสี เช่น ฟอยล์ชมพู หากใช้ฟอยล์มีสีก็ควรแช่เศษกระดาษในสารละลายอะซิโตนตอนแยกฟอยล์ออกจากเยื่อกระดาษ ก่อนนำเยื่อมาทำกระดาษรีไซเคิล

3) เมื่อพิจารณาค่าสีในปริภูมิสี CIE $L^*a^*b^*$ ของกระดาษรีไซเคิลจากกระดาษที่ผ่านการเดินรอร้อน พบว่า มีความแตกต่างสี (ΔE) เพียงเล็กน้อย คือไม่เกิน 1 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสีของกระดาษควบคุม ซึ่งมองไม่เห็นความแตกต่าง และแผ่นตัวอย่างมีค่า L^* ที่ยอมรับได้ มีค่า a^* และ b^* อยู่ในช่วงที่เหมาะสม เมื่อเทียบกับมาตรฐานของกระดาษสีขาวไม่เคลือบผิว

4) ค่าความเงาของกระดาษรีไซเคิลจากกระดาษที่ผ่านการเดินรอร้อนมาแล้ว ใกล้เคียงกับกระดาษควบคุม และเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของกระดาษสีขาวไม่เคลือบผิว พบว่ากระดาษตัวอย่างทุกแผ่นอยู่ในช่วงการยอมรับได้

4.2 การรับหมึกพิมพ์ของกระดาษรีไซเคิลจากกระดาษที่ผ่านการเดินรอร้อน

1) ชั้นหมึกพิมพ์สี cyan, magenta, yellow บนแผ่นกระดาษรีไซเคิลตัวอย่าง ที่ผ่านการเดินรอร้อนมาก่อน มีค่า optical density ต่ำกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกระดาษควบคุม หากกระดาษตั้งต้นมีพื้นที่ฟอยล์มากขึ้นและใช้น้ำในการแยกฟอยล์ ทำให้มีจุดฟอยล์หลงเหลือในปริมาณมาก ส่งผลให้กระดาษรีไซเคิลมีคุณภาพในการรับหมึกพิมพ์ลดลง โดยพิจารณาจากค่า optical density ที่มีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตาม กระดาษรีไซเคิลมีคุณภาพในการรับหมึกพิมพ์ต่างกันเพียงเล็กน้อย

2) ในการทดสอบความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์บนกระดาษรีไซเคิล พบว่า สีของหมึกพิมพ์ที่หลุดออกมาติดบนแผ่นขัดถูมีน้อยมาก และมีความแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งค่าเฉลี่ยของ optical density ที่ติดบนกระดาษขัดถูมีค่าเพียง 0.04 และมองไม่เห็นความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการขัดถู แสดงว่ากระดาษรีไซเคิลเหล่านี้สามารถนำมาพิมพ์ได้ โดยไม่ส่งผลเสียต่อการยึดติดและความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์

สรุปได้ว่า กระดาษที่ผ่านการเดินรอร้อนด้วยฟอยล์มาแล้ว สามารถนำมารีไซเคิลเป็นกระดาษขาวไม่เคลือบผิวที่ใช้พิมพ์ใหม่ได้ แต่คุณลักษณะของกระดาษรีไซเคิลจะขึ้นกับพื้นที่ฟอยล์ (ไม่ควรเกินร้อยละ 50 ของพื้นที่กระดาษ) และสีของฟอยล์บนกระดาษตั้งต้น คือฟอยล์ไม่มีสีจะดีที่สุด นอกจากนี้ กระดาษรีไซเคิลจะมีสมบัติด้านทัศนศาสตร์ดีขึ้น เมื่อแช่เศษกระดาษในสารละลายอะซิโตนในขณะที่แยกฟอยล์ออกจากเยื่อกระดาษ โดยเฉพาะการใช้ฟอยล์มีสี หากนำกระดาษรีไซเคิลมาใช้พิมพ์ ควรใช้หมึกที่มีสีเข้ม เพื่อปกปิดทับจุดฟอยล์ที่หลงเหลือบนผิวกระดาษได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท เคิร์ช (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้ให้การสนับสนุนในส่วนของอุปกรณ์ ม้วนฟอยล์ และข้อมูลต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดงานวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] บริษัท ดันฉับ จำกัด, 2565, การปั๊มฟอยล์ด้วยความร้อน ความรู้และเทคนิคพิเศษที่โรงพิมพ์ต้องรู้, [ออนไลน์], แหล่งที่มา <https://www.tonchabub.co.th/article/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%9B%E0%B8%B1%E0%B9%8A%E0%B8%A1%E0%B8%9F%E0%B8%AD%E0%B8%A2%E0%B8%A5%E0%B9%8C%E0%B8%94%E0%B9%89%E0%B8%A7%E0%B8%A2%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%A3%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%99/>, เข้าดูเมื่อวันที่ 9/10/2564.
- [2] Murata Kimpaku, Thailand, 2022, Hot Stamping Foils, [ออนไลน์], แหล่งที่มา <https://www.murata-kimpaku-thailand.com/14757085/about-foils>, เข้าดูเมื่อวันที่ 17/09/2564.
- [3] รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์ และ อีริชัย รัตนโรจน์มงคล, 2542, กระดาษรีไซเคิล, วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ, ปีที่ 47, ฉบับที่ 151, หน้า 11-15.
- [4] กรมพัฒนาธุรกิจการค้า, 2563, ธุรกิจกระดาษและบรรจุภัณฑ์กระดาษ, บทวิเคราะห์ธุรกิจ, หน้า 5.

- [5] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2560, มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน กระดาษรีไซเคิล [ออนไลน์], แหล่งที่มา
[https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0809_60\(%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%94%E0%B8B2%E0%B8%A9%E0%B8%A3%E0%B8%B5%E0%B9%84%E0%B8%8B%E0%B9%80%E0%B8%84%E0%B8%B4%E0%B8%A5\).pdf](https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0809_60(%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%94%E0%B8B2%E0%B8%A9%E0%B8%A3%E0%B8%B5%E0%B9%84%E0%B8%8B%E0%B9%80%E0%B8%84%E0%B8%B4%E0%B8%A5).pdf).
- [6] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2549, ISO 12647-6 : 2006, [ออนไลน์], แหล่งที่มา
http://www.fio.co.th/web/tisi_fio/fulltext/TIS2260_6-2549.pdf.
- [7] อรัญ หาญสืบสาย, 2542, ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีการพิมพ์, สุรการพิมพ์, กรุงเทพฯ, หน้า 41-43.