

รายงานการวิจัย

บรรจุภัณฑ์กระดาษจากปาล์มน้ำมัน
Paper Packaging from Oil Palm

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2552

คณะผู้วิจัย

อาจารย์สมพร ชัยอารีย์กิจ
หัวหน้าโครงการวิจัย

อาจารย์ ดร. กุณฑินี สุวรรณกิจ
อาจารย์ ดร. สิริวรรณ พัฒนาคดี
อาจารย์กัลยา เชิดหิรัญกร
ผู้ร่วมวิจัย

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง "บรรจุภัณฑ์กระดาษจากปาล์มน้ำมัน" ได้รับความอนุเคราะห์ทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2552 ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ นอกจากนี้คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณบุคลากรและหน่วยงานต่างๆ สำหรับความอนุเคราะห์ดังต่อไปนี้

1. คุณวิทยา ชินบุรารัตน์และครอบครัว จากโรงเรียนภูดินทรวิทยาและร้านไอโซนคังศึกษา ที่ให้ความอนุเคราะห์ส่วนต่างๆ ของต้นปาล์มน้ำมันเพื่องานวิจัยชิ้นนี้ ทั้งยังเอื้อเพื่อสถานที่พักและอาหารตลอดการเดินทางไปเก็บตัวอย่างจากปาล์มน้ำมัน

2. คุณวิชาญ เจริญกิจสุพัฒน์ ผู้อำนวยการศูนย์พัฒนาผลิตภัณฑ์และเทคโนโลยี บริษัทเยื่อกระดาษสยาม จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องเตรียมชิ้นไม้ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ในกลุ่มปฏิบัติงานวิจัย ที่ได้สละเวลาอันมีค่า ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือเตรียมชิ้นไม้

3. เจ้าหน้าที่กลุ่มวิจัยและพัฒนา 3 (หน่วยปฏิบัติการเยื่อและกระดาษ) กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ซึ่งสอนการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงให้คำแนะนำในการปฏิบัติการทดลองแก่นิสิตผู้ช่วยวิจัย

4. นิสิตผู้ช่วยวิจัยในระดับปริญญาตรีและปริญญาโท ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ และนิสิตผู้ช่วยวิจัยระดับปริญญาโท หลักสูตรเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ทำการทดลองโครงการวิจัยนี้อย่างขยันขันแข็งและด้วยความมานะอดทน จนโครงการวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

5. เจ้าหน้าที่ฝ่ายสนับสนุนของภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านเอกสารต่างๆ ช่วยซ่อมแซมอุปกรณ์การทดลองในห้องปฏิบัติการที่สึกหรอ รวมถึงช่วยอำนวยความสะดวกและดูแลนิสิตผู้ช่วยวิจัยของโครงการวิจัยนี้เป็นอย่างดี

6. เจ้าหน้าที่หน่วยซ่อมบำรุง คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยซ่อมแซมอุปกรณ์การทดลองในห้องปฏิบัติการที่สึกหรอ จนสามารถกลับมาใช้งานได้อีกครั้ง



บทคัดย่อ

รายงานความก้าวหน้าโครงการวิจัยเรื่องบรรจุภัณฑ์กระดาษจากปาล์มน้ำมัน สำหรับปีงบประมาณ พ.ศ. 2552 นี้ มีเนื้อหาหลักๆ อยู่ 5 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำจากพอลิแล็กไทด์ที่ผลิตได้กับหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์ ส่วนที่ 2 เป็นการทดสอบการย่อยสลายของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำจากพอลิแล็กไทด์ที่พิมพ์ลงบนกระดาษจากปาล์มน้ำมัน ซึ่งเป็นการศึกษาต่อเนื่องมาจากปีงบประมาณ พ.ศ. 2551 ในขณะที่ส่วนที่ 3 เป็นการทดลองผลิตกระดาษผิวกล่องลูกฟูกจากเยื่อเชิงพาณิชย์ผสมกับเยื่อปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบดเยื่อแล้วในสัดส่วนต่างๆ ส่วนที่ 4 เป็นการทดสอบสมบัติเชิงบรรจุภัณฑ์ของกระดาษผิวกล่องลูกฟูกที่ผลิตได้จากเยื่อเชิงพาณิชย์ผสมกับเยื่อปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบดเยื่อแล้วในสัดส่วนต่างๆ และส่วนที่ 5 เป็นการวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์หลังจากที่ได้นำกระดาษผิวกล่องลูกฟูกที่ผลิตจากเยื่อเชิงพาณิชย์ผสมกับเยื่อปาล์มน้ำมันมาทดลองพิมพ์ด้วยหมึกเชิงพาณิชย์ ในการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของหมึกพิมพ์ที่ผลิตได้กับหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์นั้น พบว่า หมึกพิมพ์ที่ผลิตได้มีความหนืดสูงกว่าหากแต่มีแรงดึงผิวต่ำกว่าหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ เมื่อนำหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิดมาทดลองพิมพ์บนกระดาษเหนียวเชิงพาณิชย์ พบว่า งานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ผลิตได้มีค่าความดำต่ำกว่า ค่าความมันวาวต่ำกว่า แต่มีความสม่ำเสมอของงานพิมพ์และความต้านทานการถอนผิวสูงกว่าหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ ในส่วนของงานวิจัยเกี่ยวกับการย่อยสลายของหมึกพิมพ์ที่ผลิตได้บนงานพิมพ์นั้น พบว่า การย่อยสลายของงานพิมพ์บนกระดาษที่ใส่ AKD 0.1% สามารถย่อยสลายได้เร็วกว่างานพิมพ์บนกระดาษที่ใส่ AKD 0.3% และเมื่อระยะเวลาการฝังดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การย่อยสลายเกิดได้ในปริมาณสูงขึ้น โดยงานพิมพ์บนกระดาษที่ใส่ AKD 0.1% หมึกพิมพ์สามารถย่อยสลายได้หมดภายในระยะเวลาเพียง 6 เดือน ในส่วนของการทดลองผลิตกระดาษผิวกล่องลูกฟูกจากเยื่อเชิงพาณิชย์ผสมกับเยื่อปาล์มน้ำมัน โดยนำเยื่อปาล์มน้ำมันมาแทนที่เยื่อเชิงพาณิชย์ประเภทต่างๆ ได้แก่ เยื่อจากไม้เนื้อแข็งซึ่งเป็นเยื่อใยสั้น (Hardwood pulp, HW) เยื่อจากไม้เนื้ออ่อนซึ่งเป็นเยื่อใยยาว (Softwood pulp, SW) และเยื่อกล่องกระดาษลูกฟูกเก่า (Old corrugated container, OCC) พบว่า เยื่อปาล์มน้ำมันไม่เหมาะสมที่จะนำไปทดแทนเยื่อใยยาวเชิงพาณิชย์ เนื่องจากให้สมบัติด้านความแข็งแรงต่ำกว่าเยื่อใยยาว แต่สามารถใช้แทนที่เยื่อใยสั้นเชิงพาณิชย์และเยื่อจากกล่องกระดาษลูกฟูกเก่าได้ อย่างไรก็ตาม เยื่อปาล์มน้ำมันส่งผลให้กระดาษดูดซึมน้ำได้มากขึ้น ดังนั้นอาจจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณสารกันซึมในแผ่นกระดาษผิวกล่องลูกฟูก เพื่อให้ได้ค่าการดูดซึมน้ำตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนด เมื่อนำกระดาษผิวกล่องลูกฟูกที่ผลิตโดยมีเยื่อปาล์มน้ำมันผสมมาประกบกับกระดาษลูกฟูกด้านเดียวเชิงพาณิชย์ เพื่อขึ้นรูปเป็นกระดาษลูกฟูก 3 ชั้น และนำกระดาษลูกฟูกดังกล่าวไปทดสอบสมบัติเชิงบรรจุภัณฑ์ พบว่า การแทนที่เยื่อกล่องกระดาษลูกฟูกเก่าด้วยเยื่อปาล์มน้ำมันในการผลิตกระดาษผิวกล่องส่งผลให้ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษลูกฟูกเพิ่มขึ้น แต่ถ้านำเยื่อปาล์ม

น้ำมันไปแทนที่เยื่อใยสั้นในการผลิตกระดาษผิวกล่องกลับส่งผลให้ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษลูกฟูกลดลง นอกจากนี้การนำเยื่อปาล์มน้ำมันไปแทนที่เยื่อกล่องกระดาษลูกฟูกเก่าและเยื่อใยสั้นในการผลิตกระดาษผิวกล่องนั้น ไม่ส่งผลต่อความต้านทานแรงกดของกระดาษลูกฟูกตามแนวนอน หากแต่ส่งผลให้ความแข็งแรงต่อแรงกดของกระดาษลูกฟูกในแนวตั้งกลับมีค่าลดลง ในส่วนของการวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์หลังจากที่ได้นำกระดาษผิวกล่องลูกฟูกที่ผลิตจากเยื่อเชิงพาณิชย์ผสมกับเยื่อปาล์มน้ำมันมาทดลองพิมพ์ด้วยหมึกเชิงพาณิชย์ พบว่า กระดาษผิวกล่องที่มีการผสมเยื่อจากปาล์มน้ำมันทดแทนเยื่อเชิงพาณิชย์ในปริมาณสูง สามารถให้งานพิมพ์พื้นตายที่มีคุณภาพงานพิมพ์ในด้านความดำสูงสุดและความเรียบสม่ำเสมอดีกว่า รวมถึงให้คุณภาพงานพิมพ์ฮาล์ฟโทนที่มีเปอร์เซ็นต์การบวมของเม็ดสกรีนต่ำกว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อเชิงพาณิชย์ล้วนหรือผสมเยื่อปาล์มน้ำมันเพียงเล็กน้อย แต่สำหรับคุณภาพงานพิมพ์ฮาล์ฟโทนในด้านความดำช่วงฮาล์ฟโทนและความเปรียบต่างของงานพิมพ์ฮาล์ฟโทนนั้น กระดาษผิวกล่องที่มีการผสมเยื่อจากปาล์มน้ำมันทดแทนเยื่อเชิงพาณิชย์ในปริมาณสูงไม่สามารถให้คุณภาพงานพิมพ์ที่ดีกว่าได้ เนื่องจากมีความขาวสว่างต่ำกว่า หากมีการพัฒนาปรับปรุงคุณสมบัติของกระดาษให้มีความขาวสว่างเพิ่มขึ้น ก็อาจจะสามารถให้งานพิมพ์ที่มีคุณภาพในด้านดังกล่าวสูงขึ้นได้

คำสำคัญ: ปาล์มน้ำมัน การผลิตเยื่อแบบไฮดา เยื่อปาล์มน้ำมัน กระดาษผิวกล่องลูกฟูก กระดาษลูกฟูก หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำ พอลิแล็กไทด์ พอลิเอทิลีนไกลคอล คุณภาพการพิมพ์

Abstract

The research project "Paper Packaging from Oil Palm" report for the budget year 2009 mainly consists of 5 parts. The first part is the comparison of the commercial flexographic water-based ink with the in-house flexographic water-based ink prepared from polylactide. The second part is the degradability test of the in-house ink printed on palm paper which has been continued since the budget year 2008. The third part involves the preparation of linerboards from palm pulp mixed with commercial pulps with various ratios. The fourth part is about packaging property evaluation of these linerboards while the last part involves print quality analysis when these linerboards were printed with the commercial flexographic water-based ink. For the comparison of the commercial ink and the in-house ink, it was found that the in-house ink had higher viscosity but lower surface tension than the commercial ink. When these two inks were printed on the commercial linerboard, print density and gloss obtained from the in-house ink were lower than the commercial ink. However, the in-house ink provided better print evenness and higher picking resistance than the commercial ink. About the degradability test of the in-house ink, it was found that the printing ink on sheets with 0.1% alkyl ketene dimer (AKD) degraded faster than on sheets with 0.3% AKD. Increasing the burial time resulted in higher degree of degradation. It was also observed that the printing ink on sheets with 0.1% AKD had all degraded within 6 months. For linerboard production, palm pulp was used to substitute the commercial hardwood pulp, the commercial softwood pulp and pulp from old corrugated container (OCC) with different formula. It was noticed that palm pulp could be used to substitute hardwood pulp and pulp from OCC in making the linerboards; however, strength properties of the linerboards decreased with the substitution of softwood pulp with palm pulp. Palm pulp also made the linerboards become more absorbent. Consequently, the higher amount of sizing agent added to the pulp stock was required when the linerboard was made since the water absorbency of the linerboards needed to reach the industrial standard. For the packaging property evaluation of these linerboards, the linerboards were first adhered to the single-faced corrugated boards to make the single-walled corrugated boards. Then, these single-walled corrugated boards were tested for packaging properties. It was discovered that the linerboards made from substituting OCC pulp with palm pulp offered higher bursting strength of the single-walled corrugated boards. Conversely, substitution of hardwood pulp with palm pulp in

linerboard production resulted in lower bursting strength of the single-walled corrugated boards. The substitution of hardwood pulp and OCC pulp with palm pulp in linerboard production had no impact on flat crush test (FCT) but led to lower edgewise compressive strength (ECT) of the single-walled corrugated boards. The print quality of these linerboards was analyzed after these linerboards were printed with the commercial flexographic water-based ink. The results showed that linerboards which had more content of palm pulp provided highest print density and better print evenness of solid tone. The linerboards containing more palm pulp also had lower dot gain in the halftone area than those made from commercial pulps or containing less palm pulp. Nevertheless, the linerboards containing more palm pulp provided lower halftone print density and print contrast than those made from commercial pulps or containing less palm pulp due to lower brightness of palm pulp. These print qualities could be improved if brightness of the palm pulp could be enhanced.

Keywords: Oil palm, Soda pulping, Palm pulp, Linerboard, Corrugated board, Flexographic water-based ink, Polylactide, Polyethylene glycol (PEG), Print quality

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
วิธีดำเนินการวิจัยโดยสรุป	4
สมมุติฐานและกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย	6
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
ทฤษฎี	8
โครงสร้างของเส้นใย	8
เคมีของเส้นใย	9
ชนิดของเส้นใย	10
ปาล์มน้ำมัน	10
การผลิตเยื่อกระดาษ	11
การผลิตเยื่อกระดาษจากปาล์มน้ำมัน	12
การผลิตกระดาษ	14
กระดาษลูกฟูก	16
องค์ประกอบของกระดาษลูกฟูก	17
ชนิดของลอนลูกฟูก	18
ประเภทของกระดาษลูกฟูก	20
การพิมพ์เฟล็กโซกราฟฟี	22
แม่พิมพ์เฟล็กโซกราฟฟี	24
หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟฟีฐานน้ำ	25
พอลิแล็กไทด์	26
คุณภาพงานพิมพ์	27
การประเมินคุณภาพการพิมพ์	31
การทดลอง	34
อุปกรณ์	34
วัสดุและสารเคมี	36
วิธีการทดลอง	38

วิธีการทดลองส่วนที่ 1: การเปรียบเทียบสมบัติของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟี ที่ผลิตได้กับหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์	38
วิธีการทดลองส่วนที่ 2: การทดสอบการย่อยสลายของหมึกพิมพ์	40
วิธีการทดลองส่วนที่ 3: การทดลองผลิตกระดาษผิวกล่องลูกฟูกจากเยื่อ เชิงพาณิชย์ผสมกับเยื่อปาล์มน้ำมันที่ผ่านการ บดเยื่อแล้วในสัดส่วนต่างๆ	40
ตอนที่ 1: การหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการแทนที่เยื่อเชิงพาณิชย์ ด้วยเยื่อปาล์มน้ำมัน	40
ตอนที่ 2: การหาปริมาณสารเติมแต่งที่เหมาะสมในการผลิต กระดาษผิวกล่องลูกฟูก	42
ตอนที่ 3: การศึกษาสมบัติของกระดาษผิวกล่องลูกฟูก ที่ใช้เยื่อปาล์มน้ำมันทดแทนเยื่อเชิงพาณิชย์	42
แผนผังการทดลองส่วนที่ 3	44
วิธีการทดลองส่วนที่ 4: การทดสอบสมบัติเชิงบรรจุกัมมันต์ของกระดาษ ผิวกล่องลูกฟูกที่ผลิตได้จากเยื่อเชิงพาณิชย์ผสมกับ เยื่อปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบดเยื่อแล้วในสัดส่วนต่างๆ	45
วิธีการทดลองส่วนที่ 5: การวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์หลังจากที่กระดาษ ผิวกล่องลูกฟูกที่ผลิตจากเยื่อเชิงพาณิชย์ผสมกับ เยื่อปาล์มน้ำมันมาทดลองพิมพ์ด้วยหมึกเชิงพาณิชย์	45
ผลการทดลอง	46
ผลการทดลองส่วนที่ 1: การเปรียบเทียบสมบัติของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีที่ผลิตได้ กับหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์	46
ผลการทดลองส่วนที่ 2: การทดสอบการย่อยสลายของหมึกพิมพ์	54
ผลการทดลองส่วนที่ 3: การทดลองผลิตกระดาษผิวกล่องลูกฟูกจากเยื่อเชิงพาณิชย์ ผสมกับเยื่อปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบดเยื่อแล้วในสัดส่วนต่างๆ	58
ตอนที่ 1: การหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการแทนที่เยื่อเชิงพาณิชย์ ด้วยเยื่อปาล์มน้ำมัน	58
ตอนที่ 2: การหาปริมาณสารเติมแต่งที่เหมาะสมในการผลิต กระดาษผิวกล่องลูกฟูก	63
ตอนที่ 3: การศึกษาสมบัติของกระดาษผิวกล่องลูกฟูกที่ใช้เยื่อปาล์มน้ำมัน ทดแทนเยื่อเชิงพาณิชย์	65

ผลการทดลองส่วนที่ 4: การทดสอบสมบัติเชิงบรรจุภัณฑ์ของกระดาษผิวกล่องลูกฟูก ที่ผลิตได้จากเยื่อเชิงพาณิชย์ผสมกับเยื่อปาล์มน้ำมัน ที่ผ่านการบดเยื่อแล้วในสัดส่วนต่างๆ	71
ผลการทดลองส่วนที่ 5: การวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์หลังจากที่ได้นำกระดาษ ผิวกล่องลูกฟูกที่ผลิตจากเยื่อเชิงพาณิชย์ผสมกับ เยื่อปาล์มน้ำมันมาทดลองพิมพ์ด้วยหมึกเชิงพาณิชย์	74
คุณภาพของภาพพิมพ์บริเวณพื้นตาย	74
คุณภาพของภาพพิมพ์บริเวณฮา์ฟโทน	77
สรุปผลการทดลอง	90
สรุปผลการทดลองส่วนที่ 1: การเปรียบเทียบสมบัติของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟี ที่ผลิตได้กับหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์	90
สรุปผลการทดลองส่วนที่ 2: การทดสอบการย่อยสลายของหมึกพิมพ์	90
สรุปผลการทดลองส่วนที่ 3: การทดลองผลิตกระดาษผิวกล่องลูกฟูกจากเยื่อเชิงพาณิชย์ ผสมกับเยื่อปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบดเยื่อแล้วในสัดส่วนต่างๆ	91
ตอนที่ 1: การหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการแทนที่เยื่อเชิงพาณิชย์ ด้วยเยื่อปาล์มน้ำมัน	91
ตอนที่ 2: การหาปริมาณสารเติมแต่งที่เหมาะสมในการผลิต กระดาษผิวกล่องลูกฟูก	91
ตอนที่ 3: การศึกษาสมบัติของกระดาษผิวกล่องลูกฟูกที่ใช้เยื่อปาล์มน้ำมัน ทดแทนเยื่อเชิงพาณิชย์	91
สรุปผลการทดลองส่วนที่ 4: การทดสอบสมบัติเชิงบรรจุภัณฑ์ของกระดาษผิวกล่อง ลูกฟูกที่ผลิตได้จากเยื่อเชิงพาณิชย์ผสมกับเยื่อปาล์มน้ำมัน ที่ผ่านการบดเยื่อแล้วในสัดส่วนต่างๆ	91
สรุปผลการทดลองส่วนที่ 5: การวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์หลังจากที่ได้นำ กระดาษผิวกล่องลูกฟูกที่ผลิตจากเยื่อเชิงพาณิชย์ผสมกับ เยื่อปาล์มน้ำมันมาทดลองพิมพ์ด้วยหมึกเชิงพาณิชย์	92
คุณภาพงานพิมพ์: กรณีพิมพ์ภาพพื้นตาย	92
คุณภาพงานพิมพ์: กรณีพิมพ์ภาพฮา์ฟโทน	92
อุปสรรคในการดำเนินงานที่พบและแนวทางแก้ไข	95
เอกสารอ้างอิง	96
ประวัติคณະนักวิจัย	99

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1: สมบัติของเส้นใยจากทะเลลายและใบปาล์มเปรียบเทียบกับเส้นใยจากต้นแอสเพน	12
ตารางที่ 2: องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยจากใบปาล์ม เส้นใยจากไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน	13
ตารางที่ 3: องค์ประกอบทางพอลิแซ็กคาไรด์ของเส้นใยจากส่วนใบของปาล์ม	13
ตารางที่ 4: ประเภทของกระดาษฝวกล่องลูกฟูก	17
ตารางที่ 4: ประเภทของกระดาษฝวกล่องลูกฟูก (ต่อ)	18
ตารางที่ 5: ประเภทและลักษณะลอนลูกฟูกมาตรฐาน	19
ตารางที่ 6: แรงดึงผิวและร้อยละของแข็งในหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพที่ผลิตได้ กับหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์	47
ตารางที่ 7: ค่าความแตกต่างสี (ΔE_{ab}^*) ของงานพิมพ์ก่อนและหลังการขัดถู เมื่อพิมพ์ด้วย หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพที่ผลิตได้และหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์ โดยพิมพ์บนกระดาษเหนียวเชิงพาณิชย์ที่ความหนาแตกต่างกัน	50
ตารางที่ 8: การแผ่ของงานพิมพ์เส้นขนาด 0.5 มิลลิเมตรที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟี ที่ผลิตได้และหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์ โดยพิมพ์บนกระดาษเหนียว เชิงพาณิชย์ที่แรงกดต่างกัน	52
ตารางที่ 9: องค์ประกอบทางเคมีของชิ้นไม้และเยื่อที่ผลิตได้จากปาล์มน้ำมัน	58
ตารางที่ 10: ความยาวของเส้นใยของเยื่อเชิงพาณิชย์และเยื่อที่ผลิตได้จากปาล์มน้ำมัน	59
ตารางที่ 11: สมบัติด้านความแข็งแรงของกระดาษที่ผลิตได้จากเยื่อปาล์มน้ำมัน	60
ตารางที่ 12: ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุและการดูดซึมน้ำกับปริมาณของสารเติมแต่ง ของกระดาษฝวกล่องลูกฟูก	63
ตารางที่ 13: น้ำหนักมาตรฐาน ความหนา และความหนาแน่นปรากฏของแผ่นทดสอบ ที่มีการผสมเยื่อปาล์มน้ำมันในสัดส่วนต่างๆ (ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	66
ตารางที่ 14: ค่าความขาวสว่าง (Brightness) และค่าความทึบแสง (Opacity) ของแผ่นทดสอบ ที่มีการผสมเยื่อปาล์มน้ำมันในสัดส่วนต่างๆ	66
ตารางที่ 15: ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เฉลี่ยของค่าระดับสีเทาของภาพสแกนบริเวณพื้นตาย บนกระดาษฝวกล่องลูกฟูก 4 สูตร	76

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1: โครงสร้างของเส้นใย	8
ภาพที่ 2: โครงสร้างส่วนที่เป็นระเบียบและไม่เป็นระเบียบของเส้นใย	9
ภาพที่ 3: ลอนลูกฟูกมาตรฐาน (Standard flutes)	19
ภาพที่ 4: กระดาษลูกฟูกด้านเดียว	20
ภาพที่ 5: กระดาษลูกฟูก 3 ชั้น	20
ภาพที่ 6: กระดาษลูกฟูก 5 ชั้น	21
ภาพที่ 7: กระดาษลูกฟูก 7 ชั้น	21
ภาพที่ 8: องค์ประกอบของเครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟฟีทั่วไป	22
ภาพที่ 9: ลูกกลิ้งแอนนิลคอกและภาพขยายของพื้นผิวลูกกลิ้ง	23
ภาพที่ 10: แม่พิมพ์เฟล็กโซกราฟฟี	24
ภาพที่ 11: ภาพโทนต่อเนื่อง (ภาพซ้าย) แปลงเป็นภาพฮาล์ฟโทน (ภาพขวา)	27
ภาพที่ 12: ตัวอย่างลักษณะของฮาล์ฟโทน (Halftone) ที่ระดับสีเทาต่างๆ	28
ภาพที่ 13: ตัวอย่างลักษณะของพื้นตาย (Solid tone) กราฟฟีกลายเส้น และตัวอักษร	28
ภาพที่ 14: ตัวอย่างเครื่องทดสอบการพิมพ์ได้สำหรับระบบการพิมพ์เฟล็กโซกราฟฟี IGT F1	32
ภาพที่ 15: ตัวอย่างเครื่องวัดความดำ IHARA R730 Color reflection densitometer	32
ภาพที่ 16: ตัวอย่างเครื่องกราดแบบแท่นราบ CanoScan LiDE60 flatbed scanner	33
ภาพที่ 17: โคนกาบใบของต้นปาล์มน้ำมัน (Sheathing base of oil palm)	37
ภาพที่ 18: ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟฟี ชีวภาพที่ผลิตได้กับหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟฟีเชิงพาณิชย์	46
ภาพที่ 19: ภาพถ่าย SEM ผิวหน้าของงานพิมพ์บนกระดาษเหนียวเชิงพาณิชย์ เมื่อพิมพ์ด้วย (ก) หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟฟีชีวภาพที่ผลิตได้ และ (ข) หมึก พิมพ์เฟล็กโซกราฟฟีเชิงพาณิชย์ ที่ความหนาขณะเปียก 24 ไมโครเมตร	47
ภาพที่ 20: ภาพถ่าย SEM ภาพตัดขวางของงานพิมพ์บนกระดาษเหนียวเชิงพาณิชย์ เมื่อพิมพ์ด้วย (ก) หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟฟีชีวภาพที่ผลิตได้ และ (ข) หมึก พิมพ์เฟล็กโซกราฟฟีเชิงพาณิชย์ ที่ความหนาขณะเปียก 24 ไมโครเมตร	48
ภาพที่ 21: ความมันวาวของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟฟีชีวภาพที่ผลิตได้ และหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟฟีเชิงพาณิชย์ ที่ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์แตกต่างกัน	49

- ภาพที่ 22: ความต้านทานการถอนผิวของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟี
ชีวภาพที่ผลิตได้และหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์
ที่ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์แตกต่างกัน 49
- ภาพที่ 23: ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดพิมพ์กับค่าความดำของงานพิมพ์ เปรียบเทียบระหว่าง
หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพที่ผลิตได้และหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์
ที่พิมพ์บนกระดาษเหนียวเชิงพาณิชย์ 51
- ภาพที่ 24: ภาพถ่ายเส้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร ของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟี
ชีวภาพที่ผลิตได้ พิมพ์ด้วยแรงกดพิมพ์ (ก) 150 N (ข) 250 N
(ค) 350 N และ (ง) 450 N 53
- ภาพที่ 25: ภาพถ่ายเส้นขนาด 0.5 มิลลิเมตรของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟี
เชิงพาณิชย์ พิมพ์ด้วยแรงกดพิมพ์ (ก) 150 N (ข) 250 N
(ค) 350 N และ (ง) 450 N 53
- ภาพที่ 26: ภาพถ่ายงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพที่ผลิตได้บนกระดาษ
จากปาล์มน้ำมัน พิมพ์ที่ความหนาขณะเปียก 24 ไมโครเมตร โดย (ก) กระดาษที่ใส่
AKD 0.1% และ (ข) กระดาษที่ใส่ AKD 0.3% ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ 54
- ภาพที่ 27: ภาพถ่ายงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพที่ผลิตได้บนกระดาษ
จากปาล์มน้ำมัน พิมพ์ที่ความหนาขณะเปียก 24 ไมโครเมตร หลังจากผ่านการ
ฝังดินเป็นระยะเวลา 1 เดือน โดย (ก) กระดาษที่ใส่ AKD 0.1% และ
(ข) กระดาษที่ใส่ AKD 0.3% ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ 54
- ภาพที่ 28: ภาพถ่ายงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพที่ผลิตได้บนกระดาษ
จากปาล์มน้ำมัน พิมพ์ที่ความหนาขณะเปียก 24 ไมโครเมตร หลังจากผ่านการ
ฝังดินเป็นระยะเวลา 2 เดือน โดย (ก) กระดาษที่ใส่ AKD 0.1% และ
(ข) กระดาษที่ใส่ AKD 0.3% ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ 55
- ภาพที่ 29: ภาพถ่ายงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพที่ผลิตได้บนกระดาษ
จากปาล์มน้ำมัน พิมพ์ที่ความหนาขณะเปียก 24 ไมโครเมตร หลังจากผ่านการ
ฝังดินเป็นระยะเวลา 3 เดือน โดย (ก) กระดาษที่ใส่ AKD 0.1% และ
(ข) กระดาษที่ใส่ AKD 0.3% ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ 56
- ภาพที่ 30: ภาพถ่ายงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพที่ผลิตได้บนกระดาษ
จากปาล์มน้ำมัน พิมพ์ที่ความหนาขณะเปียก 24 ไมโครเมตร หลังจากผ่านการ
ฝังดินเป็นระยะเวลา 4 เดือน โดย (ก) กระดาษที่ใส่ AKD 0.1% และ
(ข) กระดาษที่ใส่ AKD 0.3% ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ 56

ภาพที่ 31: ภาพถ่ายงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีสีวภาพที่ผลิตได้บนกระดาษจากปาล์มน้ำมัน พิมพ์ที่ความหนาขณะเปียก 24 ไมโครเมตร หลังจากผ่านการฝังดินเป็นระยะเวลา 5 เดือน โดย (ก) กระดาษที่ใส่ AKD 0.1% และ (ข) กระดาษที่ใส่ AKD 0.3% ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ	57
ภาพที่ 32: ภาพถ่ายงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีสีวภาพที่ผลิตได้บนกระดาษจากปาล์มน้ำมัน พิมพ์ที่ความหนาขณะเปียก 24 ไมโครเมตร หลังจากผ่านการฝังดินเป็นระยะเวลา 6 เดือน โดย (ก) กระดาษที่ใส่ AKD 0.1% และ (ข) กระดาษที่ใส่ AKD 0.3% ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ	57
ภาพที่ 33: ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษสูตรต่างๆ เมื่อ SW แทนเยื่อใยยาว HW แทนเยื่อใยสั้น P แทนเยื่อปาล์มน้ำมัน และ OCC แทนเยื่อกล่องกระดาษลูกฟูกเก่า	61
ภาพที่ 34: ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงด้นทะลุของกระดาษสูตรต่างๆ เมื่อ SW แทนเยื่อใยยาว HW แทนเยื่อใยสั้น P แทนเยื่อปาล์มน้ำมัน และ OCC แทนเยื่อกล่องกระดาษลูกฟูกเก่า	62
ภาพที่ 35: ค่าดัชนีความต้านทานต่อแรงฉีกของกระดาษสูตรต่างๆ เมื่อ SW แทนเยื่อใยยาว HW แทนเยื่อใยสั้น P แทนเยื่อปาล์มน้ำมัน และ OCC แทนเยื่อกล่องกระดาษลูกฟูกเก่า	62
ภาพที่ 36: ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงด้นทะลุกับอัตราส่วนของสารเติมแต่งของกระดาษผิวกล่องลูกฟูก	64
ภาพที่ 37: ค่าการดูดซึมน้ำกับอัตราส่วนของสารเติมแต่งของกระดาษผิวกล่องลูกฟูก โดย T แสดงถึง Top side และ B แสดงถึง Bottom side	65
ภาพที่ 38: ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษผิวกล่องลูกฟูกสูตรต่างๆ	67
ภาพที่ 39: ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงด้นทะลุของกระดาษผิวกล่องลูกฟูกสูตรต่างๆ	68
ภาพที่ 40: ดัชนีความต้านทานต่อแรงฉีกของกระดาษผิวกล่องลูกฟูกสูตรต่างๆ	68
ภาพที่ 41: ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษผิวกล่องลูกฟูกแต่ละสูตร โดย T แสดงถึง Top side และ B แสดงถึง Bottom side	69
ภาพที่ 42: ค่ามุมสัมผัสผิวของกระดาษผิวกล่องลูกฟูกแต่ละสูตร	69
ภาพที่ 43: ค่าความต้านทานการซึมอากาศของกระดาษผิวกล่องลูกฟูกแต่ละสูตร	70
ภาพที่ 44: ความเรียบของกระดาษผิวกล่องลูกฟูกแต่ละสูตร โดย T แสดงถึง Top side และ B แสดงถึง Bottom side	71
ภาพที่ 45: ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงด้นทะลุของกระดาษลูกฟูกสูตรต่างๆ	72
ภาพที่ 46: ความต้านทานแรงกดของกระดาษลูกฟูกตามแนวนอนของกระดาษลูกฟูก (FCT)	72
ภาพที่ 47: ความแข็งแรงต่อแรงกดของกระดาษลูกฟูกในแนวตั้งของกระดาษลูกฟูก (ECT)	73

- ภาพที่ 48: ค่าเฉลี่ยความดำบริเวณพื้นตายเมื่อพิมพ์ด้วยความละเอียดลูกกิ้งแอนนิลอก (Ink Anilox resolution) 4 ระดับบนกระดาษผิวกลองลูกฟูก 4 สูตร 75
- ภาพที่ 49: ค่าความดำบริเวณฮาล์ฟโทน 0-100 เปอร์เซ็นต์เมื่อดึงเมือพิมพ์บน กระดาษผิวกลอง 4 สูตร โดยใช้ความละเอียดการพิมพ์ (lpi plate) เป็น 30 lpi และความละเอียดลูกกิ้งแอนนิลอก (lpi anilox) เป็น ก) 150 lpi, ข) 200 lpi, ค) 250 lpi และ ง) 350 lpi 78
- ภาพที่ 50: ค่าความดำบริเวณฮาล์ฟโทน 0-100 เปอร์เซ็นต์เมื่อดึงเมือพิมพ์บน กระดาษผิวกลอง 4 สูตร โดยใช้ความละเอียดการพิมพ์ (lpi plate) เป็น 50 lpi และความละเอียดลูกกิ้งแอนนิลอก (lpi anilox) เป็น ก) 150 lpi, ข) 200 lpi, ค) 250 lpi และ ง) 350 lpi 80
- ภาพที่ 51: ค่าความดำบริเวณฮาล์ฟโทน 0-100 เปอร์เซ็นต์เมื่อดึงเมือพิมพ์บน กระดาษผิวกลอง 4 สูตร โดยใช้ความละเอียดการพิมพ์ (lpi plate) เป็น 65 lpi และความละเอียดลูกกิ้งแอนนิลอก (lpi anilox) เป็น ก) 150 lpi, ข) 200 lpi, ค) 250 lpi และ ง) 350 lpi 81
- ภาพที่ 52: ค่าความดำบริเวณฮาล์ฟโทน 0 - 100 เปอร์เซ็นต์เมื่อดึงเมือพิมพ์บน กระดาษผิวกลอง 4 สูตร โดยใช้ความละเอียดการพิมพ์ (lpi plate) เป็น 85 lpi และความละเอียดลูกกิ้งแอนนิลอก (lpi anilox) เป็น ก) 150 lpi, ข) 200 lpi, ค) 250 lpi และ ง) 350 lpi 81
- ภาพที่ 53: เปอร์เซ็นต์ความเปรียบต่างของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์โดยใช้ความละเอียดลูกกิ้งแอนนิลอก (Ink anilox resolution) 150, 200, 250 และ 350 lpi บนกระดาษผิวกลอง 4 สูตร ที่ความละเอียดการพิมพ์ (Printing resolution) เป็น ก) 30 lpi ข) 50 lpi ค) 65 lpi และ ง) 85 lpi 83
- ภาพที่ 54: เปอร์เซ็นต์เมื่อดึงเมือพิมพ์ (%dot gain) ของภาพฮาล์ฟโทน 0-100% (Original tone value) ซึ่งพิมพ์บนกระดาษผิวกลอง 4 สูตร โดยใช้ความละเอียดการพิมพ์ (Printing resolution) เป็น 30 lpi และความละเอียดลูกกิ้งแอนนิลอก (Ink anilox resolution) เป็น ก) 150 lpi, ข) 200 lpi, ค) 250 lpi และ ง) 350 lpi 86
- ภาพที่ 55: เปอร์เซ็นต์เมื่อดึงเมือพิมพ์ (%dot gain) ของภาพฮาล์ฟโทน 0-100% ซึ่งพิมพ์บนกระดาษผิวกลอง 4 สูตร โดยใช้ความละเอียดการพิมพ์ (Printing resolution) เป็น 50 lpi และความละเอียดลูกกิ้งแอนนิลอก (Ink anilox resolution) เป็น ก) 150 lpi, ข) 200 lpi, ค) 250 lpi และ ง) 350 lpi 86

- ภาพที่ 56: เปอร์เซ็นต์เม็ดสีกรีนบวม (%dot gain) ของภาพฮาล์ฟโทน 0-100% ซึ่งพิมพ์
บนกระดาษผิวกล่อง 4 สูตร โดยใช้ความละเอียดการพิมพ์ (Printing resolution)
เป็น 65 lpi และความละเอียดลูกกลิ้งหมึก (Ink anilox resolution) เป็น ก) 150 lpi,
ข) 200 lpi, ค) 250 lpi และ ง) 350lpi 87
- ภาพที่ 57: เปอร์เซ็นต์เม็ดสีกรีนบวม (%dot gain) ของภาพฮาล์ฟโทน 0-100% ซึ่งพิมพ์
บนกระดาษผิวกล่อง 4 สูตร โดยใช้ความละเอียดการพิมพ์ (Printing resolution)
เป็น 85 lpi และความละเอียดลูกกลิ้งหมึก (Ink anilox resolution) เป็น ก) 150 lpi,
ข) 200 lpi, ค) 250 lpi และ ง) 350lpi 87

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

จากการทำนายของ FAO (Food and Agriculture Organization) ที่ว่าปริมาณการบริโภคกระดาษทั่วโลกจะเพิ่มจาก 210 ล้านตัน ในปี 1988 เป็น 350 ล้านตัน ในปี 2010 (1) และด้วยข้อจำกัดของพื้นที่ป่า ตลอดจนแรงผลักดันจากภาครัฐและเอกชนในการอนุรักษ์ผืนป่า รวมถึงการที่ต้องส่งน้ำเข้าเยื่อกระดาษจากต่างประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเยื่อจากไม้เนื้ออ่อน (Softwood pulp) ซึ่งเป็นเยื่อใยยาว สิ่งเหล่านี้ล้วนแต่เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การหาแหล่งเยื่อใหม่กลายเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับประเทศไทย ในขณะเดียวกันจากการที่ราคาน้ำมันโลกเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ภาครัฐหันมาให้ความสำคัญกับพลังงานทดแทนอย่างไบโอดีเซลมากขึ้น ดังเห็นได้จากการที่ภาครัฐส่งเสริมให้มีการขยายพื้นที่เพาะปลูกน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้นจากเดิมอีกประมาณ 5 เท่า คือจากเนื้อที่ประมาณ 2.2 ล้านไร่ในปีพ.ศ. 2547 เพิ่มเป็น 10 ล้านไร่ในปีพ.ศ. 2572 (2) อย่างไรก็ตาม น้ำมันที่ได้จากทะลายปาล์มคิดเป็นเพียงร้อยละ 22 ของน้ำหนักของทะลายปาล์ม (3) ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 87 ของทะลายเปล่า รวมถึงส่วนอื่นๆ ของต้นปาล์มน้ำมัน เป็นของเหลือทิ้งชีวมวล ซึ่งของเหลือทิ้งดังกล่าวยังไม่ถูกนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างเต็มที่มากนัก เพราะเพียงส่วนหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ผลิตเป็นเชื้อเพลิง รวมถึงใช้เพาะเห็ดและทำปุ๋ย เป็นต้น ดังนั้นหากในอนาคตมีการเพิ่มปริมาณการผลิตน้ำมันปาล์มเป็น 5 เท่า ควรจะมีการจัดการกับของเหลือทิ้งชีวมวลดังกล่าวให้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจมากขึ้น โครงการวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำส่วนต่างๆ ของต้นปาล์มน้ำมันมาก่อให้เกิดประโยชน์และเพิ่มมูลค่าให้สูงขึ้น เนื่องจากส่วนต่างๆ เหล่านี้ยังมีเส้นใยอยู่ ซึ่งเส้นใยดังกล่าวน่าจะสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบทดแทนในกระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษ รวมถึงการแปรรูปเป็นบรรจุภัณฑ์กระดาษ เพื่อใช้ในแวดวงการพิมพ์และการบรรจุภัณฑ์ต่อไป

เป็นที่ทราบกันดีว่าหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีนั้นเหมาะสำหรับการพิมพ์บรรจุภัณฑ์ อย่างไรก็ตามหมึกพิมพ์ส่วนใหญ่ซึ่งมาจากสารสังเคราะห์ยังมีปัญหาเรื่องการย่อยสลาย ส่งผลให้เกิดปัญหาเรื่องขยะและสิ่งแวดล้อมตามมา ดังนั้นการเลือกใช้องค์ประกอบของหมึกพิมพ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ จึงเป็นเรื่องที่ไม่อาจมองข้ามได้ โครงการวิจัยนี้จึงมีขอบข่ายการศึกษาครอบคลุมถึงการผลิตหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยในการผลิตหมึกพิมพ์นี้จะเลือกใช้สารพอลิแลกไทด์เรซินซึ่งผลิตได้จากธรรมชาติมาเป็นส่วนผสมในหมึกพิมพ์ โดยพอลิแลกไทด์นั้นเป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากมอนอเมอร์ของกรดแลคติก (Lactic acid) ซึ่งได้จากกระบวนการหมักน้ำตาลจากเปลือกมะเขือเทศ และข้าวโพด เป็นต้น ทั้งนี้สารมอนอเมอร์เริ่มต้นเป็นสารที่มาจากธรรมชาติ จึงส่งผลให้พอลิแลกไทด์เรซินสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ซึ่งเป็นการย่อยสลายที่เกิดขึ้นได้ง่ายกว่าเรซินสังเคราะห์ในหมึกพิมพ์ประเภทอื่นๆ (4) เมื่อผลิตหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีได้แล้ว นำหมึกพิมพ์ที่ผลิตได้มา

ทดสอบพิมพ์ลงบนกระดาษที่ผลิตได้จากเยื่อปาล์มน้ำมัน ก่อนที่จะนำสิ่งพิมพ์ที่ได้ไปวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์และทดสอบการย่อยสลายของหมึกพิมพ์ต่อไป

โครงการวิจัยบรรจุภัณฑ์กระดาษจากปาล์มน้ำมันนี้ เป็นโครงการวิจัยที่วางแผนระยะเวลาทั้งหมดไว้ 2 ปี สำหรับการดำเนินงานโครงการวิจัยในปีงบประมาณ พ.ศ. 2551 นั้น แบ่งเนื้อหาออกเป็น 4 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เกี่ยวกับการผลิตเยื่อและกระดาษจากส่วนต่างๆ ของปาล์มน้ำมัน ส่วนที่ 2 เกี่ยวกับการเตรียมหมึกเฟล็กโซกราฟีฐานน้ำจากพอลิแล็กไทด์ ส่วนที่ 3 เกี่ยวกับการวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์หลังจากที่ได้นำกระดาษที่ผลิตได้จากปาล์มน้ำมันมาทดลองพิมพ์ด้วยหมึกเฟล็กโซกราฟีฐานน้ำจากพอลิแล็กไทด์ที่ผลิตได้ และส่วนที่ 4 คือการทดสอบการย่อยสลายของหมึกพิมพ์ในช่วงสองเดือนแรก

สำหรับการดำเนินงานในโครงการวิจัยในปีงบประมาณ พ.ศ. 2552 นี้ แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำจากพอลิแล็กไทด์ที่ผลิตได้กับหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์ ส่วนที่ 2 เป็นการทดสอบการย่อยสลายของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำจากพอลิแล็กไทด์ที่พิมพ์ลงบนกระดาษจากปาล์มน้ำมัน ซึ่งเป็นการศึกษาต่อเนื่องมาจากปีงบประมาณ พ.ศ. 2551 ในขณะที่ส่วนที่ 3 เป็นการทดลองผลิตกระดาษผิวกล่องลูกฟูกจากเยื่อเชิงพาณิชย์ผสมกับเยื่อปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบดเยื่อแล้วในสัดส่วนต่างๆ ส่วนที่ 4 เป็นการทดสอบสมบัติเชิงบรรจุภัณฑ์ของกระดาษผิวกล่องลูกฟูกที่ผลิตได้จากเยื่อเชิงพาณิชย์ผสมกับเยื่อปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบดเยื่อแล้วในสัดส่วนต่างๆ และส่วนที่ 5 เป็นการวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์หลังจากที่ได้นำกระดาษผิวกล่องลูกฟูกที่ผลิตจากเยื่อเชิงพาณิชย์ผสมกับเยื่อปาล์มน้ำมันมาทดลองพิมพ์ด้วยหมึกเชิงพาณิชย์

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยสำหรับปีงบประมาณ พ.ศ. 2551 มีดังนี้คือ
 1. เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำส่วนต่างๆ ของต้นปาล์มน้ำมันมาผลิตเป็นกระดาษ (ศึกษาสมบูรณ์ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2551)
 2. เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการผลิตหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจากพอลิแล็กไทด์เรซิน (ศึกษาสมบูรณ์ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2551)
 3. เพื่อทดสอบสมบัติของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีที่ผลิตได้ รวมถึงทดสอบคุณภาพงานพิมพ์ของหมึกพิมพ์นั้นบนกระดาษที่ผลิตได้จากปาล์มน้ำมัน (ศึกษาสมบูรณ์ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2551)
 4. เพื่อทดสอบการย่อยสลายของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีที่ผลิตได้บนกระดาษที่ผลิตได้จากปาล์มน้ำมัน (ศึกษาสมบูรณ์ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2552)

- วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยสำหรับปีงบประมาณ พ.ศ. 2552 มีดังนี้คือ
 1. เพื่อเปรียบเทียบสมบัติของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีที่ผลิตได้กับหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์ รวมถึงคุณภาพงานพิมพ์ของหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิด (ศึกษาสมบูรณ์ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2552)
 2. เพื่อทดสอบการย่อยสลายของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีที่ผลิตได้บนกระดาษที่ผลิตได้จากปาล์มน้ำมัน (ศึกษาสมบูรณ์ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2552)
 3. เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำเยื่อปาล์มน้ำมันมาผลิตเป็นกระดาษผิวกล่องสำหรับกระดาษกล่องลูกฟูกเพื่อการบรรจุภัณฑ์ (ศึกษาสมบูรณ์ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2552)
 4. เพื่อทดสอบคุณภาพงานพิมพ์เมื่อนำมาหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์มาพิมพ์ลงบนกระดาษผิวกล่องที่ผลิตมาจากเยื่อปาล์มน้ำมัน (ศึกษาสมบูรณ์ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2552)

ขอบเขตของโครงการวิจัย

- ขอบเขตของโครงการวิจัยสำหรับปีงบประมาณ พ.ศ. 2551 มีดังนี้คือ
 1. นำส่วนต่างๆ ของต้นปาล์มน้ำมันมาผลิตเป็นเยื่อและกระดาษ โดยใช้กระบวนการผลิตเยื่อโซดา (Soda pulping) และการฟอกเยื่อโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide, H_2O_2)
 2. ศึกษาสมบัติพื้นฐานของเส้นใย เยื่อและแผ่นทดสอบ (แผ่นกระดาษ) ที่ผลิตได้จากส่วนต่างๆ ของต้นปาล์มน้ำมัน เพื่อดูว่าส่วนใดของต้นปาล์มที่จะให้สมบัติของกระดาษที่ดีและเหมาะสมที่จะนำมาทำเป็นกระดาษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระดาษเพื่อการบรรจุภัณฑ์
 3. ผลิตหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพจากพอลิแล็กไทด์เรซิน (Polylactide resin) สำหรับพิมพ์บนกระดาษที่ผลิตได้จากปาล์มน้ำมัน
 4. นำหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีมาพิมพ์ลงบนกระดาษที่ผลิตได้จากปาล์มน้ำมัน ทดสอบคุณภาพของงานพิมพ์ที่ได้ รวมถึงทดสอบการย่อยสลายของหมึกพิมพ์
- ขอบเขตของโครงการวิจัยสำหรับปีงบประมาณ พ.ศ. 2552 มีดังนี้คือ
 1. ทดสอบสมบัติของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีที่ผลิตได้เพื่อเปรียบเทียบกับหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์ จากนั้นนำหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิดมาพิมพ์ลงบนกระดาษเหนียวเชิงพาณิชย์ เพื่อทดสอบคุณภาพของงานพิมพ์ที่ได้

2. ทดสอบการย่อยสลายของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีที่ผลิตได้ หลังจากก็นำมาพิมพ์ลงบนกระดาษที่ผลิตได้จากปาล์มน้ำมัน (เป็นการศึกษาต่อเนื่องมาจากปีงบประมาณ พ.ศ. 2551)
3. นำส่วนโคนกาบใบของต้นปาล์มน้ำมันมาผลิตเป็นเยื่อกระดาษ โดยใช้กระบวนการผลิตเยื่อโซดา (Soda pulping)
4. นำเยื่อปาล์มน้ำมันที่ผลิตได้มาทดลองผสมกับเยื่อเชิงพาณิชย์รวมถึงเยื่อรีไซเคิลในสัดส่วนต่างๆ เพื่อทดลองผลิตกระดาษผิวกล่องลูกฟูก
5. นำกระดาษผิวกล่องลูกฟูกที่ผลิตได้มาทดสอบสมบัติต่างๆ เพื่อหาสัดส่วนผสมระหว่างเยื่อปาล์มน้ำมัน เยื่อเชิงพาณิชย์ และเยื่อรีไซเคิลที่เหมาะสม
6. นำกระดาษผิวกล่องลูกฟูกที่ผลิตได้โดยมีเยื่อปาล์มน้ำมันเป็นส่วนผสม มาประกบกับกระดาษลูกฟูกด้านเดียว เพื่อทดสอบสมบัติเชิงบรรจุกัมมันต์ของกระดาษลูกฟูก
7. นำกระดาษผิวกล่องลูกฟูกที่ผลิตได้โดยมีเยื่อปาล์มน้ำมันเป็นส่วนผสม มาพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์ จากนั้นทดสอบคุณภาพงานพิมพ์ที่ได้

วิธีดำเนินการวิจัยโดยสรุป

- วิธีดำเนินการวิจัยโดยสรุปสำหรับปีงบประมาณ พ.ศ. 2551 มีดังนี้คือ

ขั้นที่ 1: เตรียมวัตถุดิบจากปาล์มน้ำมัน

นำส่วนต่างๆ ของต้นปาล์มน้ำมัน อาทิเช่น โคนกาบใบ แกนใบ และใบ เป็นต้น มาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ก่อนที่จะนำไปตากแห้ง

ขั้นที่ 2: ผลิตเยื่อกระดาษจากปาล์มน้ำมัน

นำชิ้นไม้ปาล์มน้ำมันที่เตรียมไว้จากขั้นที่ 1 มาผลิตเป็นเยื่อ โดยต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) เมื่อต้มเยื่อเสร็จแล้วนำเยื่อมาทำความสะอาด คำนวณหาค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ (Yield) ทดสอบสภาพระบายได้ของเยื่อ (Freeness) และปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อ (Kappa number) เป็นต้น จากนั้นแบ่งเยื่อไว้ส่วนหนึ่งเพื่อทำแผ่นทดสอบ (แผ่นกระดาษ)

ขั้นที่ 3: ฟอกเยื่อกระดาษจากปาล์มน้ำมัน

นำเยื่อที่เหลือจากขั้นตอนการผลิตเยื่อมาทำการฟอกเยื่อโดยใช้สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide, H_2O_2) เมื่อฟอกเยื่อเสร็จแล้ว นำเยื่อมาทำการทดสอบสมบัติต่างๆ เช่น สภาพระบายได้และปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อ เป็นต้น

ขั้นที่ 4: ทำแผ่นกระดาษทดสอบจากเยื่อปาล์มน้ำมัน

นำเยื่อที่ผ่านการฟอกแล้วมาทำแผ่นทดสอบ (แผ่นกระดาษ) จากนั้นทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงแสง (Physical and optical properties) ของแผ่นทดสอบที่ผลิตได้ อาทิเช่น ความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile strength) ความต้านทานแรงฉีก (Tear resistance) ความขาวสว่าง (Brightness) และความทึบแสง (Opacity) เป็นต้น เพื่อดูว่าส่วนของต้นปาล์มน้ำมันจะให้เยื่อกระดาษที่เหมาะสมในการที่จะนำไปผลิตเป็นกระดาษมากที่สุด

ขั้นตอนที่ 5: การเตรียมหมึกพิมพ์จากพอลิเอทิลีนไกลคอลโพรพิลีนไกลคอล

เตรียมหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำ โดยในส่วนของสารยึดพอลิเอทิลีนไกลคอลโพรพิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG) ที่ใช้ต่างๆ กัน จากนั้นทดสอบสมบัติของหมึกพิมพ์ เพื่อหาสูตรหมึกพิมพ์ที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 6: การพิมพ์และการวิเคราะห์คุณภาพของงานพิมพ์ที่ได้

นำหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีที่ผลิตได้มาทดสอบพิมพ์ลงบนแผ่นกระดาษทดสอบที่ผลิตได้ โดยใช้เครื่องทดสอบพิมพ์ในระดับห้องปฏิบัติการ ได้แก่ เครื่องเคลือบผิวอัตโนมัติ และเครื่องทดสอบการพิมพ์ได้ จากนั้นนำกระดาษที่ผ่านการพิมพ์แล้วมาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ทางกรพิมพ์ อาทิเช่น ความมันวาว ความต้านทานการถอนผิว ความเรียบของสิ่งพิมพ์ ความดำพื้นตาย ความเรียบสม่ำเสมอของพื้นตาย ความดำฮาล์ฟโทน ค่าเม็ดสกรีนบวม และความแปรปรวน เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 7: ทดสอบการย่อยสลายของหมึกพิมพ์

นำกระดาษที่ผ่านการพิมพ์ส่วนหนึ่งไปฝังดิน และขุดตัวอย่างสิ่งพิมพ์นั้นขึ้นมาวิเคราะห์ทุกเดือน จนกระทั่งครบ 9 เดือนเป็นอย่างน้อย หรือจนกว่าหมึกพิมพ์จะย่อยสลายหมดไป (โดยไม่มีการใช้ตัวอย่างซ้ำ) เพื่อดูว่าหมึกพิมพ์นั้นมีการย่อยสลายไปมากน้อยเพียงใด

- วิธดำเนินการวิจัยโดยสรุปสำหรับปีงบประมาณ พ.ศ. 2552 มีดังนี้คือ

ขั้นตอนที่ 1: เปรียบเทียบสมบัติของหมึกพิมพ์ที่ผลิตได้กับหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์

นำหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีที่ผลิตได้และหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์มาตรวจสอบสมบัติต่างๆ อาทิเช่น ความหนืดของหมึกพิมพ์ แรงดึงผิวของหมึกพิมพ์ จากนั้นนำหมึกทั้งสองชนิดมาทำการพิมพ์ลงบนกระดาษเหนียวเชิงพาณิชย์ นำกระดาษที่ผ่านการพิมพ์แล้วมาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ทางกรพิมพ์ อาทิเช่น ความมันวาว ความต้านทานการถอนผิว เป็นต้น เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของงานพิมพ์ที่ได้จากหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิด

ขั้นตอนที่ 2: ทดสอบการย่อยสลายของหมึกพิมพ์

ขุดตัวอย่างสิ่งพิมพ์ที่ได้มาจากการนำหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีที่ผลิตได้มาพิมพ์ลงบนกระดาษที่ผลิตได้จากปาล์มน้ำมัน โดยขุดนำขึ้นมาวิเคราะห์ทุกเดือน จนกระทั่งครบ 9 เดือนเป็น

อย่างน้อย หรือจนกว่าหมึกพิมพ์จะย่อยสลายหมดไป (โดยไม่มีการใช้ตัวอย่างซ้ำ) เพื่อดูว่าหมึกพิมพ์นั้นมีการย่อยสลายไปมากน้อยเพียงใด (ส่วนนี้เป็นส่วนที่ศึกษาต่อเนื่องมาจากปีงบประมาณ พ.ศ. 2551)

ขั้นตอนที่ 3: ผลิตเยื่อกระดาษจากปาล์มน้ำมัน

นำชิ้นไม้จากส่วนโคนกาบใบของต้นปาล์มน้ำมันมาทำการผลิตให้เป็นเยื่อโดยต้มด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) ที่ปริมาณและเวลาต่างๆ กัน เมื่อต้มเยื่อเสร็จแล้วนำเยื่อมาทำความสะอาด ก่อนนำไปวิเคราะห์เส้นใยและองค์ประกอบทางเคมี นำเยื่อส่วนที่เหลือมาขึ้นแผ่นทดสอบ (แผ่นกระดาษ) จากนั้นทำการทดสอบสมบัติด้านความแข็งแรงของแผ่นทดสอบที่ผลิตได้ อาทิเช่น ความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile strength) ความแข็งแรงต่อแรงฉีก (Tear resistance) เป็นต้น เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตเยื่อปาล์มน้ำมัน

ขั้นตอนที่ 4: ทดลองผลิตกระดาษผิวกล่องลูกฟูกจากเยื่อปาล์มน้ำมันผสมกับเยื่อเชิงพาณิชย์

นำเยื่อปาล์มน้ำมันมาผสมกับเยื่อเชิงพาณิชย์ในสัดส่วนต่างๆ เพื่อผลิตกระดาษผิวกล่องลูกฟูก 4 สูตร นำเยื่อผสมดังกล่าวไปขึ้นแผ่นทดสอบ จากนั้นทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ของกระดาษผิวกล่องลูกฟูก อาทิเช่น ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ ความแข็งแรงต่อแรงดึง การดูดซึมน้ำ เป็นต้น เพื่อหาสูตรซึ่งมีเยื่อปาล์มน้ำมันผสมที่ให้สมบัติกระดาษผิวกล่องที่ดีกว่าหรือใกล้เคียงกับสูตรกระดาษผิวกล่องลูกฟูกพาณิชย์

ขั้นตอนที่ 5: ทดสอบสมบัติเชิงบรรจุกัญช์ของกระดาษผิวกล่องลูกฟูกที่ผลิตได้

นำกระดาษผิวกล่องลูกฟูกที่ผลิตได้จากเยื่อเชิงพาณิชย์ผสมกับเยื่อปาล์มน้ำมันมาประกบกับกระดาษลูกฟูกหน้าเดียวเชิงพาณิชย์ เพื่อขึ้นรูปเป็นกระดาษลูกฟูก 3 ชั้น แล้วนำไปทดสอบสมบัติเชิงบรรจุกัญช์ อาทิเช่น ความแข็งแรงต่อแรงกดของกระดาษลูกฟูกในแนวตั้ง ความต้านทานแรงกดของกระดาษลูกฟูกตามแนวนอน เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 6: การพิมพ์และการวิเคราะห์คุณภาพของงานพิมพ์ที่ได้

นำหมึกพิมพ์ฟเล็คโซกราฟีเชิงพาณิชย์มาพิมพ์ลงบนกระดาษผิวกล่องลูกฟูกที่ผลิตได้จากสูตรต่างๆ โดยใช้เครื่องทดสอบพิมพ์ในระดับห้องปฏิบัติการ ได้แก่ เครื่องทดสอบการพิมพ์ได้ จากนั้นนำกระดาษที่ผ่านการพิมพ์แล้วมาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ทางกรพิมพ์ อาทิเช่น ความดำ พื้นตาย ความดำฮาล์ฟโทน ค่าเม็ดสกรีนบวม และความเปรียบต่าง เป็นต้น

สมมติฐานและกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชที่มีประโยชน์อย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำเมล็ดของผลปาล์มมาสกัดนำน้ำมันออกมาใช้ประโยชน์ อย่างไรก็ตามเศษวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตทั้งในรูปของ

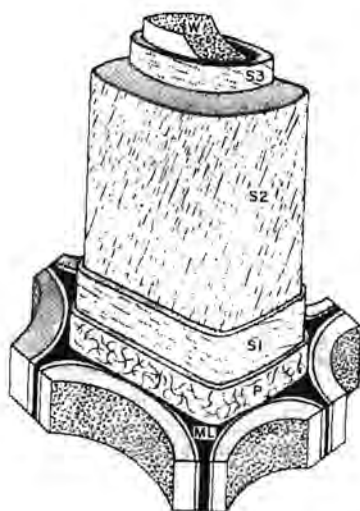
ทะลายเปล่า เส้นใย กะลา เป็นต้น รวมถึงส่วนต่างๆ ของต้นปาล์มน้ำมัน ยังคงมีเส้นใยอยู่ ซึ่งเส้นใยดังกล่าวนี้ น่าจะสามารถนำมาใช้ให้เป็นประโยชน์และเพิ่มมูลค่า โดยนำมาใช้ผลิตเป็นเยื่อกระดาษได้ และเนื่องจากพอลิแล็กไทด์เป็นเรซินชีวภาพ สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ไม่ก่อให้เกิดขยะที่ย่อยสลายได้ยาก นอกจากนี้เรซินนี้สามารถทำให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มขึ้นมาได้ ดังนั้นพอลิแล็กไทด์เรซินนี้จึง น่าจะถูกนำมาใช้พัฒนาเป็นหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้วิธีที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อกระดาษจากปาล์มน้ำมันด้วยกระบวนการผลิตเยื่อแบบโซดา ซึ่งเป็นการต้มเยื่อโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารต้มเยื่อเพียงอย่างเดียว
2. ได้แหล่งของเส้นใยใหม่ที่อาจจะนำมาพัฒนาใช้ในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ รวมถึงบรรจุภัณฑ์จากกระดาษได้
3. ได้หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมที่ผลิตจากพอลิแล็กไทด์เรซิน เนื่องจากย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ
4. เป็นการเพิ่มประโยชน์และมูลค่าให้แก่สิ่งเหลือใช้ ซึ่งนอกจากจะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากขยะแล้วนั้น ยังเป็นการสร้างงานและเพิ่มรายได้กับประชาชน รวมถึงพัฒนาเศรษฐกิจของท้องถิ่น
5. ได้องค์ความรู้ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ ซึ่งอาจนำไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์

ทฤษฎี

โครงสร้างของเส้นใย (Fiber structure)



ภาพที่ 1: โครงสร้างของเส้นใย (5)

ภาพที่ 1 แสดงลักษณะโครงสร้างของเส้นใย ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนสำคัญต่างๆ ดังนี้คือ

1. มิดเดิล ลามेलล่า (Middle Lamella, ML)

เป็นบริเวณที่อยู่ระหว่างเส้นใย ซึ่งบริเวณนี้มีลิกนินอยู่ปริมาณมาก โดยลิกนินทำหน้าที่เหมือนกาวเพื่อเชื่อมเส้นใยเข้าไว้ด้วยกัน

2. ผนังเซลล์ชั้นที่ 1 (Primary wall, P)

เป็นชั้นที่มีผนังบาง การเรียงตัวของเส้นใยขนาดย่อยภายในชั้นนี้มีรูปแบบที่ไม่แน่นอน

3. ผนังเซลล์ชั้นที่ 2 (Secondary wall, S)

เป็นชั้นที่หนาที่สุดและประกอบไปด้วยการเรียงตัวของเส้นใยขนาดย่อยอีก 3 ชั้น คือ S_1 , S_2 และ S_3 โดยชั้น S_2 เป็นชั้นที่หนาที่สุด ชั้น S_1 , S_2 และ S_3 นอกจากแตกต่างกันในเรื่องของความหนาแล้ว ยังมีความแตกต่างกันในเรื่องของการเรียงตัวของเส้นใยขนาดย่อย โดย S_2 มีการเรียงตัวในแนวเดียว ส่วน S_1 และ S_3 จะมีการเรียงตัวเป็นรูปแบบซิกแซก คล้ายตัวอักษร S หรือ Z

4. ลูเมน (Lumen)

เป็นบริเวณช่องว่างตรงกลางของเส้นใย

เคมีของเส้นใย (Fiber chemistry)

เส้นใยประกอบไปด้วย

1. เซลลูโลส (Cellulose) ประมาณ 45%
2. เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ประมาณ 25-35%
3. ลิกนิน (Lignin) ประมาณ 21-25 %
4. สารแทรก (Extractive) ประมาณ 2-8 %

เซลลูโลส

เป็นคาร์โบไฮเดรตมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) มาต่อกันเป็นพอลิเมอร์ โดยมีทั้งส่วนที่เรียงตัวเป็นโครงสร้างผลึกอย่างเป็นระเบียบ (Crystalline) และเรียงตัวเป็นโครงสร้างอสัณฐานอย่างไม่เป็นระเบียบ (Amorphous) ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2: โครงสร้างส่วนที่เป็นระเบียบและไม่เป็นระเบียบของเส้นใย (6)

เฮมิเซลลูโลส

เป็นคาร์โบไฮเดรตเช่นเดียวกับเซลลูโลส แต่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าและสลายตัวได้ง่ายกว่าเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสยังแตกต่างจากเซลลูโลสตรงที่ว่า โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสเกิดจากการเกาะกลุ่มกันด้วยพันธะไฮโดรเจนของน้ำตาลถึง 5 ชนิด ได้แก่ ไซโลส (Xylose) อะราบิโนส (Arabinose) แมนโนส (Mannose) กาแลกโตส (Galactose) และ กลูโคส (Glucose) โดยน้ำตาลไซโลสและอะราบิโนสเป็นน้ำตาลคาร์บอน 5 อะตอม ส่วนน้ำตาลแมนโนส กาแลกโตส และกลูโคสนั้น เป็นน้ำตาลคาร์บอน 6 อะตอม เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสสามารถถูกเรียกรวมกันว่า โฮโลเซลลูโลส (Holocellulose)

ลิกนิน

มีโครงสร้างที่ซับซ้อนและประกอบด้วยฟีนิลโพรเพน (Phenyl propane) หลายหน่วยมาเชื่อมต่อกัน ลิกนินมีมากตรงบริเวณระหว่างเส้นใยหรือ Middle lamella (ML) โดยลิกนินทำหน้าที่เหมือนกาวเพื่อ

เชื่อมเส้นใยไว้ด้วยกัน ดังนั้นในกระบวนการผลิตเยื่อจึงต้องมีการกำจัดลิกนินออกหรือทำให้ลิกนินอ่อนตัวลง เพื่อให้สามารถแยกกลุ่มของเส้นใยแยกออกมาเป็นเส้นใยเดี่ยวๆ ลิกนินมีองค์ประกอบทางเคมีที่เรียกว่าโครโมฟอร์ (Chromophore) ซึ่งจะทำปฏิกิริยาทางเคมีกับแสงและความชื้นส่งผลให้กระดาษมีสีเหลือง

สารแทรก

สารเหล่านี้ส่วนใหญ่สามารถละลายได้ในน้ำหรือตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีสภาพเป็นกลาง ตัวอย่างของสารแทรก ได้แก่ กรดเรซิน (Resin acid) กรดไขมัน (Fatty acid) และแอลกอฮอล์ (Alcohol) เป็นต้น

ชนิดของเส้นใย (Fiber type)

ขึ้นอยู่กับพันธุ์ของต้นไม้ แต่โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. เส้นใยจากไม้เนื้อแข็ง (Hardwood fiber)

เส้นใยมีขนาดสั้น พบมากในประเทศไทย โดยมาจากพืชตระกูลไม้ผลัดใบซึ่งมีการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว เช่น ยูคาลิปตัส (Eucalyptus) เป็นต้น

2. เส้นใยจากไม้เนื้ออ่อน (Softwood fiber)

เส้นใยมีขนาดยาว ส่วนมากมาจากพืชตระกูลสน ซึ่งเจริญเติบโตได้ช้าและพบในประเทศไทยน้อย

นอกจากนี้ยังมีเส้นใยอีกประเภทหนึ่งที่ได้มาจากพืชที่ไม่ใช่ไม้ยืนต้น (Nonwood fiber) เช่น ฝ้าย หวาย ฟางข้าว ป่าน ปอ หญ้า กอ ต้นอ้อ ต้นข้าว ต้นไผ่ ชานอ้อย และหญ้าแฝก เป็นต้น ซึ่งเส้นใยประเภทนี้เป็นเส้นใยที่ค่อนข้างยาวเหมาะสำหรับนำมาผลิตเป็นกระดาษเหนียวหรือกระดาษกล่อง

ปาล์มน้ำมัน (Oil palm)

ข้อมูลทางพฤกษศาสตร์ของปาล์มน้ำมันมีดังนี้ คือ

ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.
ชื่อวงศ์	Palmae
ชื่ออังกฤษ	Oil palm, African oil palm, Macaw fat
ชื่อท้องถิ่น	มะพร้าวลิง มะพร้าวหัวลิง หมากมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว โดยลักษณะทั่วไปของปาล์มน้ำมันเป็นปาล์มต้นเดี่ยว ลำต้นขนาด 30-50 เซนติเมตร สูงได้ถึง 20 เมตร เมื่ออายุประมาณ 1-3 ปี ลำต้นจะถูกหุ้มด้วยโคนกาบใบ แต่เมื่ออายุมากขึ้น โคนกาบใบจะหลุดร่วง ทำให้เห็นลำต้นชัดเจน ผิวของลำต้นคล้ายๆ ต้นตาล ลักษณะใบเป็นรูป

ก้างปลา ทางใบยาว 4-5 เมตร ปลายใบเรียวแหลม โคนใบเป็นรูปลิ้ม แผ่นใบสีเขียวเป็นมัน โคนกาบใบจะมีลักษณะเป็นซี่คล้ายหนามแต่ไม่คมมาก เมื่อไปถึงกลางใบหนามดังกล่าวจะพัฒนาเป็นใบ ปาล์มน้ำมันมีดอกสีขาว ดอกบานในช่วงเดือน กรกฎาคม-กันยายน โดยออกดอกเป็นช่อแยกแขนงระหว่างกาบใบ การออกดอกของปาล์มน้ำมันนั้น มีลักษณะเป็นดอกแยกเพศอยู่ร่วมต้น ช่อดอกสั้นแน่นและยาวประมาณ 30 เซนติเมตร ผลสดทรงกลมรี ขนาด 3-4 เซนติเมตร ผลแก่สีม่วงแดงหรือส้มแดง

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปแอฟริกา ซึ่งให้ผลผลิตน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าพืชน้ำมันทุกชนิด กล่าวคือให้ผลผลิตน้ำมัน 640-800 กิโลกรัมน้ำมันต่อพื้นที่ปลูก 1 ไร่ (7) และเป็นพืชน้ำมันที่มีการผลิตทั่วโลกเป็นอันดับสอง คือ 25% หรือคิดเป็นปริมาณผลิต 23.355 ล้านตัน ในปี 2544 รองจากน้ำมันถั่วเหลือง ซึ่งมีสัดส่วนประมาณ 28% โดยประเทศที่ผลิตและส่งออกน้ำมันปาล์มรายใหญ่ที่สุดในโลกคือ ประเทศมาเลเซีย ในขณะที่ประเทศไทยมีอันดับการผลิตอยู่อันดับที่สี่ของโลก โดยปลูกมากในพื้นที่ทางภาคใต้ของประเทศ ในกระบวนการสกัดน้ำมันจากปาล์มน้ำมันนั้น จะมีเศษวัสดุเหลือจากกระบวนการผลิตทั้งในรูปของทะลายเปล่า เส้นใย กะลา เป็นต้น ซึ่งเศษวัสดุส่วนหนึ่งสามารถถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม (8) นอกจากนี้ในส่วนของทะลายปาล์มนั้น สามารถใช้คลุมดินเพื่อรักษาความชื้น เพิ่มเนื้อดินในสวนปาล์มและนำมาใช้เพาะเห็ดได้

การผลิตเยื่อกระดาษ (Pulping)

การผลิตเยื่อกระดาษ หมายถึง การผลิตเส้นใยเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษ เป็นกระบวนการที่พยายามแยกเส้นใยออกเป็นเส้นเดี่ยวๆ โดยอาจมีการกำจัดลิกนินออก หรืออาจไม่ได้กำจัดออกหากแต่ทำให้ลิกนินอ่อนตัวลงแทน ทั้งนี้เพื่อให้เส้นใยเป็นอิสระต่อกัน สามารถสร้างพันธะระหว่างกัน ในขณะที่ฟอรัมเป็นแผ่นกระดาษได้ การผลิตเยื่อกระดาษแบ่งออกได้เป็น 2 กระบวนการหลัก คือ

1. การผลิตเยื่อไม้บดหรือเยื่อเชิงกล (Mechanical pulping)
2. การผลิตเยื่อเคมี (Chemical pulping)

การผลิตเยื่อไม้บดหรือเยื่อเชิงกล (Mechanical pulping)

เป็นกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษที่อาศัยพลังงานเชิงกลในการทำให้เส้นใยแยกตัวออกมาเป็นเส้นใยเดี่ยวๆ ในการผลิตเยื่อเชิงกลนั้นอาจมีการให้ความร้อนโดยการให้น้ำในสภาวะความดันสูงแก่ชิ้นไม้ก่อน เพื่อให้ลิกนินอ่อนตัวลงและเส้นใยสามารถแยกตัวออกจากกันได้ง่ายมากขึ้น โดยทั่วไปแล้วเยื่อเชิงกลนิยมผลิตมาจากไม้เนื้ออ่อน โดยเยื่อที่ผลิตได้นั้นมีค่าความทึบแสง (Opacity) ค่าความเรียบ (Smoothness) และค่าผลผลิตที่ได้ (Yield) สูง (ประมาณ 90-95 %)

การผลิตเยื่อเคมี (Chemical pulping)

เป็นกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษที่ใช้ทั้งพลังงานความร้อนและสารเคมีในการกำจัดลิกนิน โดยละลายลิกนินออกมา ส่งผลให้เส้นใยแยกตัวออกจากกันเป็นอิสระได้ง่าย เยื่อที่ผลิตโดยวิธีนี้มีค่าความขาวสว่างและความแข็งแรงสูงกว่าเยื่อเชิงกล อย่างไรก็ตามปริมาณผลผลิตที่ได้มีค่าต่ำกว่าเยื่อเชิงกล (ประมาณ 40-50%) ในการผลิตเยื่อเคมีนั้น โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การผลิตเยื่อแบบซัลไฟต์ (Sulfite pulping) และการผลิตเยื่อแบบซัลเฟตหรือคราฟต์ (Sulfate or kraft pulping)

การผลิตเยื่อแบบซัลไฟต์เป็นกระบวนการที่เป็นกรด โดยสารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับลิกนินคือ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ซึ่งมาจากกรดซัลฟิวรัส (H_2SO_3) และสารประกอบไบซัลไฟต์ (MHSO_3) เมื่อ M คือ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) หรือ โซเดียม (Na) ส่วนการผลิตเยื่อแบบซัลเฟตนั้นเป็นกระบวนการที่เป็นเบส ซึ่งดัดแปลงมาจากการผลิตเยื่อแบบโซดา (Soda process) ซึ่งมีการใช้แค่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพียงอย่างเดียว โดยสารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับลิกนินในการผลิตเยื่อแบบซัลเฟต คือ โซเดียมซัลไฟต์ (Na_2S) และโซเดียมไฮดรอกไซด์

การผลิตเยื่อกระดาษจากปาล์มน้ำมัน (Pulping of oil palm)

Law และคณะ (9) ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเส้นใยจากส่วนของทะลายปาล์ม ในขณะที่ Wanrosli และคณะ (10) ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเส้นใยจากส่วนของใบปาล์ม โดยศึกษาเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ได้จากต้นแอสเพน (Aspen) เมื่อนำข้อมูลของงานวิจัยทั้งสองมารวบรวมตั้งปรากฏในตารางที่ 1

ตารางที่ 1: สมบัติของเส้นใยจากทะลายและใบปาล์มเปรียบเทียบกับเส้นใยจากต้นแอสเพน

สมบัติของเส้นใย	ชนิดของพืช		
	ทะลายปาล์ม	ใบปาล์ม	ต้นแอสเพน
ความยาวของเส้นใย (มิลลิเมตร)	0.99	1.13	0.96
เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของเส้นใย (ไมโครเมตร)	19.1	19.6	20.8
ความหนาของผนังเซลล์ (ไมโครเมตร)	3.38	3.97	1.93
ความหนาของเส้นใย (มิลลิกรัม/เมตร)	1.370	0.098	1.010

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า ความยาวของเส้นใย (Fiber length) จากส่วนใบปาล์มมีค่าสูงกว่าจากส่วนทะลายปาล์ม โดยความยาวของเส้นใยจากส่วนทะลายปาล์มมีค่าใกล้เคียงกับเส้นใยจากต้นแอสเพน เส้นใยจากปาล์มโดยเฉพาะอย่างยิ่งจากส่วนของใบมีค่าความหนาของผนังเซลล์ (Cell wall

thickness) มากกว่าผนังเซลล์ของเส้นใยจากต้นแอสเพนมาก เส้นใยจากส่วนทะเลลายปาล์มยังมีความหยาบของเส้นใย (Fiber coarseness) สูงกว่าเส้นใยจากต้นแอสเพน ในขณะที่เส้นใยจากส่วนใบปาล์มมีความหยาบของเส้นใยใกล้เคียงกับเส้นใยจากต้นแอสเพน

Khalil และคณะ (11) ศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยจากส่วนของใบปาล์ม จากนั้นนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยไม้เนื้ออ่อน (Softwood fiber) และไม้เนื้อแข็ง (Hardwood fiber) (ตารางที่ 2) จะเห็นได้ว่าเส้นใยจากใบปาล์มมีปริมาณไฮโดรเซลลูโลสค่อนข้างสูง ในขณะที่ปริมาณแอลฟาเซลลูโลสมีค่าเกือบถึง 50% ซึ่งการที่เส้นใยมีค่าแอลฟาเซลลูโลสมากกว่า 34% แสดงว่าเส้นใยนั้นมีศักยภาพที่จะนำมาผลิตเป็นกระดาษได้ (11) ทั้งนี้เนื่องจากความแข็งแรงของกระดาษมีผลมาจากปริมาณของเซลลูโลสในเส้นใยเป็นสำคัญ

ตารางที่ 2: องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยจากใบปาล์ม เส้นใยจากไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน (11)

องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย	ชนิดของเส้นใย		
	ใบปาล์ม	ไม้เนื้ออ่อน	ไม้เนื้อแข็ง
สารแทรก (Extractive) (%)	4.5	0.2-8.5	0.1-7.7
ไฮโดรเซลลูโลส (Hemicellulose) (%)	83.5	60-80	71-89
แอลฟาเซลลูโลส (α -cellulose) (%)	49.8	30-60	31-64
ลิกนิน (Lignin) (%)	20.5	21-37	14-34
เถ้า (Ash) (%)	2.4	<1	<1

Wanrosli และคณะ (10) ได้วิเคราะห์องค์ประกอบทางพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide composition) ของเส้นใยจากส่วนใบของปาล์ม พบว่าเส้นใยจากส่วนใบของปาล์มมีกลูโคส (Glucose) เป็นองค์ประกอบที่มากที่สุด รองลงมาคือ ไซโลส (Xylose) ดังปรากฏในตารางที่ 3

ตารางที่ 3: องค์ประกอบทางพอลิแซ็กคาไรด์ของเส้นใยจากส่วนใบของปาล์ม (10)

องค์ประกอบ	ค่าร้อยละ (%)
อราบินอส (Arabinose)	1.5
แมนโนส (Mannose)	2.2
กาแลคโตส (Galactose)	0.9
กลูโคส (Glucose)	66.6
ไซโลส (Xylose)	28.9

Wanrosli และคณะยังได้ทำการทดลองนำไบปาล์มมาต้มเยื่อโดยใช้กระบวนการต้มเยื่อแบบโซดา (Soda process) และใช้ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการต้มเยื่อต่างๆ กัน ตั้งแต่ 20%, 30%, 40% และ 50% ของน้ำหนักชิ้นไม้แห้ง จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการต้มเยื่อ มีผลทำให้ค่าปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อ (Kappa number) ลดลง ค่าความขาวสว่าง (Brightness) เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณของลิกนินที่ถูกกำจัดออกไปเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการต้มเยื่อที่สูง ส่งผลให้ค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ (Yield) ลดน้อยลงและค่าความแข็งแรงของเส้นใยลดน้อยลง ทั้งนี้เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่า Peeling reaction ซึ่งเป็นการทำลายส่วนที่เป็นคาร์โบไฮเดรตของเส้นใย โดยปฏิกิริยานี้จะไปทำให้ Glucosidic bond เกิดการแตกออก โดยเฉพาะอย่างยิ่งตรงบริเวณ End groups ของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ส่งผลให้ค่าปริมาณผลผลิตที่ได้และสภาพความแข็งแรงของเยื่อที่ได้ลดลง ในการศึกษาครั้งนี้ทางคณะวิจัยยังได้นำเยื่อที่ผลิตได้จากไบปาล์ม โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการต้มเยื่อเท่ากับ 30% ของน้ำหนักชิ้นไม้แห้ง มาทดลองผสมกับเยื่อใยยาวซึ่งผลิตมาจากไม้เนื้ออ่อน (Softwood pulp) และผลิตโดยกระบวนการผลิตเยื่อเชิงกลแบบใช้ความร้อน (Thermomechanical pulping, TMP) จากนั้นนำเยื่อผสมมาผลิตเป็นแผ่นกระดาษ ซึ่งพบว่าเยื่อที่ผลิตได้จากไบปาล์มมีสมบัติด้านความแข็งแรงใกล้เคียงกับเยื่อใยสั้น ซึ่งผลิตมาจากไม้เนื้อแข็ง (Hardwood pulp) ทางคณะวิจัยยังได้แนะนำว่าในการผลิตกระดาษหนังสือพิมพ์นั้น สามารถนำเยื่อที่ผลิตได้จากไบปาล์มมาใช้เสริมเยื่อเชิงพาณิชย์ที่ผลิตโดยกระบวนการผลิตเยื่อเชิงกลได้ (Mechanical pulp) โดยเยื่อจากไบปาล์มจะไปช่วยเสริมให้สมบัติทางด้านความแข็งแรงและสมบัติเชิงแสงดีขึ้น

Wanrosli และคณะ (12) ได้นำเยื่อที่ผลิตได้จากทะเลลายปาล์มโดยใช้กระบวนการผลิตเยื่อแบบโซดามาผสมกับเยื่อรีไซเคิล (Recycled pulp) จากกระดาษกล่องลูกฟูก (Old corrugated container-OCC) จากผลการทดลองพบว่าเส้นใยของปาล์มสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับเยื่อกระดาษรีไซเคิลได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อนำเยื่อที่ผลิตจากทะเลลายปาล์มมาผ่านการตีเยื่อ (Beating) ก่อนที่จะนำไปผลิตเป็นแผ่นกระดาษ ทั้งนี้เป็นเพราะเยื่อจากทะเลลายปาล์มเป็นเยื่อใหม่ (Virgin pulp) จึงมีสมบัติความแข็งแรงมากกว่าเยื่อรีไซเคิล ส่วนการตีเยื่อนั้นทำให้เส้นใยแตกตัวมีพื้นที่ผิวมากขึ้น การสร้างพันธะระหว่างเส้นใยดีขึ้น กระดาษที่ผลิตได้จึงแข็งแรงขึ้น

การผลิตกระดาษ (Papermaking)

การผลิตกระดาษ โดยทั่วไปประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ได้แก่ การเตรียมน้ำเยื่อ (Stock preparation) การขึ้นแผ่น (Sheet formation) การรีดน้ำ (Pressing) และการทำแห้ง (Drying) การเข้า

ม้วน (Reeling) และขั้นตอนหลังการผลิตอื่นๆ เช่น การเคลือบผิว (Coating) การขัดผิว (Calendering) เป็นต้น โดยรายละเอียดแต่ละขั้นตอน มีดังนี้

การเตรียมน้ำเยื่อ (Stock preparation)

น้ำเยื่อ (Stock) เป็นส่วนผสมของเยื่อไม้ น้ำ และสารเคมีที่ใช้ปรับสภาพให้เหมาะสมกับการนำไปทำกระดาษ

ขั้นตอนการเตรียมน้ำเยื่อนั้นโดยทั่วไปแล้วประกอบไปด้วย การกระจายเส้นใย การปรับความเข้มข้นของน้ำเยื่อ (Consistency) การตีเยื่อ (Beating) การผสมเยื่อกับสารเคมีต่างๆ และสุดท้ายคือ การกำจัดสิ่งปลอมปน (Contaminants) และอากาศ อย่างไรก็ตามลำดับขั้นตอนเหล่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามวิธีการเตรียมน้ำเยื่อของแต่ละโรงงาน

การขึ้นแผ่น (Sheet formation)

น้ำเยื่อที่ผลิตได้จากขั้นตอนการเตรียมน้ำเยื่อนั้น โดยทั่วไปแล้วจะมีความเข้มข้นของน้ำเยื่อต่ำมาก (ต่ำกว่า 1%) การขึ้นแผ่นจึงเป็นการนำน้ำเยื่อที่ได้มาขึ้นรูปแผ่นกระดาษด้วยการกรอง (Filtration) ซึ่งเป็นการเอาน้ำออกจากเส้นใยจนกระทั่งได้ค่าความเข้มข้นของน้ำเยื่อประมาณ 20%

ส่วนประกอบของส่วนขึ้นแผ่นภายในเครื่องผลิตกระดาษนั้น ประกอบด้วย ตะแกรงเดินแผ่น (Wire) ซึ่งเป็นตะแกรงละเอียดที่ทำจากพลาสติก (สมัยก่อนทำจากโลหะจึงเรียกว่า wire) ริงหมุนมารับน้ำเยื่อที่ปล่อยมาจากกล่องปล่อยน้ำเยื่อ (Head box) น้ำจะไหลลอดผ่านสายพานตะแกรงลงไปทั้งไว้แต่เยื่อและส่วนประกอบอื่นๆ เกิดเป็นกระดาษเปียก

การปล่อยเยื่อกระดาษลงสู่ลวดเดินแผ่น นอกจากเป็นการทำให้เยื่อเกิดการกระจายตัวและเรียงตัวซ้อนกันเป็นแผ่นกระดาษแล้ว ในช่วงของลวดเดินแผ่นนี้ น้ำและสารเคมีที่อยู่ในเยื่อกระดาษจะถูกระบายออกจนเหลือน้ำประมาณ 70-80 %

การรีดน้ำ (Pressing) และการทำแห้ง (Drying)

เนื่องจากแผ่นกระดาษที่เพิ่งเกิดขึ้นบนตะแกรงยังมีน้ำอยู่มาก จึงต้องกำจัดน้ำออกต่อโดยการรีดน้ำ ซึ่งในส่วนการรีดน้ำนั้น สายพานสักหลาด (Felt) จะเข้าไปรับกระดาษจากส่วนขึ้นแผ่น แล้วพาดกระดาษเข้าไประหว่างลูกกลิ้งที่กดบีบอย่างแรง โดยผ้าสักหลาดจะซับน้ำจากกระดาษไว้ หลังจากผ่านชุดลูกกลิ้งรีดน้ำจำนวนหนึ่งแล้ว กระดาษจะถูกส่งต่อไปยังหน่วยทำแห้ง (Drying section) ส่วนผ้าสักหลาดที่เปียกจะถูกอบแห้งและหมุนกลับไปรับกระดาษเปียกจากส่วนขึ้นแผ่นใหม่

ในส่วนทำแห้งนั้นกระดาษจะวิ่งผ่านลูกอบ (Dryers) ซึ่งมีอุณหภูมิ 80-120 องศาเซลเซียส ความร้อนนี้จะถูกส่งผ่านไปที่กระดาษทำให้น้ำระเหยเป็นไอ ซึ่งกระดาษที่ผ่านออกจากชุดลูกอบจะค่อนข้างแห้งและเหลือความชื้นประมาณ 5 %

การเข้าม้วน (Reeling)

กระดาษที่แห้งแล้วจะถูกเก็บเข้าม้วน ม้วนกระดาษที่ได้จากเครื่องทำกระดาษโดยตรงจะเป็นม้วนใหญ่ เรียกว่า Reel drum หรือ Pope reel จากนั้นม้วนกระดาษอาจถูกนำไปแปรรูป เช่น กรอเป็นม้วนเล็ก ตัดเป็นแผ่น เคลือบผิว เป็นต้น ต่อไป

ชุดข압ผิว (Size press)

เพื่อให้กระดาษมีสมบัติที่ดีขึ้นและเหมาะกับการนำไปใช้งาน กระดาษจะผ่านการข압ด้วยสารเคมี ซึ่งจะมีผลทำให้ความต้านทานการถอนผิว (Picking resistance) ความต้านทานการดูดซึมน้ำ (Water resistance) และความเรียบ (Smoothness) ดีขึ้น

ชุดขัดผิว (Calender)

เมื่อกระดาษมาถึงชุดขัดผิว จะยังมีผิวหน้าที่ค่อนข้างหยาบและยังไม่แน่นตัว กระดาษจะถูกส่งผ่านลูกกลิ้งโลหะที่ใช้แรงกดสูงเพื่อควบคุมความหนาและความเรียบของกระดาษให้ได้ตามที่ต้องการ

กระดาษลูกฟูก (Corrugated board)

กระดาษลูกฟูกเป็นวัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์ ซึ่ง Healey และ Allen ได้จดสิทธิบัตรเป็นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1856 ที่ประเทศอังกฤษ ต่อมาในปี ค.ศ. 1871 Albert Jones ได้จดสิทธิบัตรกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว (Single faced corrugated) โดยนำมาผลิตบรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุขวด และในปี ค.ศ. 1875 Robert Thomson และ Henry Norris ได้เริ่มพัฒนาการผลิตบรรจุภัณฑ์ที่ใช้กระดาษลูกฟูก (13) ปัจจุบันโรงงานผลิตกระดาษลูกฟูกมีการเจริญเติบโตเป็นอย่างมาก นวัตกรรมในช่วง 100 ปีที่ผ่านมาทำให้อุตสาหกรรมมีความทันสมัยมากยิ่งขึ้น และได้มีการหาวัสดุที่ดีต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

หน้าที่และความสำคัญของกระดาษลูกฟูก มีดังนี้คือ

1. ใช้งานได้หลากหลาย สามารถพิมพ์ได้ง่ายและมีความสวยงาม
2. โครงสร้างดีพอกับวัสดุอื่นๆ
3. ออกแบบได้มากมายตามความต้องการของสินค้าและการขนส่ง
4. คุ่มค่าเมื่อเทียบกับราคา
5. ง่ายและยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนรูปร่าง ออกแบบได้ตามที่ลูกค้าต้องการ
6. ใช้งานได้เหมาะสมกับความต้องการ
7. ขนส่งง่าย เช่น พับลงได้
8. ออกแบบให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมได้ดี
9. สามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้

สาเหตุหลักของการพัฒนากระดาษลูกฟูก คือ เพื่อลดต้นทุน เนื่องจากกระดาษลูกฟูกเด่นในเรื่องของความคุ้มค่าและราคาถูก ซึ่งในอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์นิยมใช้กระดาษลูกฟูกมากกว่าพลาสติก เพราะประหยัดกว่าและออกแบบได้หลากหลาย รวมถึงรีไซเคิลได้ง่ายกว่า

องค์ประกอบของกระดาษลูกฟูก (Corrugated board composition)

โดยทั่วไปแล้วกระดาษลูกฟูก จะประกอบไปด้วย กระดาษ 2 ประเภท คือ

1. กระดาษทำผิวกล่องหรือกระดาษผิวกล่องลูกฟูก (Linerboard)
2. กระดาษทำลอนลูกฟูกหรือกระดาษตัวลอนลูกฟูก (Corrugating medium)

กระดาษผิวกล่องลูกฟูก (Linerboard)

กระดาษผิวกล่องลูกฟูกในท้องตลาดอาจมีชื่อเรียกที่หลากหลาย แล้วแต่ผู้ผลิตกระดาษแต่ละราย จะกำหนด โดยมีความแตกต่างที่คุณภาพและลักษณะที่ปรากฏเป็นหลัก กระดาษผิวกล่องลูกฟูกโดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ ได้ 4 ประเภท (14, 15) ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4: ประเภทของกระดาษผิวกล่องลูกฟูก (14, 15)

ประเภทกระดาษ	คุณสมบัติ	ลักษณะการใช้งาน
กระดาษผิวกล่องสีเหลืองทอง (KA) 125g/m ² 150 g/m ² 185 g/m ² 230 g/m ²	(ผิวสีเหลืองทอง) มีความแข็งแรงทนทาน เป็นพิเศษ ในการผลิตกล่องที่ต้องการความสามารถในการเรียงซ้อนและรับน้ำหนัก เป็นสีที่นิยมเป็นอย่างมากในกลุ่มผู้บริโภคในเอเชีย เนื่องจากชาวจีนถือว่าสีเหลืองทองเป็นสิริมงคล เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมสำหรับทำเป็นกล่องบรรจุสินค้าในประเทศและส่งออก	เหมาะสำหรับการผลิตกล่องบรรจุสินค้าจำพวก เครื่องใช้ไฟฟ้า ชิ้นส่วน อิเล็กทรอนิกส์ แผงวงจรไฟฟ้า อาหารแช่แข็งเพื่อการส่งออก อาหารกระป๋อง เครื่องยนต์ สิ่งทอ เป็นต้น
กระดาษผิวกล่องสีขาวธรรมชาติ (KI) 125 g/m ² 150 g/m ² 185 g/m ²	(ผิวสีน้ำตาลอ่อน) สีส่อนตามธรรมชาติของเยื่อกระดาษ มีคุณสมบัติด้านความแข็งแรงรองลงมาจากกระดาษผิวกล่องสีเหลืองทอง เป็นกระดาษที่เน้นในด้านความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สีที่เป็นสีอ่อนเป็นธรรมชาติทำให้งานพิมพ์บนกล่องมีความโดดเด่นสวยงาม	เหมาะสำหรับทำเป็นกล่องใช้บรรจุสินค้าภายในประเทศ นิยมใช้สำหรับทำกล่องบรรจุสินค้าจำพวก สินค้าอุปโภคและบริโภค เช่น อาหารกระป๋อง ขนมขบเคี้ยว เครื่องดื่ม นอกจากนี้ยังใช้บรรจุเครื่องหนัง เฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น

ตารางที่ 4: ประเภทของกระดาษผิวกล่องลูกฟูก (ต่อ) (14, 15)

ประเภทกระดาษ	คุณสมบัติ	ลักษณะการใช้งาน
กระดาษผิวกล่องสี ขาว(KS) 170 g/m ²	(ผิวสีขาว) มีความเรียบของผิวกระดาษสูง สามารถนำไปผลิตกล่องที่มีความแข็งแรง และเน้นความสวยงามด้านการพิมพ์ ซึ่ง ช่วยเสริมคุณค่าและภาพลักษณ์ของสินค้า	เหมาะสำหรับทำกล่องบรรจุ เครื่องใช้ไฟฟ้า ยาและเครื่องมือแพทย์ อาหารแช่แข็งเพื่อการส่งออก และ อาหาร เช่น ผลิตภัณฑ์นม เครื่องดื่ม ผัก ผลไม้ เป็นต้น
กระดาษผิวกล่อง จากเยื่อที่ผ่านการ ใช้งานแล้ว 100% (100% recycle pulp) 105 g/m ² 115 g/m ² 125 g/m ² 150 g/m ²	การผลิตจะใช้วัตถุดิบจำพวกเยื่อกระดาษที่ ด้อยคุณภาพ และอาจใช้เศษกระดาษ (Waste) มารีไซเคิลใช้ใหม่ เนื่องจาก ปัจจุบันผู้ใช้งานทั้งในประเทศและ ต่างประเทศต่างให้ความสำคัญกับเรื่อง สิ่งแวดล้อม จึงได้มีการพัฒนาเพื่อตอบสนอง ความต้องการ กระดาษยังคงรักษาความ แข็งแรงในการนำไปใช้งานได้โดยไม่ทำให้ เกิดปัญหา	เหมาะสำหรับการใช้งานทั่วไปที่ไม่ ต้องการความแข็งแรงในการรับน้ำหนัก มากนัก

กระดาษตัวลอนลูกฟูก (Corrugating medium หรือ Flute)

เป็นกระดาษที่มีสมบัติในด้านความแข็งแรงเมื่อนำมาทำลอนกระดาษ และมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้อย่างรวดเร็ว เพื่อช่วยให้การติดกาวบนเครื่องผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก (Corrugating machine) เป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้สามารถเดินเครื่องได้ด้วยความเร็วสูงได้ กระดาษตัวลอนลูกฟูกโดยทั่วไปแล้วมีน้ำหนักมาตรฐานที่ 125 กรัมต่อตารางเมตร (14)

ชนิดของลอนลูกฟูก (Flute type)

ลอนลูกฟูกมีขนาดแตกต่างกันไปตามตามความสูงและความถี่ของลอนดังแสดงในตารางที่ 5 และภาพที่ 3 โดยกระดาษลูกฟูกที่มีความสูงของลอนมากแต่มีความถี่ของลอนต่ำจะมีความสามารถในการรับน้ำหนักในการวางเรียงซ้อนได้ดีกว่าลอนที่มีความสูงน้อยแต่มีความถี่ของลอนสูง อย่างไรก็ตาม กระดาษลูกฟูกที่มีความสูงของลอนมากจะให้คุณสมบัติด้านการพิมพ์ดีกว่ากระดาษลูกฟูกที่มีความสูงของลอนต่ำ

ตารางที่ 5: ประเภทและลักษณะลอนลูกฟูกมาตรฐาน (16, 17)

ประเภทของลอน	จำนวนลอนต่อเมตร	ความสูงของลอน (มิลลิเมตร)	Take-up factor
A	105-125	4.5-4.7	1.54
C	120-145	3.5-3.7	1.43
B	150-185	2.1-2.9	1.32
E	290-320	1.1-1.2	1.27
F	410-420	0.7-0.8	1.23

หมายเหตุ: Take-up factor คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวของกระดาษตัวลอนลูกฟูกต่อความยาวของกระดาษผิวกล่องลูกฟูก

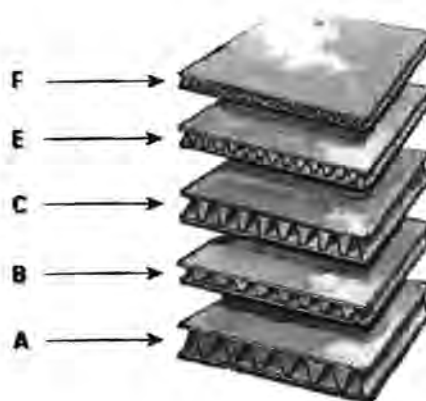
กระดาษลอน A สามารถรับแรงกดในแนวตั้งได้ดี (ตามความกว้างของลอน) ทนแรงกระแทกได้ดี มีความยืดหยุ่นสูง ต่อมาพัฒนาเป็นลอน C

กระดาษลอน C พัฒนามาจากลอน A ทนแรงกระแทกได้ดีเหมือนลอน A และสามารถรับแรงกดในแนวตั้ง (ตามความกว้างของลอน) ได้ดีเหมือนลอน B

กระดาษลอน B รับแรงกดในแนวตั้ง (ตามความกว้างของลอน) ทนแรงกระแทก และควบคุมคุณภาพทางการพิมพ์ได้ดีกว่าลอน A และลอน C

กระดาษลอน E ควบคุมคุณภาพการพิมพ์ได้ดีที่สุด สามารถนำมาพิมพ์หลังขึ้นลอน (Post printint) ได้เป็นอย่างดี

กระดาษลอน F เป็นลอนที่ค่อนข้างใหม่ล่าสุดที่พัฒนามาจากทางยุโรป โดยมีความสูงของลอนมากกว่าครึ่งหนึ่งของลอน E เพียงเล็กน้อย เหมาะสำหรับงานพิมพ์คุณภาพสูง



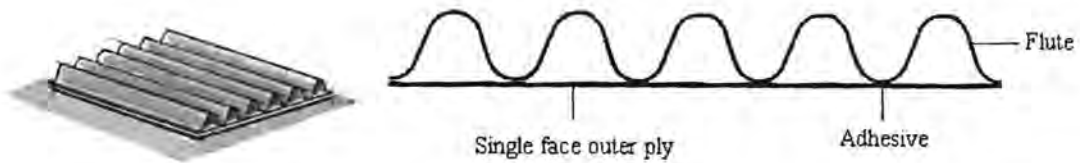
ภาพที่ 3: ลอนลูกฟูกมาตรฐาน (Standard flutes) (18)

ประเภทของกระดาษลูกฟูก (Corrugated board types)

กระดาษลูกฟูกสามารถจำแนกตามโครงสร้างออกเป็นประเภทต่างๆ ได้ดังนี้

1. กระดาษลูกฟูกหน้าเดียว (Single-faced corrugated board)

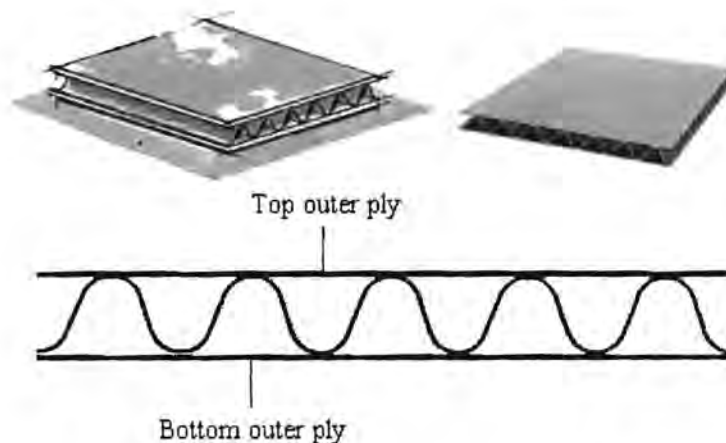
เป็นกระดาษแผ่นลูกฟูกที่ประกอบด้วย กระดาษผิวกล่องลูกฟูก (Liner) 1 ด้าน และกระดาษตัวลอนลูกฟูก (Corrugating medium) ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4: กระดาษลูกฟูกหน้าเดียว (16, 19)

2. กระดาษลูกฟูก 3 ชั้น (Single wall corrugated board)

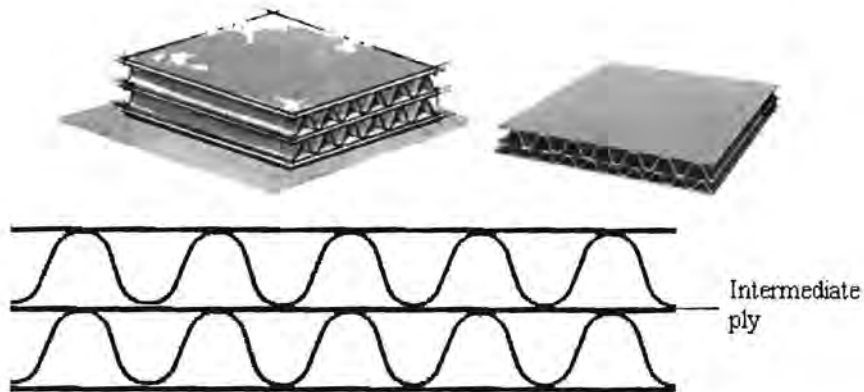
เป็นกระดาษแผ่นลูกฟูกที่ประกอบด้วยกระดาษผิวกล่องลูกฟูกด้านหน้าและด้านหลัง ตรงกลางเป็นกระดาษตัวลอนลูกฟูก ดังภาพที่ 5 ซึ่งกระดาษตัวลอนลูกฟูกดังกล่าวขึ้นกับการใช้งานที่ผู้ใช้งานต้องการ โดยอาจเป็นลอน B, C หรือ A เป็นต้น



ภาพที่ 5: กระดาษลูกฟูก 3 ชั้น (16, 17, 19)

3. กระดาษลูกฟูก 5 ชั้น (Double wall corrugated board)

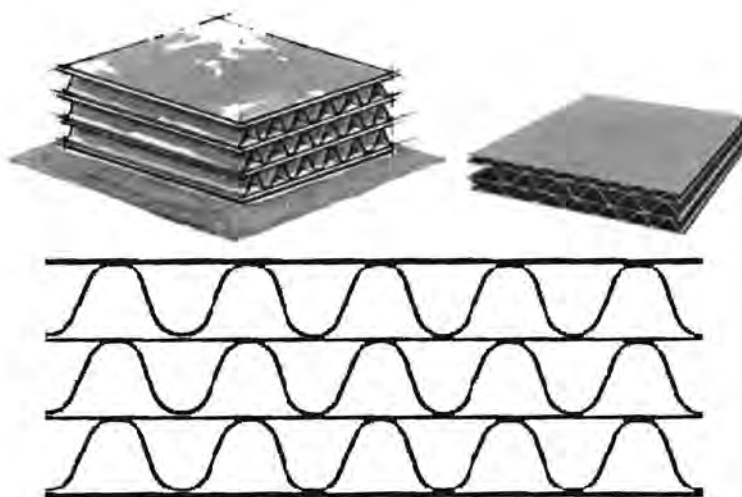
เป็นกระดาษแผ่นลูกฟูกที่ประกอบด้วยกระดาษผิวกล่องลูกฟูก 3 แผ่น และกระดาษตัวลอนลูกฟูกอีก 2 ชั้น ดังภาพที่ 6 โดยทั่วไปผลิตเพื่อใช้กับกล่องลูกฟูกที่ต้องการรับน้ำหนักสูง ลอนที่ใช้มักเป็นลอน B และ C



ภาพที่ 6: กระดาษลูกฟูก 5 ชั้น (16, 17, 19)

4. กระดาษลูกฟูก 7 ชั้น (Triple wall corrugated board)

เป็นกระดาษลูกฟูกที่ผลิตเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมหนัก ที่ต้องรับน้ำหนักสินค้าเป็นจำนวนมาก เช่น เครื่องจักรในอุตสาหกรรม ประกอบด้วยกระดาษแผ่นเรียบ (กระดาษผิวกล่องลูกฟูก) 4 ชั้นและกระดาษตัวลอนลูกฟูกอีก 3 ชั้น ดังแสดงในภาพที่ 7



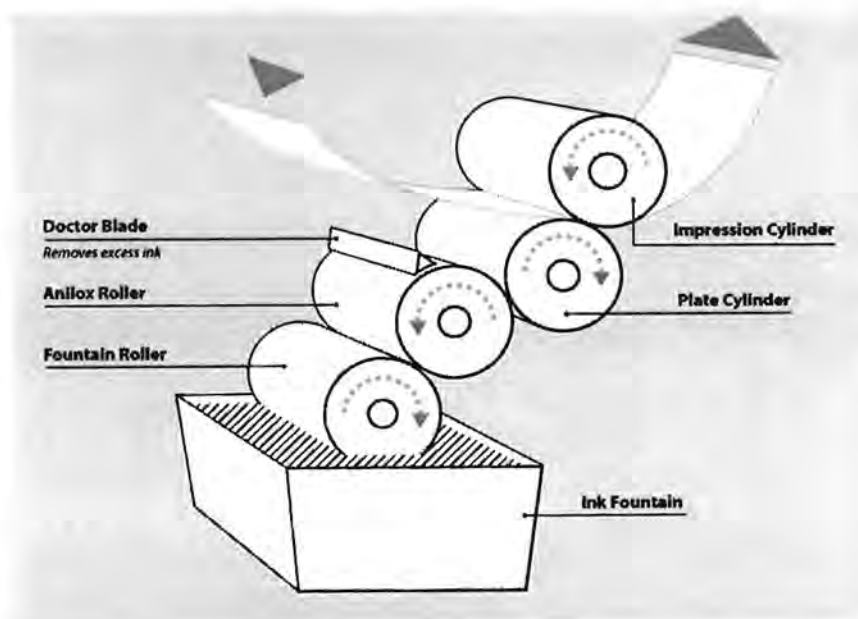
ภาพที่ 7: กระดาษลูกฟูก 7 ชั้น (12, 13, 15)

การพิมพ์เฟล็กโซกราฟฟี (Flexography)

การพิมพ์เฟล็กโซกราฟฟีเป็นระบบการพิมพ์ที่นิยมใช้ในการพิมพ์บรรจุภัณฑ์ประเภทกระดาษมากกว่าการพิมพ์ชนิดอื่น ระบบการพิมพ์เฟล็กโซกราฟฟีนี้ใช้หลักการแม่พิมพ์พื้นนูนที่มีความยืดหยุ่น ตัวอย่างธรรมชาติหรืออย่างสังเคราะห์ และใช้หมึกเหลว โดยหมึกพิมพ์ถูกถ่ายโอนจากรางหมึกผ่านระบบควบคุมปริมาณหมึก (Metering system) ไปยังแม่พิมพ์และวัสดุพิมพ์ตามลำดับ ด้วยแรงกดพิมพ์ที่ไม่มากนัก (Kiss impression) ซึ่งความหลากหลายและความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีนี้ จะเห็นได้จากการออกแบบโครงสร้างเครื่องพิมพ์ ระบบการควบคุมปริมาณหมึก และขั้นตอนการทำแม่พิมพ์ เป็นต้น

เครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟฟีที่มีความคล่องตัวในการใช้งานสูง สามารถใช้พิมพ์บนวัสดุได้หลายประเภท และสามารถพิมพ์หมึกพิมพ์ลงบนวัสดุใช้พิมพ์ที่มีความเรียบไม่มากนัก เช่น กระดาษลูกฟูก ได้ (20, 21) เครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟฟีโดยทั่วไป (ภาพที่ 8) ประกอบด้วย

- รางหมึกและลูกกลิ้งรางหมึก (Ink fountain and fountain roller)
- ลูกกลิ้งแอนนิลอก (Anilox roller)
- โมแม่พิมพ์ (Plate cylinder)
- โมกดพิมพ์ (Impression cylinder)



ภาพที่ 8: องค์ประกอบของเครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟฟีทั่วไป (22)

หลักการทั่วไปของหน่วยพิมพ์เฟล็กโซกราฟฟี ประกอบด้วยลูกกลิ้ง 4 ลูก ได้แก่ ลูกกลิ้งรางหมึก ลูกกลิ้งแอนนิลอก โมแม่พิมพ์ และโมกดพิมพ์ โดยลูกกลิ้งรางหมึกและลูกกลิ้งแอนนิลอกจะทำงานสัมพันธ์

กัน ซึ่งลูกกลิ้งรางหมึกจะทำหน้าที่นำหมึกในรางส่งไปที่ลูกกลิ้งแอนนิลลอก โดยลูกกลิ้งรางหมึกมีพื้นผิวเป็นยางหยุ่นตัว ในขณะที่ลูกกลิ้งแอนนิลลอกเป็นโลหะเคลือบโครเมียมหรือเซรามิก และมีพื้นผิวเป็นบ่อหลุมเล็กๆ หรือที่เรียกว่าบ่อหมึก (ภาพที่ 9) สำหรับรับและจ่ายหมึกพิมพ์ โดยทั่วไปการควบคุมความหนาของชั้นหมึกพิมพ์สามารถควบคุมโดยการติดตั้งใบมีดปาดหมึก (Doctor blade) บนลูกกลิ้งแอนนิลลอก สำหรับปาดหมึกส่วนเกินบนผิวออกไป หากบนลูกกลิ้งแอนนิลลอกไม่มีใบมีดปาดหมึกติดตั้งอยู่ ลูกกลิ้งรางหมึกจะถูกปรับตั้งให้หมุนช้ากว่าลูกกลิ้งแอนนิลลอกเพื่อให้เกิดการรีดเอาหมึกส่วนเกินออก จากนั้นหมึกพิมพ์ที่มีความหนาของชั้นหมึกพิมพ์ที่เหมาะสมจะถูกถ่ายโอนไปที่โมแม่พิมพ์และวัสดุพิมพ์ ตามลำดับต่อไป



ภาพที่ 9: ลูกกลิ้งแอนนิลลอกและภาพขยายของพื้นผิวลูกกลิ้ง (23)

หลุมหรือบ่อหมึกบนผิวลูกกลิ้งแอนนิลลอกจะถูกออกแบบให้มีขนาด หรือความละเอียดแตกต่างกันไป ตามความต้องการปริมาณหมึกของภาพพิมพ์ โดยปกติงานพิมพ์ลายเส้นพื้นทึบหรือพื้นตายที่ต้องการปริมาณหมึกมาก ช่างพิมพ์จะต้องใช้ลูกกลิ้งแอนนิลลอกที่มีขนาดบ่อหมึกใหญ่สามารถจ่ายหมึกได้ปริมาณมาก (ความละเอียดต่ำ) แต่หากเป็นงานพิมพ์ฮาล์ฟโทนละเอียดจะต้องเลือกใช้บ่อหมึกเล็กลงไปตามความละเอียดของงานพิมพ์ ความละเอียดของลูกกลิ้งแอนนิลลอกหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า จำนวนเซลล์ (Cell count) มีหน่วยเป็นจำนวนเซลล์ต่อ 1 หน่วยความยาว เช่น เส้นต่อนิ้ว (Line per inch, lpi) ปริมาตรของบ่อหมึกจะมีความสัมพันธ์แปรผกผันกับความละเอียดของงานพิมพ์ หากความละเอียดมากปริมาตรหมึกจะน้อยลง ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์บนผิววัสดุใช้พิมพ์ เช่น กระดาษ ก็จะน้อยลงไปด้วย

ค่าความละเอียดของลูกกลิ้งแอนนิลลอกที่เลือกใช้จะต้องสัมพันธ์กับความละเอียดการพิมพ์ (จำนวนเส้นสกรีนที่ใช้พิมพ์) โดยปกติจะกำหนดอัตราส่วนความละเอียดของลูกกลิ้งแอนนิลลอกต่อความละเอียดการพิมพ์ ที่ประมาณอย่างน้อย 4 ต่อ 1 แต่ถ้าเป็นงานพิมพ์คุณภาพสูงที่มีการผลิตช่วงน้ำหนักละเอียดระหว่าง 1 - 98 % อาจจะต้องใช้อัตราส่วนสูงขึ้นไปเป็น 9 ต่อ 1

ปัจจุบันการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีมีข้อเด่นเมื่อเปรียบเทียบกับระบบพิมพ์อื่น ด้วยเหตุผลดังนี้ (21)

- หมึกพิมพ์มีทั้งชนิดฐานตัวทำละลายและฐานน้ำ
- หมึกพิมพ์ได้รับการพัฒนาให้สามารถพิมพ์บนวัสดุได้หลากหลายยิ่งขึ้น เช่น กระดาษ ลูกฟูก พลาสติกและฟอยล์ เป็นต้น
- ลูกกลิ้งแอนนิลอกมีความละเอียดมากถึง 1500 เส้นต่อนิ้ว ทำให้ได้งานพิมพ์ที่ละเอียดถึง 300-400 เส้นต่อนิ้ว ด้วยเทคนิคการเจาะร่องลึกด้วยเลเซอร์

แม่พิมพ์เฟล็กโซกราฟี (Flexographic printing plate)

แม่พิมพ์เป็นอีกส่วนหนึ่งที่สำคัญมากในระบบการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี แม่พิมพ์เฟล็กโซกราฟี (ภาพที่ 10) เป็นแม่พิมพ์พื้นนูน ประกอบด้วย ฐานแม่พิมพ์ และส่วนบริเวณภาพที่เป็นพื้นนูนสูงและมีป่าเอียงขึ้นมาจากฐาน มุมที่ฐานของส่วนนูนทำกับแนวระนาบควรจะกว้างพอที่จะรองรับแรงกดพิมพ์ได้โดยไม่ทำให้เกิดการล้ม และต้องไม่กว้างเกินไปจนทำให้รอยต่อกับเมดสรีนข้างเคียงตื้นเขิน



ภาพที่ 10: แม่พิมพ์เฟล็กโซกราฟี (24)

แม่พิมพ์เฟล็กโซกราฟีมีหลายแบบหลายลักษณะ แต่วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์จะเป็นยางสังเคราะห์ที่ไวต่อแสง (Photopolymer) เป็นหลัก มีทั้งแม่พิมพ์ชั้นเดียวและหลายชั้นที่มีชั้นพลาสติกและชั้นฐานด้วย ในการทำแม่พิมพ์ระบบดั้งเดิมจะมีขั้นตอนมากมาย ทั้งการอัดฟิล์มประกบกับแม่พิมพ์ การฉายแสงผ่านฟิล์มลงบนแม่พิมพ์เพื่อทำให้เกิดบริเวณภาพ การฉายแสงด้านหลังเพื่อให้เป็นฐานแม่พิมพ์ และการล้างเพื่อให้บริเวณเกิดเป็นพื้นนูนขึ้นมา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์-ทู-เพลต (Computer-to-plate, CTP) ทำให้สามารถลดขั้นตอนการผลิตที่ยุ่งยาก ควบคุมลำบาก และผิดพลาดได้ง่ายลง โดยการเชื่อมต่อข้อมูลต้นฉบับกับขั้นตอนการทำแม่พิมพ์เข้าด้วยกัน ซึ่งไม่ต้องมีการเตรียมฟิล์มและฉายแสงผ่านฟิล์มอีกต่อไป แม่พิมพ์จะถูกฉายแสงยูวี (Ultraviolet, UV) ซึ่งกำหนดโดยสัญญาณภาพดิจิทัลโดยตรงจากคอมพิวเตอร์ แล้วผ่านการล้าง ทำแห้ง ฉายแสงเพิ่มความแข็งแรงของผิวหน้าแม่พิมพ์ และปรับผิว เสร็จสิ้นทุกกระบวนการภายในเครื่องคอมพิวเตอร์-ทู-เพลตนั่นเอง เทคโนโลยีนี้สามารถช่วยปรับปรุงคุณลักษณะของแม่พิมพ์ให้ดีขึ้นกว่าวิธีดั้งเดิมที่ต้องฉายแสงผ่านฟิล์ม โดยทำให้สามารถผลิตแม่พิมพ์ที่มีความละเอียดสูงได้มากกว่า และผลิตน้ำหนักสีได้ดีกว่าเดิม (21)

หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำ (Flexographic water-based inks)

หมึกพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟีมีองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน คือ สารให้สี (Colorant) สารยึด (Binder) และตัวทำละลาย (Solvent) หมึกพิมพ์มีลักษณะเป็นหมึกเหลวและมีความหนืดต่ำ แห้งตัวด้วยการดูดซับหรือการระเหย โดยที่การเลือกความหนืดของหมึกพิมพ์จะขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น แรงกดพิมพ์ ความเร็ว วัสดุที่ใช้พิมพ์ ชนิดของระบบควบคุมปริมาณหมึก อุณหภูมิ ตัวทำละลายที่ใช้ และความหนาของชั้นหมึกที่ต้องการ

หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำนิยมใช้ในการพิมพ์กระดาษกล่อง เนื่องจากไม่ไวไฟและสามารถแห้งตัวได้เร็วกว่าวัสดุพิมพ์ที่ดูดซับได้ดี สารยึดที่ใช้ต้องสามารถกระจายในน้ำได้ดีในขณะที่เป็นหมึกพิมพ์ แต่เมื่อพิมพ์ลงในวัสดุพิมพ์และแห้งตัวแล้วต้องไม่ละลายน้ำ ซึ่งสารยึดที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือ คาร์บอกซีเลตอะคริลิก (Carboxylated acrylics) (25) หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำมีข้อดีหลายประการ เนื่องจากหมึกพิมพ์มีอัตราการระเหยต่ำ ส่งผลให้มีเสถียรภาพที่ดีและความหนืดคงที่ นอกจากนี้ยังเป็นตัวทำละลายที่ไม่ทำปฏิกิริยากับแม่พิมพ์พอลิเมอร์ ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ไม่ไวไฟ และไม่มึนกลิ่น

Rentzhog และคณะ (26) ศึกษาประสิทธิภาพของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำ พิมพ์บนกระดาษกล่องที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบ 3 ชนิด ที่ผ่านการปรับผิวหน้าที่ระดับต่างๆ ได้แก่ พอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (LDPE) พอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) และพอลิโพรพิลีนชนิดที่มีการจัดเรียงตัว (Oriented polypropylene, OPP) สูตรหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีมีการเติมอะคริลิกอิมัลชัน (Acrylic emulsion) 3 ชนิดที่มีสมบัติแตกต่างกัน ผลพบว่าคุณภาพงานพิมพ์ ความต้านทานการขีดข่วนและการทนต่อการขัดถูขณะเปียก มีความสัมพันธ์กับชนิดอะคริลิกอิมัลชันที่ใช้ ชนิดของวัสดุพิมพ์ และระดับการปรับผิว มีการพบจุดกระดำกระด่างมากในพอลิโพรพิลีน ขณะที่กระดาษกล่องที่เคลือบผิวพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนชนิดที่มีการจัดเรียงตัว พบว่าระดับการขัดถูขณะเปียกต่ำและไม่ทนต่อการขีดข่วน

Olsson และคณะ (27) ศึกษาถึงสมบัติการคงอยู่ของน้ำ (Water retention) ในหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีต่อความมันวาวหลังพิมพ์ โดยเตรียมหมึกพิมพ์ผสมสารสีสีดำและสีน้ำเงินกับสารยึดสองชนิดที่มีสมบัติแตกต่างกัน คือ Emulsion-polymer binder และ Solution-polymer binder จากนั้นตรวจสอบความหนืดและการคงอยู่ของน้ำในหมึกพิมพ์ ทำการพิมพ์บนฟิล์มพอลิเอสเตอร์ (Polyester) ที่เคลือบผิว ตรวจสอบความมันวาวและความเรียบของงานพิมพ์ ผลพบว่า หมึกพิมพ์ผสม Emulsion-polymer binder มีสมบัติการไหลแบบพฤติกรรมแรงเฉือนลดมากกว่าหมึกพิมพ์ผสม Solution-polymer binder การคงอยู่ของน้ำในหมึกพิมพ์มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับความเรียบและความมันวาวของงานพิมพ์ กล่าวคือ เมื่อการคงอยู่ของน้ำในหมึกพิมพ์มีมากขึ้น ความเรียบและความมันวาวของงานพิมพ์ก็จะสูงตามไปด้วย

พอลิแล็กไทด์ (Polylactide)

เป็นที่ทราบกันดีว่าหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีนั้นเหมาะสำหรับการพิมพ์บรรจุภัณฑ์ อย่างไรก็ตามก็ดี หมึกพิมพ์ส่วนใหญ่ที่มาจากสารสังเคราะห์ยังมีปัญหาเรื่องการย่อยสลาย ส่งผลให้เกิดปัญหาเรื่องสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการเลือกใช้องค์ประกอบของหมึกพิมพ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ จึงเป็นเรื่องที่ไม่อาจจะละเลยได้อีกต่อไป

พอลิแล็กไทด์เป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพกลุ่มพอลิเอสเตอร์ โดยใช้วัตถุดิบทางการเกษตรเป็นสารตั้งต้นในการผลิตผ่านกระบวนการหมักเพื่อให้ได้กรดแลคติก แล้วจึงผ่านกระบวนการเปิดวงแหวนของแล็กไทด์มอนอเมอร์ (Monomer) และพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) แบบควบแน่นหรือการเปิดวง พอลิแล็กไทด์มีอุณหภูมิสภาพแก้ว (Glass transition temperature, T_g) 60 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature, T_m) อยู่ในช่วง 150-170 องศาเซลเซียส พอลิแล็กไทด์ มีลักษณะใส สามารถกักกลิ่น และรสชาติได้ดี มีความต้านทานต่อน้ำมันและไขมันสูง สามารถกันการแพร่ผ่านของแก๊สออกซิเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสารเติมแต่งที่ใช้ พอลิแล็กไทด์สามารถนำไปใช้งานได้เช่นเดียวกับพอลิเมอไรพื้นฐานทั่วไปที่มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก พอลิแล็กไทด์มีความคงทนต่อการกระแทก (Impact strength) ต่ำ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride, PVC) ที่ไม่มีการเติมพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) มีความแข็ง ความคงทนต่อการกระแทก และความยืดหยุ่น ใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต (Polyethylene terephthalate, PET) นอกจากนี้พอลิแล็กไทด์ยังมีสมบัติใกล้เคียงกับพอลิสไตรีน (Polystyrene, PS) และสามารถนำไปปรับปรุงให้มีสมบัติใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) หรือพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) ได้ ดังนั้นพอลิแล็กไทด์จึงสามารถนำไปปรับปรุงสมบัติพื้นฐานทั้งด้านการขึ้นรูป และการใช้งานได้เช่นเดียวกับพลาสติกโอเลฟินส์ (Olefins plastics) ที่ผลิตจากกระบวนการทางปิโตรเคมี (28, 29)

Oda และคณะ (30) ได้ใช้เอนไซม์โปรติเอส (Proteases) 56 ชนิด ซึ่งผลิตได้จากแบคทีเรียจำพวก บาซิลลัส โดยเอนไซม์นี้สามารถหาได้ทั่วไปตามท้องตลาด มาทำการทดสอบปฏิกิริยาการย่อยสลายของพอลิเล็กไทด์ จากการทดลองพบว่า เอนไซม์โปรติเอสที่อยู่ในสภาวะกรดและกลาง จะเกิดปฏิกิริยาได้น้อยหรือไม่เกิดปฏิกิริยาเลย ในขณะที่โปรติเอสที่อยู่ในสภาวะเป็นด่าง จะมีจำนวนการย่อยสลายของพอลิเล็กไทด์เกิดเป็นกรดแลคติกได้สูงกว่า

Thellen และคณะ (31) ศึกษาการเติมมอนต์โมริลโลไนต์ (Montmorillonite) ในพอลิเล็กไทด์และทำการเป่าเป็นแผ่นฟิล์ม พบว่าการเติมที่ปริมาณ 5% ส่งผลให้มีแผ่นฟิล์มมีสมบัติการขวางกั้นออกซิเจนเพิ่มขึ้น 48% และการขวางกั้นการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้น 50% เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มพอลิเล็กไทด์ที่ไม่มีการเติมมอนต์โมริลโลไนต์ ผลของสมบัติเชิงกลพบว่าการเติมมอนต์โมริลโลไนต์จะทำให้แผ่นฟิล์มมีค่า Young's modulus เพิ่มขึ้น 20% เมื่อเปรียบเทียบกับขณะที่ยังไม่ได้เติมสารเติมแต่ง และยังทำให้อัตราการย่อยสลายเร็วขึ้นเล็กน้อย

Ouchi และคณะ (32) ศึกษาสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มพอลิเล็กไทด์ผสม Polylactide-grafted dextran ที่สัดส่วน 4:1 พบว่าแผ่นฟิล์มผสมมีอุณหภูมิสภาพแก้วและความเป็นผลึกต่ำลง ในขณะที่ความหนืดเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มพอลิเล็กไทด์ที่ไม่มีการผสม

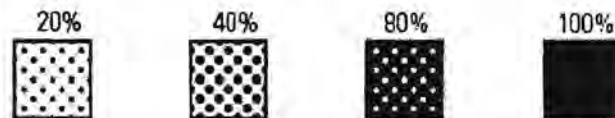
คุณภาพงานพิมพ์ (Print quality)

ในกระบวนการทางการพิมพ์ ก่อนทำการพิมพ์จากภาพต้นฉบับที่เป็นภาพโทนต่อเนื่อง จะต้องมีการแปลงภาพให้เป็นภาพที่มีเพียง 2 ระดับสี คือ จุดดำ (เม็ดสกรีน) บนพื้นขาว ที่เรียกว่าฮาล์ฟโทน (Halftone) (ภาพที่ 11)



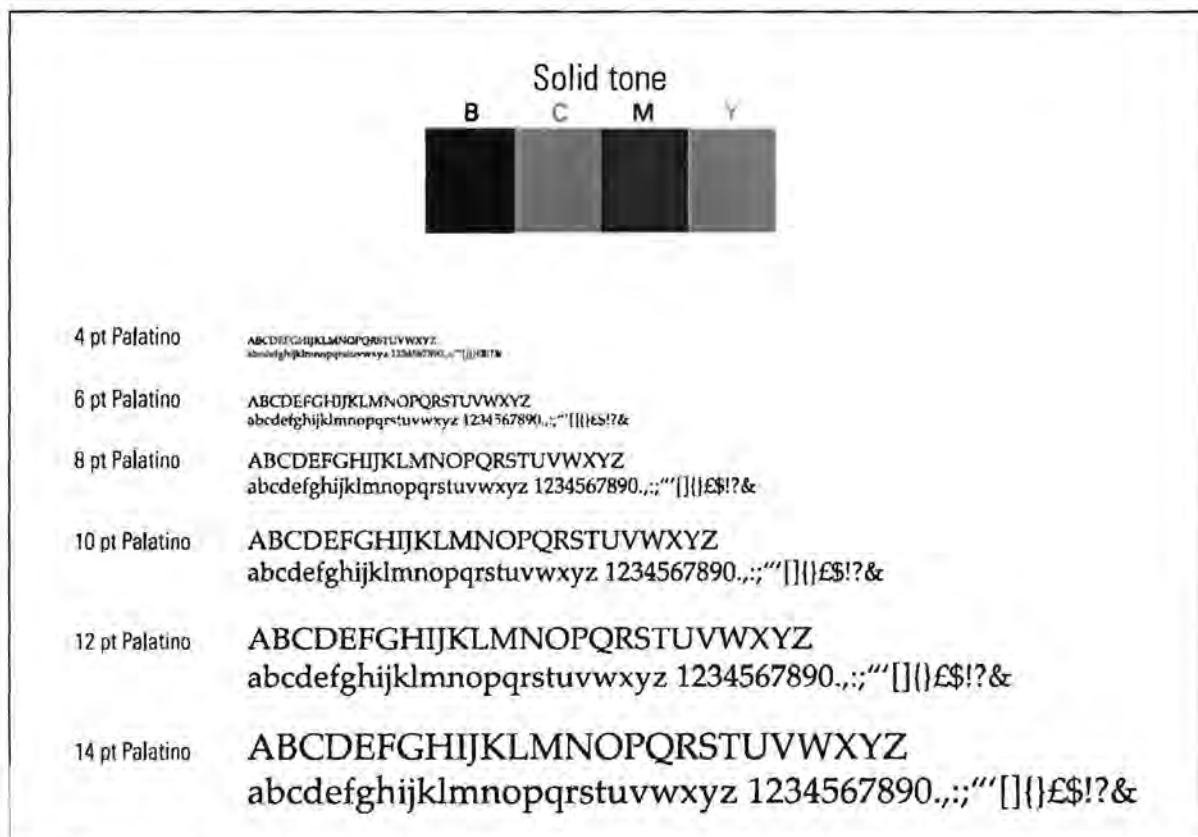
ภาพที่ 11: ภาพโทนต่อเนื่อง (ภาพซ้าย) แปลงเป็นภาพฮาล์ฟโทน (ภาพขวา) (33)

โดยจะแปลงให้เม็ดสกรีนเหล่านั้นมีขนาดใหญ่น้อยไม่เท่ากัน (Amplitude Modulation screening) เพื่อลวงตาให้มองเห็นเป็นสีเทาหลายๆ ระดับได้ หรืออาจแปลงให้เม็ดสกรีนมีขนาดเท่ากันแต่ระยะห่างระหว่างจุดต่างกัน (Frequency Modulation screening) ความถี่ห่างของเม็ดสกรีนทำให้สามารถมองเห็นระดับสีเทาแตกต่างกันออกไปได้ ระดับสีเทาของภาพฮาล์ฟโทนจะเป็นเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เม็ดสกรีนบนพื้นที่ทั้งหมด (ภาพที่ 12) เช่น ฮาล์ฟโทน 20% หมายถึงมีพื้นที่เม็ดสกรีนรวม 20 หน่วย ในทั้งหมด 100 หน่วย



ภาพที่ 12: ตัวอย่างลักษณะของฮาล์ฟโทน (Halftone) ที่ระดับสีเทาต่างๆ (34)

สำหรับภาพที่ไม่มีการแปลงเป็นเม็ดสกรีน สีพื้น ลายเส้นกราฟฟิก ตัวอักษรต่างๆ (ภาพที่ 13) จะเรียกรวมๆ ว่า ภาพลายเส้นหรือภาพพื้นตาย (Solid tone)



ภาพที่ 13: ตัวอย่างลักษณะของพื้นตาย (Solid tone) กราฟฟิกลายเส้น และตัวอักษร (34)

คุณภาพของงานพิมพ์ทั่วไปสามารถพิจารณาตามลักษณะของการพิมพ์ได้เป็น 2 แบบ คือ คุณภาพของพื้นตาย (Solid tone) และ คุณภาพของบริเวณภาพฮาล์ฟโทน (Halftone) ซึ่งมีลักษณะบ่งชี้คุณภาพของงานพิมพ์แตกต่างกัน เช่น บริเวณที่พิมพ์พื้นตาย สามารถพิจารณาคุณภาพงานพิมพ์จากความดำ (Print density หรือ Density) ความเรียบสม่ำเสมอ (Evenness) เป็นต้น (35)

ความดำของพื้นตาย (Print density of solid tone)

การวัดค่าความดำ (D) เป็นการวัดความเข้มสีของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ที่พิมพ์อยู่บนวัสดุใช้พิมพ์ โดยจะวัดสัดส่วนของแสงที่สะท้อนขึ้นมาจากบริเวณพิมพ์ (I) กับแสงสะท้อนขึ้นมาจากบริเวณพื้นวัสดุใช้พิมพ์ซึ่งไม่มีหมึกพิมพ์พิมพ์อยู่ (I_0) หรือก็คือ ค่าแฟกเตอร์การสะท้อนแสง (R) แล้วแปลงเป็นค่า log ดังสมการที่ 1 (34)

$$D = \log 1/R = \log I_0/I \quad (1)$$

ค่าความดำนี้จะสัมพันธ์กับความหนาของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์บนวัสดุพิมพ์ เนื่องจากหมึกพิมพ์โดยทั่วไปมีลักษณะกึ่งโปร่งแสง เมื่อพิมพ์ลงบนวัสดุใช้พิมพ์ ค่าความดำที่ได้จะเป็นค่าความดำของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์รวมกับแสงที่สะท้อนจากผิววัสดุใช้พิมพ์ผ่านขึ้นมาจากชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ ยิ่งชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์หนา ค่าความดำก็จะยิ่งสูงขึ้น แต่จะมีจุดที่ค่าความดำไม่เพิ่มขึ้นอีกต่อไปแม้ว่าชั้นฟิล์มหมึกจะหนาขึ้นอีก นั่นคือ เมื่อหมึกพิมพ์หนาจนสามารถปิดผิววัสดุใช้พิมพ์ได้สนิท แสงไม่สามารถสะท้อนขึ้นมาจากผิววัสดุใช้พิมพ์จนทะลุผิวของหมึกพิมพ์ได้อีก ค่าความดำนั้นจึงเป็นค่าความดำของหมึกพิมพ์อย่างเดียว

ความเรียบสม่ำเสมอของพื้นตาย (Evenness of solid tone)

ความเรียบสม่ำเสมอของพื้นตาย หมายถึง การที่ชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์ปกปิดผิววัสดุใช้พิมพ์ได้ทั่วจนทำให้สีที่มองเห็นมีความเข้มเท่ากันทั่วทุกบริเวณ นั่นก็คือ มีค่าความดำในทุกบริเวณที่มีการพิมพ์พื้นตายเท่ากัน หากวัสดุใช้พิมพ์ เช่น กระดาษ มีความสามารถในการซึมซับของเหลวได้ไม่เท่ากันในแต่ละบริเวณ การควบคุมการพิมพ์ให้หมึกพิมพ์ที่มีลักษณะกึ่งโปร่งแสง เคลือบปิดผิวจนมองเห็นเป็นสีที่สม่ำเสมอ นั้นกระทำได้ยากกว่าการพิมพ์ลงบนวัสดุที่ไม่มีความพรุน เช่น พลาสติก หลังจากหมึกพิมพ์ถูกถ่ายโอนจากแม่พิมพ์ลงบนวัสดุใช้พิมพ์แล้ว หากมองเห็นหมึกที่ถูกดูดซับลงไปรวมกับที่กองเป็นชั้นอยู่บนผิวหน้าจากด้านบนมีความเข้มสีที่เท่ากันทุกบริเวณ ค่าความเรียบสม่ำเสมอของพื้นตายจะสูง หากมีบริเวณที่มองเห็นพื้นผิววัสดุ ทำให้ความเข้มสีต่างออกไปจากบริเวณอื่นยิ่งมาก นั่นคือ ค่าความเรียบสม่ำเสมอของพื้นตายจะยิ่งต่ำลง

สำหรับบริเวณฮาล์ฟโทนนั้น สามารถพิจารณาคุณภาพงานพิมพ์จาก ความดำ (Density) ความเปรียบต่าง (Contrast) ค่าเม็ดสกรีนบวม (Dot Gain) เป็นต้น

ความดำของฮาล์ฟโทน (Print density of halftone)

ภาพฮาล์ฟโทนที่ระดับสีเทา หรือเปอร์เซ็นต์พื้นที่เม็ดสกรีนต่างๆ กัน จะให้ค่าความดำไม่เท่ากัน ในบริเวณพิมพ์โทนสว่าง (Highlight tone) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์พื้นที่เม็ดสกรีนน้อยๆ เช่น 10%-20% ค่าความดำจะต่ำ เนื่องจากมีปริมาณหมึกพิมพ์ต่อพื้นที่ต่ำ ในทางกลับกันช่วงโทนเงาเข้ม (Shadow tone) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์พื้นที่พิมพ์มาก เช่น 80%-90% ค่าความดำก็จะสูง ทั้งนี้ค่าความดำของบริเวณฮาล์ฟโทนจะรวมความดำของพื้นที่พิมพ์ ซึ่งเป็นเม็ดสกรีน และบริเวณไม่มีหมึกพิมพ์ หรือพื้นผิวกระดาษบริเวณระหว่างเม็ดสกรีนแต่ละเม็ดเข้าด้วยกัน

ความเปรียบต่างของฮาล์ฟโทน (Contrast of halftone)

การพิจารณาความเปรียบต่างของงานพิมพ์ฮาล์ฟโทน เป็นการพิจารณาความสัมพันธ์ของค่าความดำพื้นตาย (100% สกรีน) กับค่าความดำบริเวณโทนเข้มของภาพ (ส่วนใหญ่จะใช้บริเวณ 70% สกรีน) ซึ่งสัมพันธ์กับการบวมของเม็ดสกรีน กล่าวคือ หากค่าความเปรียบต่างของฮาล์ฟโทนบริเวณ 100% และ 70% ของงานพิมพ์หนึ่งมีค่ามากกว่าอีกงานพิมพ์หนึ่ง การไล่โทนของภาพฮาล์ฟโทนที่ได้จะมีความสวยงามกว่างานพิมพ์ที่มีค่าความเปรียบต่างต่ำ เนื่องจากการที่โทนเงาเข้มมีความเปรียบต่างสูง รายละเอียดในส่วนเงาจะยังคงอยู่ ภาพดูมีมิติและรายละเอียดครบถ้วนมากกว่า หากมีความเปรียบต่างต่ำในช่วงเงาจนไม่สามารถแยกรายละเอียดในช่วง 70% ถึง 100% ได้ ภาพจะดูแบนและรายละเอียดหายไปเนื่องจากมีความเข้มสีเข้มเท่าๆ กันหมด

การที่พิจารณาค่าความเปรียบต่างระหว่าง 70% และ 100% หรือช่วงโทนเงาเข้มเป็นหลัก ก็เพราะโดยปกติการเกิดเม็ดสกรีนบวมในการพิมพ์ฮาล์ฟโทน ทำให้ในทุกช่วงโทนมีความดำเพิ่มขึ้น เมื่อเกิดเม็ดสกรีนบวมในช่วงโทนเข้ม จะทำให้บริเวณช่องว่างระหว่างเม็ดสกรีนลดน้อยลงกว่าที่ควรจะเป็น และหากมีการเกิดเม็ดสกรีนบวมมากๆ เปอร์เซ็นต์โทนเข้มๆ เช่น 70% ก็อาจกลายเป็น 100% ไปได้ ส่งผลให้ช่วงโทนตั้งแต่ 70% ถึง 100% จึงกลายเป็น 100% เท่ากันทั้งหมด ไม่มีความแตกต่างกัน รายละเอียดของภาพจึงหายไป ในขณะที่ในช่วงโทนสว่างยังคงมีรายละเอียดและมีโทนสีแตกต่างกันในแต่ละช่วงเปอร์เซ็นต์สกรีนเพียงแต่มีสีเข้มขึ้นเท่านั้น

การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความเปรียบต่าง (K) ทำโดยการหาความแตกต่างระหว่างค่าความดำของบริเวณพื้นตาย (D_v) และค่าความดำบริเวณฮาล์ฟโทน (D_h)หารด้วยค่าความดำของบริเวณพื้นตาย (D_v) คูณด้วย 100 จะได้ค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังสมการที่ 2 (34)

$$K[\%] = \frac{D_V - D_R}{D_V} 100\% \quad (2)$$

โดยปกติค่าความดำบริเวณฮาล์ฟโทน (D_R) ที่เหมาะกับการนำมาหาค่าความเปรียบต่าง จะเป็นความดำของบริเวณเริ่มโทนเงา เช่น 70 % หรือ 75%

ค่าเม็ดสกรีนบวม (Dot gain)

เปอร์เซ็นต์เม็ดสกรีนบวม เป็นค่าความต่างระหว่างเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เม็ดสกรีนต้นฉบับและพื้นที่เม็ดสกรีนบนกระดาษ ระหว่างขั้นตอนการพิมพ์ มีปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้พื้นที่หมึกพิมพ์ในบริเวณภาพฮาล์ฟโตนงานพิมพ์เพิ่มขึ้นจากที่กำหนดไว้ในต้นฉบับ ค่าเปอร์เซ็นต์เม็ดสกรีนบวมหรือค่าโตนที่เพิ่มขึ้น (Z [%]) นั้นสามารถหาได้จากผลต่างของเปอร์เซ็นต์พื้นที่ของเม็ดสกรีนที่ปรากฏบนงานพิมพ์ (F_D [%]) กับพื้นที่เม็ดสกรีนตั้งต้นที่กำหนด (F_F [%]) เช่น เปอร์เซ็นต์โตนบนฟิล์มก่อนทำแม่พิมพ์ หรือหากเป็นระบบคอมพิวเตอร์เพลท ค่าเปอร์เซ็นต์โตนตั้งต้นก็จะเป็นค่าเปอร์เซ็นต์สกรีนหลังจากการแยกสี ดังแสดงในสมการที่ 3 (34)

$$Z[\%] = F_D[\%] - F_F[\%] \quad (3)$$

ค่าการเกิดเม็ดสกรีนบวมจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น สมบัติของผิวหน้าวัสดุใช้พิมพ์ การซึมและแห้งตัวของหมึกพิมพ์บนวัสดุใช้พิมพ์ สมบัติของไหลของหมึกพิมพ์ สมบัติของแม่พิมพ์ แรงกดพิมพ์ เป็นต้น เมื่อจะทำการพิมพ์ ช่างพิมพ์จำเป็นจะต้องทราบปัจจัยเหล่านี้ และทำการปรับแก้ให้เกิดเม็ดสกรีนบวมน้อยที่สุด ในการพิมพ์เฟล็กโซกราฟฟี โดยปกติค่าการบวมของเม็ดสกรีนสูงสุดจะอยู่ที่บริเวณโตนสว่าง (Highlight tone) หรือ ประมาณเปอร์เซ็นต์โตนที่ 10%-15% (20)

การประเมินคุณภาพการพิมพ์ (Print quality evaluation)

ก่อนการพิมพ์จริงโดยเครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟฟี อาจทำการทดสอบแม่พิมพ์และหมึกพิมพ์เพื่อหาสภาวะการพิมพ์ที่เหมาะสมสำหรับวัสดุการพิมพ์ โดยใช้เครื่องทดสอบพิมพ์ในระดับห้องปฏิบัติการ เช่น เครื่องทดสอบการพิมพ์ได้สำหรับระบบการพิมพ์เฟล็กโซกราฟฟี IGT F1 ดังแสดงในภาพที่ 14 (36) ซึ่งจะจำลองหน่วยพิมพ์ขึ้นพื้นฐาน อันประกอบด้วยลูกกลิ้งแอนนิลลอก ไบมีดปาดหมึก โมแม่พิมพ์ และโมกดพิมพ์ รวมถึงสามารถปรับตั้งแรงกดของไบมีดปาดหมึก และแรงกดพิมพ์ระหว่างแม่พิมพ์กับวัสดุใช้พิมพ์ได้

ด้วย แต่ไม่มีส่วนจ่ายหมึก เนื่องจากใช้วิธีหยดหมึกพิมพ์ลงด้านบนบริเวณระหว่างใบมีดปาดกับลูกกลิ้ง แอนนิลอกแทนเมื่อจะทำการพิมพ์



ภาพที่ 14: ตัวอย่างเครื่องทดสอบการพิมพ์ได้สำหรับระบบการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี IGT F1 (36)

อุปกรณ์วัดค่าบ่งชี้คุณภาพของงานพิมพ์มีหลายชนิด ชนิดที่นิยมใช้และสามารถวัดและคำนวณค่าบ่งชี้คุณภาพของงานพิมพ์ได้หลากหลาย คือ เครื่องวัดความดำ (Densitometer) (ภาพที่ 15) ซึ่งสามารถใช้วัดค่าความดำของภาพพิมพ์พื้นตายและฮาล์ฟโทน เพื่อคำนวณและวิเคราะห์คุณภาพของงานพิมพ์ค่าอื่นๆ เช่น ช่วงความดำ ความเปรียบต่าง หรือ ค่าเม็ดสกรีนบวม ต่อไปได้



ภาพที่ 15: ตัวอย่างเครื่องวัดความดำ IHARA R730 Color reflection densitometer (37)

ลักษณะบ่งชี้คุณภาพของงานพิมพ์บางอย่าง เช่น ความเรียบสม่ำเสมอของพื้นตาย จะไม่มีวิธีการมาตรฐานในการวัด ส่วนใหญ่จะพิจารณาด้วยตา หรืออาจใช้วิเคราะห์ภาพสแกนจากเครื่องกราฟภาพ

(Scanner) (ภาพที่ 16) คำนวณจำนวนพิกเซลที่มีค่าระดับสีเทาไม่แตกต่างกันว่ามีอย่างน้อยเท่าใดในหนึ่งพื้นที่ หากมีค่าระดับสีเทาเท่ากันทุกพิกเซลแสดงว่ามีความเรียบสม่ำเสมอ 100 %



ภาพที่ 16: ตัวอย่างเครื่องกราดแบบแท่นราบ CanoScan LiDE60 flatbed scanner (38)

การทดลอง

อุปกรณ์

- เครื่องบดเยื่อ (Valley beater) ยี่ห้อ Universal Engineering รุ่น UEC-2018A บริษัท Universal Engineering Corporation ประเทศอินเดีย
- เครื่องทำแผ่นกระดาษ (Sheet former) ยี่ห้อ PTI รุ่น RK-2A KWT บริษัท Paper Testing Association ประเทศออสเตรเลีย
- เครื่องหาสภาพกระดาษได้ (Freeness tester) ยี่ห้อ Regmed รุ่น CF/A บริษัท Regmed ประเทศบราซิล
- เครื่องวิเคราะห์เส้นใย (Fiber quality analyzer, FQA) ยี่ห้อ Optest รุ่น LDA02 บริษัท Optest Equipment Inc. ประเทศแคนาดา
- เครื่องหาความชื้น (Moister balance) ยี่ห้อ Kett รุ่น FD-600 บริษัท Kett Electric Laboratory ประเทศญี่ปุ่น
- เครื่องวัดความหนา (Thickness tester) ยี่ห้อ Frank ประเทศเยอรมนี
- เครื่องวัดความต้านทานการซึมอากาศ (Air permeability tester) ยี่ห้อ Gurley บริษัท Gurley Precision Instrument ประเทศเยอรมนี
- เครื่องวัดความเรียบ (Smoothness tester) ยี่ห้อ Toyo Seiki รุ่น Digi-Bekk บริษัท Toyo Seiki Co., Ltd. ประเทศญี่ปุ่น
- เครื่องวัดความขาวสว่างและความทึบแสง (Brightness and Opacity tester) ยี่ห้อ Technidyne รุ่น Color-Touch PC บริษัท Technidyne Corporation ประเทศสหรัฐอเมริกา
- เครื่องวัดความต้านทานแรงดันทะลุ (Bursting tester) ยี่ห้อ L&W รุ่น SE 002 บริษัท Lorentzen & Wettre ประเทศสวีเดน
- เครื่องวัดค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile tester) ยี่ห้อ Toyo Seiki รุ่น Stograph E-S บริษัท Toyo Seiki Co., Ltd. ประเทศญี่ปุ่น
- เครื่องวัดค่าความต้านทานต่อแรงฉีก แบบ Pendulum (Tear tester) ยี่ห้อ Thwing Albert รุ่น Protear บริษัท Thwing-Albert Instrument Company ประเทศสหรัฐอเมริกา
- เครื่องวัดแรงกด (Crush tester) ยี่ห้อ Thwing Albert บริษัท Thwing-Albert Instrument Company ประเทศสหรัฐอเมริกา
- อุปกรณ์วัดค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษ (Cobb tester) ยี่ห้อ Regmed บริษัท Regmed ประเทศบราซิล

- เครื่องเคลือบแบบอัตโนมัติ (K control coater) ยี่ห้อ RK รุ่น 202 บริษัท RK Print Coat Instruments, Ltd. ประเทศอังกฤษ
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ยี่ห้อ JOEL รุ่น JSM-5410LV บริษัท JOEL corporation ประเทศเยอรมนี
- กล้องจุลทรรศน์ ยี่ห้อ Olympus รุ่น SZH10 บริษัท Olympus Optical จำกัด ประเทศญี่ปุ่น
- เครื่องวัดมุมสัมผัสแบบพกพา (Pocket contact angle goniometer) ยี่ห้อ Fibro รุ่น PG-3 บริษัท Fibro System AB ประเทศสวีเดน
- เครื่องทดสอบแรงตึงผิว (Surface tensiometer) ยี่ห้อ Kruss รุ่น K8 บริษัท Kruss GmbH ประเทศเยอรมนี
- เครื่องทดสอบความหนืด (Viscometer) ยี่ห้อ Brookfield รุ่น DV III บริษัท Brookfield Engineering Laboratories, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา
- เครื่องทดสอบการพิมพ์ได้ (Printability tester) ยี่ห้อ IGT รุ่น F1 บริษัท IGT Texting System ประเทศเนเธอร์แลนด์
- เครื่องวัดความดำ (Color Reflection Densitometer) ยี่ห้อ IHARA รุ่น R730 บริษัท Ihara Electronic Industries Co., Ltd. ประเทศญี่ปุ่น
- เครื่องกราดแบบแท่นราบ (Flatbed scanner) ยี่ห้อ Canon รุ่น CanoScan LiDE60 บริษัท Canon Inc. ประเทศญี่ปุ่น
- เครื่องวัดความมันวาว (Gloss meter) ยี่ห้อ BYK-Gardner รุ่น Micro-gloss 75^o บริษัท BYK-Gardner GmbH ประเทศเยอรมนี
- เครื่องทดสอบการถอนผิว (Picking tester) ยี่ห้อ IGT รุ่น IGT Reptest บริษัท IGT Reptest B.V. ประเทศเนเธอร์แลนด์
- เครื่องตรวจสอบการขัดถู (Rubbing tester) ยี่ห้อ Daiei Kagaku Seiki รุ่น RT-200 บริษัท Daiei Kagaku Seiki Mfg. จำกัด ประเทศญี่ปุ่น
- เครื่องวัดสเปกตรัมสี (Spectrophotometer) ยี่ห้อ X-Rite รุ่น SP62 บริษัท X-Rite ประเทศสหรัฐอเมริกา
- เครื่องปั่นกวน (Overhead stirrer) ยี่ห้อ IKA รุ่น RW 20 บริษัท IKA[®] Werke GmbH ประเทศเยอรมนี
- ตู้อบ (Oven) ยี่ห้อ MMM รุ่น Venticell บริษัท MMM MedCenter ประเทศเยอรมนี
- เครื่องชั่ง (Balance) ทศนิยมสองตำแหน่ง ยี่ห้อ AND รุ่น GX-30K บริษัท A&D Co., Ltd. ประเทศญี่ปุ่น

- เครื่องชั่ง (Balance) ทศนิยมสามตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น PG1003-S บริษัท Mettler Toledo (Schweiz) GmbH ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
- เครื่องชั่งละเอียด (Analytical balance) ยี่ห้อ Ohaus รุ่น AR2140 บริษัท Ohaus Corporation ประเทศสหรัฐอเมริกา
- เครื่องชั่งละเอียด (Analytical balance) ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น PM2500 บริษัท Mettler Toledo (Schweiz) GmbH ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
- เครื่องชั่งละเอียด (Analytical balance) ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น AB204-S บริษัท Mettler-Toledo (Schweiz) GmbH ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
- เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
- กระดาษกรอง (Filter paper)
- ไปเปต (Pipet)
- บิวเรต (Buret)
- โปรแกรม Photoshop

วัสดุและสารเคมี

- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) ยี่ห้อ Ajax ประเทศออสเตรเลีย
- เม็ดสีสีดำ (Black pigment) ยี่ห้อ Clariant ประเทศไทย
- พอลิแล็กไทด์ (Polylactide) ยี่ห้อ Sigma-Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา
- พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVC) ยี่ห้อ Ajax ประเทศออสเตรเลีย
- พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG) ยี่ห้อ Panreac Sintesis ประเทศสเปน
- สารกันซึมอัลคิลคีตินไดเมอร์ (Alkyl ketene dimer, AKD) ยี่ห้อ Zhejiang Cathaya ประเทศจีน
- แป้งประจุบวก (Cationic starch) บริษัท เยนเนวัล สตาร์ช จำกัด ประเทศไทย
- เยื่อเชิงพาณิชย์บริสุทธิ์
 - + เยื่อจากไม้เนื้ออ่อนหรือเยื่อใยยาว (Softwood, SW) จากสนผสม บริษัท Crofton ประเทศแคนาดา
 - + เยื่อจากไม้เนื้อแข็งหรือเยื่อใยสั้น (Hardwood, HW) จากยูคาลิปตัส บริษัท แอ็ดวานซ์ อะโกร จำกัด (มหาชน) ประเทศไทย
- เยื่อกระดาษจากปาล์มน้ำมันที่ผลิตได้จากส่วนโคนกาบใบ (ดังแสดงในภาพที่ 17) โดยการใช้กรดต้มเยื่อแบบโซดา คือ ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) เป็นสารเคมีใน

การต้มเยื่อเพียงอย่างเดียว ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เท่ากับ 25% ของน้ำหนักชิ้นไม้แห้ง ต้มเยื่อที่อุณหภูมิ 140 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ซึ่งเป็นผลการทดลองที่ดีที่สุดเมื่อใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์และเวลาในการต้มเยื่อต่างๆ กัน โดยภาพรวมของผลการทดลองที่ได้ซึ่งแสดงถึงผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์และเวลาในการต้มเยื่อที่มีต่อสมบัติของเยื่อและกระดาษที่ผลิตได้จากปาล์มน้ำมันนั้น จะแสดงอยู่ในส่วนของผลการทดลองต่อไป



ภาพที่ 17: โคนกาบใบของต้นปาล์มน้ำมัน (Sheathing base of oil palm)

- กระดาษลูกฟูกเกาหน้าเดียวไม่มีการพิมพ์
- กระดาษลูกฟูกหน้าเดียว (Single face) บริษัท ปัญจพลไฟเบอร์คอนเทนเนอร์ จำกัด ประเทศไทย เพื่อให้ประกบกับกระดาษผิวกล่องตัวอย่างในการทดสอบกระดาษลูกฟูก
- กระดาษเหนียว (Kraft paper) น้ำหนักมาตรฐาน 125 กรัมต่อตารางเมตร บริษัท Siam Kraft Industry จำกัด ประเทศไทย
- แม่พิมพ์เฟล็กโซกราฟีพอลิเมอร์ (Flexographic polymer plate) (ระบบคอมพิวเตอร์ทูเพลท) บริษัท แม่พิมพ์ จำกัด ประเทศไทย โดยแม่พิมพ์หนา 1.7 มิลลิเมตร ออกแบบให้มีบริเวณพิมพ์พื้นตายและฮาล์ฟโทน ที่ความละเอียดการพิมพ์ 30, 50, 65 และ 85 เส้นต่อนิ้ว (line per inch, lpi)
- หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสีดำ Aqualox 92 Black บริษัท Toyo Ink (Thailand) จำกัด ประเทศไทย
- หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสีดำที่ผลิตจากพอลิแล็กไทด์ ซึ่งเป็นหมึกพิมพ์ชีวภาพ สำหรับการเตรียมหมึกและสมบัติของหมึกที่ผลิตได้ รวมถึงการนำหมึกที่ผลิตได้ไปพิมพ์ลงบนกระดาษที่ผลิตได้จากปาล์มน้ำมัน การวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์ที่ได้นั้น ได้รวบรวมอยู่ใน

รายงานฉบับสมบูรณ์ปีงบประมาณ พ.ศ. 2551 ในส่วนของการเตรียมหมักเฟล็กโซกราฟีฐานน้ำจากพอลิแล็กไทด์ และการวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์

วิธีการทดลอง

สำหรับการดำเนินงานในโครงการวิจัยในปีงบประมาณ พ.ศ. 2552 นั้น ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้คือ

ส่วนที่ 1: เป็นการเปรียบเทียบสมบัติของหมักพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำจากพอลิแล็กไทด์ที่ผลิตได้ ซึ่งเป็นหมักพิมพ์ชีวภาพกับหมักพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำเชิงพาณิชย์ เมื่อพิมพ์ลงบนกระดาษเหนียวเชิงพาณิชย์

ส่วนที่ 2: เป็นการทดสอบการย่อยสลายของหมักพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำจากพอลิแล็กไทด์ที่ผลิตได้ที่พิมพ์ลงบนกระดาษจากปาล์มน้ำมัน ซึ่งเป็นการศึกษาต่อเนื่องมาจากปีงบประมาณ พ.ศ. 2551

ส่วนที่ 3: เป็นการทดลองผลิตกระดาษผิวกล่องลูกฟูกจากเยื่อเชิงพาณิชย์ผสมกับเยื่อปาล์มน้ำมัน ที่ผ่านการบดเยื่อแล้วในสัดส่วนต่างๆ เพื่อให้ได้สมบัติที่ใกล้เคียงหรือดีกว่ากระดาษลูกฟูกจากเยื่อเชิงพาณิชย์ล้วน

ส่วนที่ 4: เป็นการทดสอบสมบัติเชิงบรรจุน้ำของกระดาษผิวกล่องลูกฟูกที่ผลิตได้จากเยื่อเชิงพาณิชย์ผสมกับเยื่อปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบดเยื่อแล้วในสัดส่วนต่างๆ

ส่วนที่ 5: เป็นการวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์หลังจากที่ได้นำกระดาษผิวกล่องลูกฟูกที่ผลิตจากเยื่อเชิงพาณิชย์ผสมกับเยื่อปาล์มน้ำมันมาทดลองพิมพ์ด้วยหมักเชิงพาณิชย์

วิธีการทดลองส่วนที่ 1: การเปรียบเทียบสมบัติของหมักพิมพ์เฟล็กโซกราฟีที่ผลิตได้กับหมักพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์

1. การเตรียมหมักพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำจากพอลิแล็กไทด์ ซึ่งเป็นหมักพิมพ์ชีวภาพ
 - 1.1 เตรียมสารยัดพอลิแล็กไทด์อิมัลชัน โดยปั่นกวนของผสมพอลิแล็กไทด์เรซิน (10-15% ของน้ำหนักรวม) และพอลิเอทิลีนไกลคอล (10% ของน้ำหนักรวม) ในสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (5-6% ของน้ำหนักรวม) และสารลดแรงตึงผิว (1% ของน้ำหนักรวม) ปั่นกวนของผสมด้วยเครื่องปั่นกวนที่ความเร็วสูงประมาณ 600-800 rpm เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
 - 1.2 เตรียมหมักพิมพ์ชีวภาพฐานน้ำสำหรับการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี โดยผสมสารสีสีด้ากับสารยัดจากพอลิแล็กไทด์อิมัลชันที่ผลิตได้จากข้อ 1.1 โดยให้มีปริมาณสารสี 30%

ของน้ำหนักรวม บั่นกวนด้วยเครื่องบั่นกวนจนของผสมมีความเข้ากันได้ดี จากนั้นตรวจสอบสมบัติของหมึกพิมพ์ ดังนี้

- ตรวจสอบความหนืดของหมึกพิมพ์
 - ตรวจสอบความหนืดของหมึกพิมพ์ด้วยเครื่อง Brookfield viscometer รุ่น DV III โดยตรวจวัดความหนืดที่อัตราเฉือน 2.9 ถึง 72.5 s⁻¹ ที่อุณหภูมิ 25 °C
 - ตรวจสอบแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์
 - ตรวจสอบแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ด้วยเครื่อง Surface tensiometer รุ่น K8 ใช้วงแหวนแพลททินัม (Du Nouy method) ที่อุณหภูมิห้อง
 - ตรวจสอบปริมาณของแข็ง (%Solids content) ในหมึกพิมพ์
2. ทดสอบพิมพ์บนกระดาษเหนียวเชิงพาณิชย์ด้วยหมึกพิมพ์ที่เตรียมจากข้อที่ 1 และหมึกพิมพ์สีดำเชิงพาณิชย์ด้วยเครื่องเคลือบแบบอัตโนมัติ ที่ความหนาหมึกพิมพ์ขณะเปียก 4, 12 และ 24 ไมโครเมตร นำกระดาษที่ผ่านการพิมพ์ไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำไปตรวจสอบสมบัติของงานพิมพ์ ดังนี้
- ตรวจสอบลักษณะของชั้นหมึกพิมพ์บนกระดาษด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
 - ตรวจสอบความมันวาวของงานพิมพ์
 - นำงานพิมพ์ที่ผลิตได้ที่ความหนาแตกต่างกัน มาตรวจสอบความมันวาวด้วยเครื่องวัดความมันวาวที่มุม 75 องศา
 - ตรวจสอบความต้านทานต่อการขีดถู
 - นำงานพิมพ์ที่ผลิตได้ที่ความหนาแตกต่างกัน มาตรวจสอบการขีดถูด้วยเครื่องตรวจสอบการขีดถู ตามมาตรฐาน JIS P 8136 โดยภาวะการทดสอบคือ น้ำหนักกดทับบนงานพิมพ์ 500 กรัม และขีดถูงานพิมพ์จำนวน 100 ครั้ง จากนั้นนำงานพิมพ์ที่ผ่านการขีดถูแล้วมาตรวจวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมสี สภาวะ D50 2 องศา (SPIN Mode) แล้วหาค่าความแตกต่างสี (ΔE_{ab}^*) ของค่าสีบริเวณก่อนและหลังขีดถู
 - ตรวจสอบความต้านทานการถอนผิวของงานพิมพ์
3. นำหมึกพิมพ์ที่เตรียมจากข้อที่ 1 และหมึกพิมพ์สีดำเชิงพาณิชย์มาทดสอบพิมพ์บนกระดาษเหนียวเชิงพาณิชย์โดยใช้เครื่องทดสอบการพิมพ์ได้ IGT F1 (ภาพที่ 14) ใช้แม่พิมพ์และลูกกลิ้งแอนิล็อกความละเอียด 152 เส้นต่อนิ้ว (lpi) โดยภาวะการพิมพ์ที่ใช้คือ แรงกดลูกกลิ้งแอนิล็อก 200 นิวตัน แรงกดพิมพ์ 150, 250, 350 และ 450 นิวตัน และความเร็วในการพิมพ์ 0.3 เมตรต่อวินาที จากนั้นนำงานพิมพ์ที่ได้ไปตรวจสอบสมบัติของงานพิมพ์ ดังนี้

- ตรวจสอบค่าความดำของงานพิมพ์
นางงานพิมพ์ที่ผลิตได้มาตรวจวัดค่าความดำด้วยเครื่องวัดความดำ (ภาพที่ 15) ที่บริเวณพื้นตายและบริเวณพื้นที่เม็ดสกรีนร้อยละ 50 โดยค่าความดำที่วัดได้เป็นค่าผลต่างของค่าความดำบริเวณภาพและบริเวณไม่ใช่ภาพ
- ตรวจสอบคุณภาพเส้นของงานพิมพ์
นางงานพิมพ์ของเส้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร มาตรวจวัดขนาดของเส้นที่เปลี่ยนแปลงไปด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์

วิธีการทดลองส่วนที่ 2: การทดสอบการย่อยสลายของหมึกพิมพ์

นำหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำสีดำที่ผลิตจากพอลิแล็กไทด์ที่ผลิตได้มาทดสอบพิมพ์บนกระดาษจากปาล์มน้ำมันสองชนิด ได้แก่ กระดาษที่มีการใส่สารกันซึม AKD ที่ 0.1 และ 0.3 % ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ ด้วยเครื่องเคลือบอัตโนมัติพิมพ์ด้วยความเร็ว 0.12 เมตรต่อวินาที โดยมีความหนาหมึกพิมพ์ขณะเปียก 24 ไมโครเมตร จากนั้นทำการอบที่อุณหภูมิประมาณ 80 °C เป็นเวลา 30 นาที

ทำการทดสอบโดยฝังงานพิมพ์ทั้งสองชนิดขนาด 10x10 เซนติเมตร ลงในถังที่บรรจุดินในระดับความสูงจากพื้นถึงอย่างน้อยประมาณ 1 ฟุต แล้วฝังกลับด้วยดินชนิดเดิมเพิ่มอีก 1 ฟุต จากปากถัง ปิดฝาถังแล้วเก็บไว้ในบริเวณที่แห้ง ไม่ให้โดนฝนหรือโดนน้ำ จากนั้นทำการขุดและนางงานพิมพ์บนกระดาษจากปาล์มน้ำมันทั้งสองชนิดออกมาตรวจสอบการย่อยสลายด้วยภาพถ่ายทุกๆ 1 เดือน (หมายเหตุ: ผลการทดลองที่ได้จากเดือนที่ 1 และเดือนที่ 2 นั้นได้แสดงอยู่ในรายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2551 แล้ว อย่างไรก็ตามเพื่อความเข้าใจที่ต่อเนื่อง การแสดงผลการทดลองที่ได้ในรายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2552 ฉบับนี้จะรวมถึงผลการทดลองที่ได้จากสองเดือนแรกด้วย)

วิธีการทดลองส่วนที่ 3: การทดลองผลิตกระดาษผิวกล่องลูกฟูกจากเยื่อเชิงพาณิชย์ผสมกับเยื่อปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบดเยื่อแล้วในสัดส่วนต่างๆ

ตอนที่ 1: การหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการแทนที่เยื่อเชิงพาณิชย์ด้วยเยื่อปาล์มน้ำมัน

1. นำส่วนโคนกาบใบของต้นปาล์มน้ำมันมาสับเป็นชิ้นไม้ขนาดเล็ก จากนั้นนำชิ้นไม้ไปหาค่าความชื้น เพื่อคำนวณปริมาณน้ำหนักแห้งที่ใช้ในการทดลอง
2. นำชิ้นไม้มาทำการต้มเยื่อโดยใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 15%, 20% และ 25% ของน้ำหนักชิ้นไม้แห้ง เป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 140 °C จากนั้นนำเยื่อที่ได้ไปล้างให้สะอาด

3. นำเยื่อปาล์มน้ำมันที่ได้มาวิเคราะห์หาลักษณะของเส้นใยที่ได้และองค์ประกอบทางเคมี จากนั้นนำเยื่อที่เหลือไปไปบดตามมาตรฐาน TAPPI T 227 จนได้ค่าสภาพระบายได้ (Freeness) เท่ากับ 300 ± 30 มิลลิลิตร
4. นำเยื่อปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบดแล้วไปขึ้นแผ่นทดสอบหรือแผ่นกระดาษ ตามมาตรฐาน ISO 5269-2 ให้มีน้ำหนักมาตรฐาน 75 กรัมต่อตารางเมตร จากนั้นนำกระดาษจากปาล์มน้ำมันไปทดสอบสมบัติดังนี้
 - ความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile strength) ตามมาตรฐาน TAPPI T 494
 - ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (Bursting strength) ตามมาตรฐาน TAPPI T 403
5. นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาภาวะการผลิตเยื่อปาล์มที่เหมาะสมต่อไป
6. ทำการผลิตเยื่อปาล์มน้ำมันโดยใช้ภาวะที่เหมาะสมที่หาได้ เพื่อนำเยื่อปาล์มน้ำมันไปใช้ในการผสมกับเยื่อเชิงพาณิชย์สำหรับผลิตกระดาษผิวกล่องลูกฟูก
7. ทำการแยกบดเยื่อกระดาษจากปาล์มน้ำมันและเยื่อเชิงพาณิชย์ซึ่งประกอบไปด้วยเยื่อใยสั้น (HW) เยื่อใยยาว (SW) และกล่องกระดาษลูกฟูกเก่า (OCC) ด้วยเครื่องบดเยื่อ ตามมาตรฐาน TAPPI T 227 จนได้ค่าสภาพระบายได้ (Freeness) เท่ากับ 300 ± 30 มิลลิลิตร
8. นำเยื่อกระดาษจากปาล์มน้ำมันและเยื่อเชิงพาณิชย์ที่บดแล้วชนิดต่างๆ มาผสมกันเพื่อผลิตกระดาษผิวกล่องลูกฟูก ตามสูตรต่างๆ ดังนี้
 - สูตรที่ 1 (สูตรกระดาษผิวกล่องลูกฟูกเชิงพาณิชย์) เยื่อใยยาวร้อยละ 18.5 เยื่อใยสั้นร้อยละ 6.5 และเยื่อกล่องกระดาษลูกฟูกเก้าร้อยละ 75
 - สูตรที่ 2 แทนที่เยื่อใยยาวในสูตรที่ 1 ด้วยเยื่อกระดาษจากปาล์มน้ำมัน
 - สูตรที่ 3 แทนที่เยื่อใยสั้นในสูตรที่ 1 ด้วยเยื่อกระดาษจากปาล์มน้ำมัน
 - สูตรที่ 4 แทนที่เยื่อกล่องกระดาษลูกฟูกเก่าในสูตรที่ 1 ด้วยเยื่อกระดาษจากปาล์มน้ำมัน
9. นำน้ำเยื่อสูตรต่างๆ ไปขึ้นแผ่นทดสอบ (แผ่นกระดาษ) ตามมาตรฐาน ISO 5269-2 ให้มีน้ำหนักมาตรฐาน 75 กรัมต่อตารางเมตร
10. ทดสอบสมบัติเชิงกลของกระดาษผิวกล่องลูกฟูก อย่างน้อย 5 ชิ้นตัวอย่างต่อ 1 ภาวะทดสอบ ดังนี้
 - ความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile strength) ตามมาตรฐาน TAPPI T 494
 - ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (Bursting strength) ตามมาตรฐาน TAPPI T 403

- ความต้านทานต่อแรงฉีก (Tearing resistance) ตามมาตรฐาน TAPPI T 414

11. เลือกสูตรกระดาษที่ให้สมบัติกระดาษที่ดึกกว่าหรือใกล้เคียงเมื่อเทียบกับสูตรกระดาษ ผีวกล่องลูกฟูกเชิงพาณิชย์ (สูตรที่ 1) เพื่อใช้ในการทดลองตอนถัดไป

ตอนที่ 2: การหาปริมาณสารเติมแต่งที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษผีวกล่องลูกฟูก

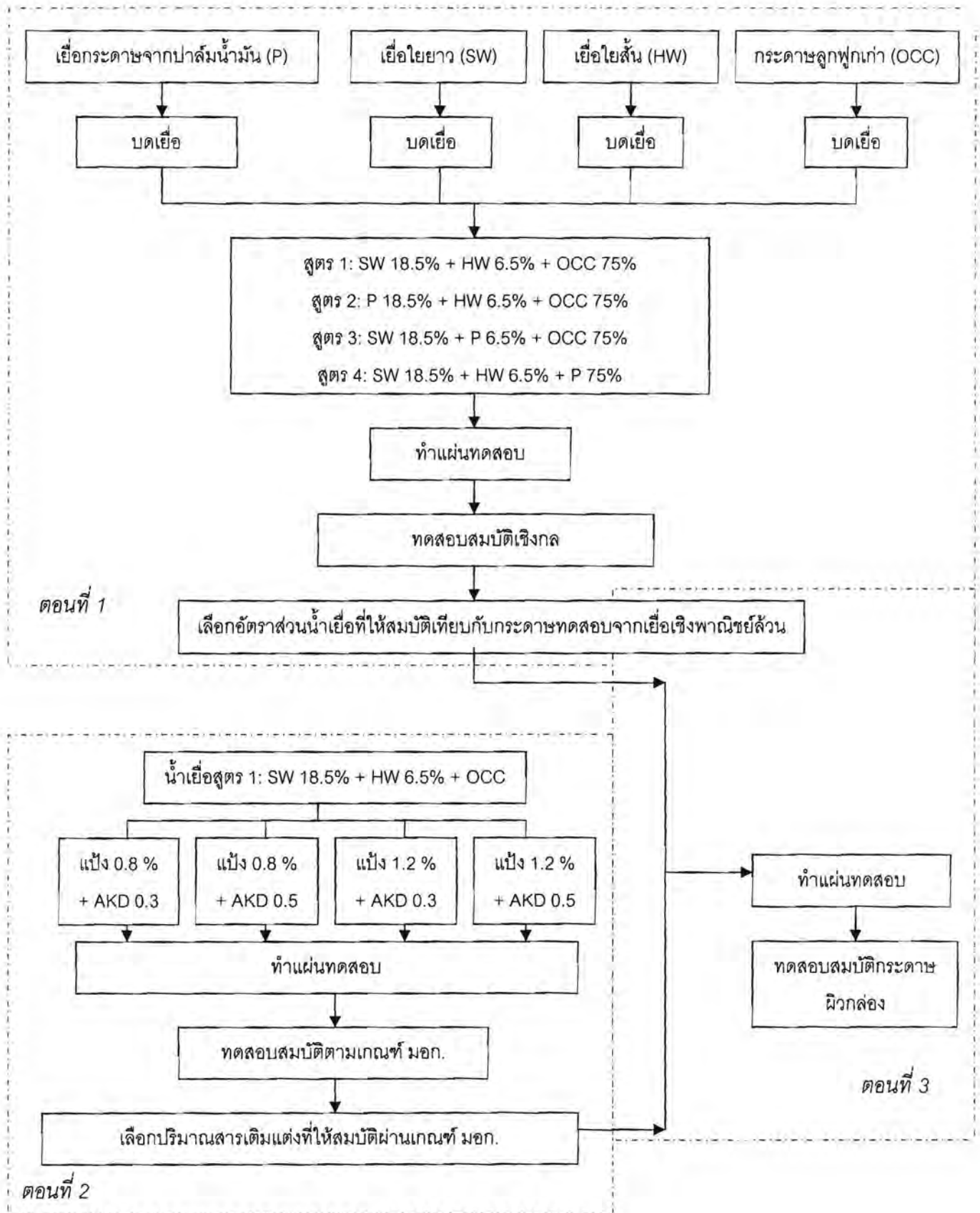
1. นำน้ำเยื่อจากสูตรกระดาษผีวกล่องลูกฟูกเชิงพาณิชย์ (สูตรที่ 1) มาใส่สารเติมแต่ง ได้แก่ แป้ง และสารกันซึม AKD โดยแบ่งออกเป็น 4 สภาวะ ตามปริมาณสารเติมแต่ง ที่ใส่คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักเยื่อแห้ง คือ
 - สภาวะที่ 1 แป้งร้อยละ 0.8 และ AKD ร้อยละ 0.3
 - สภาวะที่ 2 แป้งร้อยละ 0.8 และ AKD ร้อยละ 0.5
 - สภาวะที่ 3 แป้งร้อยละ 1.2 และ AKD ร้อยละ 0.3
 - สภาวะที่ 4 แป้งร้อยละ 1.2 และ AKD ร้อยละ 0.5
2. นำน้ำเยื่อที่มีการใส่สารเติมแต่งไปขึ้นแผ่นทดสอบ (แผ่นกระดาษ) ตามมาตรฐาน ISO 5269-2 ให้มีน้ำหนักมาตรฐาน 125 กรัมต่อตารางเมตร
3. นำแผ่นทดสอบมาทำการทดสอบสมบัติที่ มอก. 170-2519 (39) กำหนดไว้สำหรับกระดาษเหนียวสำหรับทำผีวกล่องลูกฟูก ดังนี้
 - ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (Bursting strength) ตามมาตรฐาน TAPPI T 403
 - การดูดซึมน้ำ (Water absorption; Cobb test) ตามมาตรฐาน TAPPI T 411
4. เลือกสภาวะที่ให้สมบัติกระดาษที่ดีที่สุดที่ผ่าน มอก. 170-2519 คือ ต้องมีดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ ไม่ต่ำกว่า 2.94 กิโลปาสคาลตารางเมตรต่อกรัม (kPa m²/g) และมีการดูดซึมน้ำแบบคอบบี้ไม่เกิน 30 กรัมต่อตารางเมตรในด้านสี่เหลี่ยม (ด้านบน) และ 40 กรัมต่อตารางเมตรในด้านตะแครง (ด้านล่าง)

ตอนที่ 3: การศึกษาสมบัติของกระดาษผีวกล่องลูกฟูกที่ใช้เยื่อปาล์มน้ำมันทดแทนเยื่อเชิงพาณิชย์

1. ทำการผสมน้ำเยื่อตามสูตรที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 แล้วเติมสารเติมแต่งใน ปริมาณที่เหมาะสมตามสภาวะที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2
2. นำน้ำเยื่อไปขึ้นแผ่นทดสอบ (แผ่นกระดาษ) ตามมาตรฐาน ISO 5269-2 ให้มีน้ำหนัก มาตรฐาน 125 กรัมต่อตารางเมตร
3. ทดสอบสมบัติของกระดาษผีวกล่องลูกฟูก ได้แก่

- น้ำหนักมาตรฐาน (Basis weight) ตามมาตรฐาน TAPPI T 410
- ความหนา (Thickness) ตามมาตรฐาน TAPPI T 411
- ความขาวสว่าง (Brightness) ตามมาตรฐาน ISO 2470
- ความทึบแสง (Opacity) ตามมาตรฐาน ISO 2471
- ความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile strength) ตามมาตรฐาน TAPPI T 494
- ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (Bursting strength) ตามมาตรฐาน TAPPI T 403
- ความต้านทานต่อแรงฉีก (Tearing resistance) ตามมาตรฐาน TAPPI T 414
- การดูดซึมน้ำ (Water absorption; Cobb test) ตามมาตรฐาน TAPPI T 411
- ความสามารถในการเปียกผิว (Surface wettability) โดยวิธีมุมสัมผัส ตามมาตรฐาน TAPPI T 558
- ความต้านทานการซึมอากาศ (Air resistance) ตามมาตรฐาน TAPPI T 460
- ความเรียบ (Smoothness) ตามมาตรฐาน TAPPI T 479

แผนผังการทดลองส่วนที่ 3



วิธีการทดลองส่วนที่ 4: การทดสอบสมบัติเชิงบรรจุกณ์ของกระดาษผิวกล่องลูกฟูกที่ผลิตได้จากเยื่อเชิงพาณิชย์ผสมกับเยื่อปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบดเยื่อแล้วในสัดส่วนต่างๆ

นำกระดาษผิวกล่องลูกฟูกที่ผลิตได้จากเยื่อเชิงพาณิชย์ผสมกับเยื่อปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบดเยื่อแล้วในสัดส่วนต่างๆ ที่ได้จากการทดลองส่วนที่ 2 ตอนที่ 3 มาประกบกับกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว (Single-faced corrugated board) เชิงพาณิชย์ เพื่อขึ้นรูปเป็นกระดาษลูกฟูก 3 ชั้น (Single-walled corrugated board) แล้วนำไปทดสอบสมบัติเชิงบรรจุกณ์ของกระดาษลูกฟูก ได้แก่

- ความแข็งแรงต่อแรงกดของกระดาษลูกฟูกในแนวตั้ง (Edgewise Compressive Strength; ECT) ตามมาตรฐาน TAPPI T 811
- ความต้านทานแรงกดของกระดาษลูกฟูกตามแนวนอน (Flat Crush Test; FCT) ตามมาตรฐาน TAPPI T 808
- ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษลูกฟูก (Bursting Strength) ตามมาตรฐาน TAPPI T 810

วิธีการทดลองส่วนที่ 5: การวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์หลังจากที่ได้นำกระดาษผิวกล่องลูกฟูกที่ผลิตจากเยื่อเชิงพาณิชย์ผสมกับเยื่อปาล์มน้ำมันมาทดลองพิมพ์ด้วยหมึกเชิงพาณิชย์

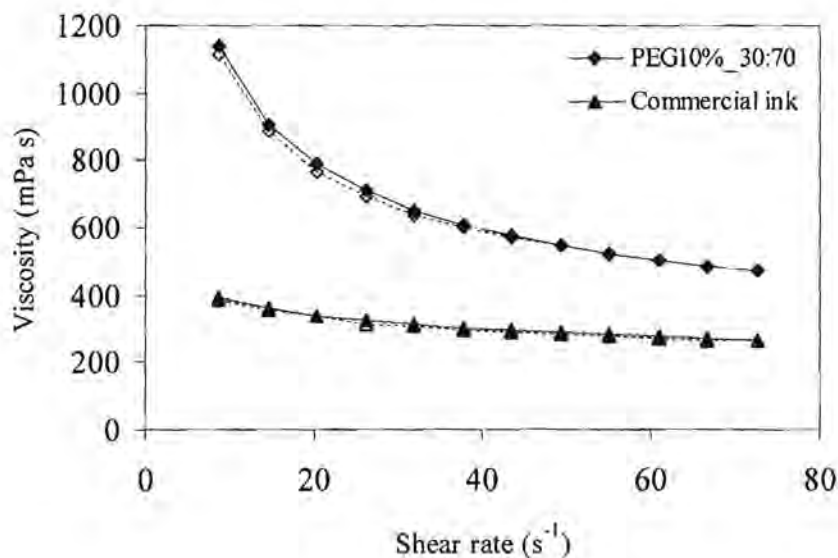
1. ติดแม่พิมพ์เพล็กโซกราฟีรอบวงล้อพิมพ์ของเครื่องทดสอบการพิมพ์ได้ IGT F1
2. ตัดแผ่นกระดาษจากปาล์มน้ำมัน เป็นแถบกว้าง 50 มิลลิเมตร และยาว 250 มิลลิเมตร วางบนแท่นสำหรับพิมพ์ของเครื่องทดสอบการพิมพ์ได้ IGT F1
3. ตั้งแรงกดระหว่างใบมีดปาดกับลูกกลิ้งแอนนิลอก และแรงกดพิมพ์เป็น 200 นิวตัน
4. หยดหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ลงบริเวณระหว่างลูกกลิ้งแอนนิลอกและใบมีดปาด
5. กดเดินเครื่องเพื่อพิมพ์
6. วัดความดำบริเวณพื้นตาย ความดำช่วงฮาล์ฟโทน ความเปรียบต่างและค่าเม็ดสกรีนรวมบริเวณฮาล์ฟโทน โดยเครื่องวัดความดำ
7. สแกนภาพกระดาษจากปาล์มน้ำมันที่พิมพ์แล้วด้วยเครื่องกราดแบบแท่นราบ (ภาพที่ 16) จากนั้นจึงวิเคราะห์คุณภาพการพิมพ์ลายเส้น และคำนวณภาพสแกน เพื่อหาความเปรียบสม่ำเสมอบริเวณพื้นตาย

ผลการทดลอง

ผลการทดลองส่วนที่ 1: การเปรียบเทียบสมบัติของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีที่ผลิตได้กับหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์

ความหนืดของหมึกพิมพ์

ผลของสมบัติการไหลของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพที่ผลิตได้ (สารสีร้อยละ 30 และ PEG ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก) กับหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์สำหรับพิมพ์บนกระดาษเหนียวเชิงพาณิชย์ แสดงในภาพที่ 18 จากผลการทดลองพบว่า หมึกพิมพ์ที่ผลิตได้มีสมบัติการไหลแบบ shear thinning คือ เมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น (จาก 2.9 ถึง 72.5 s^{-1}) ความหนืดของหมึกพิมพ์มีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์พบว่า หมึกพิมพ์ที่ผลิตได้ (สารสีร้อยละ 30) มีความหนืดสูงกว่า และมีระดับการเกิดพฤติกรรมแรงเฉือนลดสูงกว่าหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ ซึ่งสาเหตุอาจเนื่องมาจากชนิดและปริมาณของสารสีและสารยึดที่ใช้ในหมึกพิมพ์ที่แตกต่างกัน และการใช้สารเติมแต่งที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 18: ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราเฉือนของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพที่ผลิตได้กับหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์ โดยเส้นที่บแสดงถึงอัตราเฉือนเพิ่มขึ้น (Increasing shear rate) และเส้นประแสดงถึงอัตราเฉือนลดลง (Decreasing shear rate)

แรงตึงผิวและปริมาณของแข็งในหมึกพิมพ์

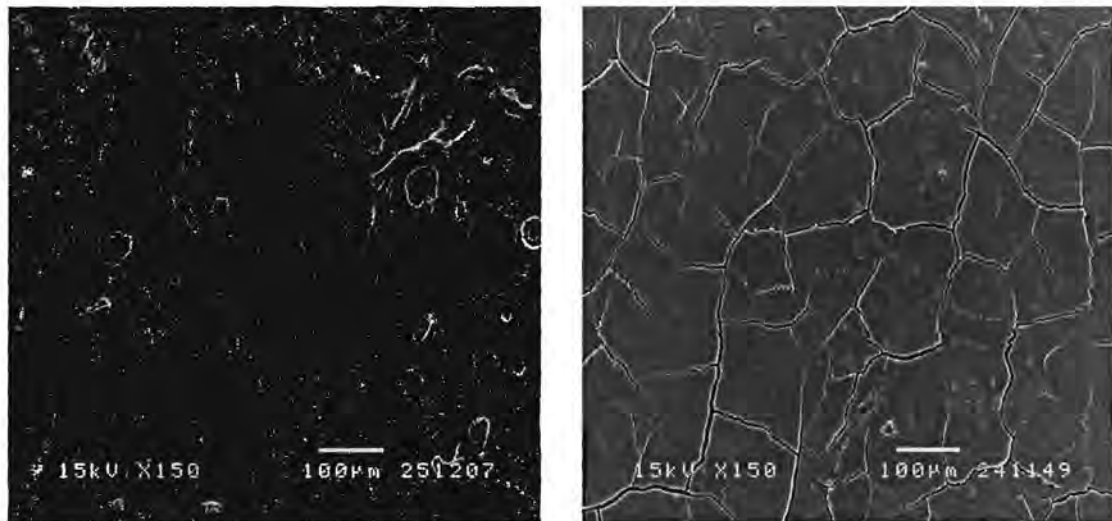
ตารางที่ 6 แสดงผลการเปรียบเทียบแรงตึงผิวและร้อยละของของแข็งในหมึกพิมพ์สองชนิด จากผลการทดลองพบว่า หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพที่ผลิตได้มีแรงตึงผิวต่ำกว่าหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิง

พาณิชย์ สาเหตุอาจเนื่องจากความแตกต่างของสารยึดที่ใช้ โดยสารยึดชีวภาพพอลิแล็กโตนอิมัลชันที่ผลิตได้มีการเติมสารลดแรงตึงผิวในขั้นตอนการเตรียม จึงส่งผลให้มีแรงตึงผิวต่ำกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าหมึกพิมพ์ที่ผลิตได้มีปริมาณของแข็งหรือร้อยละของแข็ง (%Solids content) ในหมึกพิมพ์ต่ำกว่าหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ ซึ่งแสดงถึงปริมาณของสารสีที่แตกต่างกันในสูตรหมึกพิมพ์ หมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์มีปริมาณร้อยละของของแข็งสูงกว่าแสดงให้เห็นถึงปริมาณสารสีที่มีสูงกว่าในหมึกพิมพ์

ตารางที่ 6: แรงตึงผิวและร้อยละของแข็งในหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพที่ผลิตได้กับหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์

ประเภทของหมึก	คุณสมบัติ	
	แรงตึงผิว (mN/m)	ร้อยละของแข็ง (%)
หมึกพิมพ์ชีวภาพที่ผลิตได้	30.4 ± 0.1	26.1 ± 0.6
หมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์	35.0 ± 1.0	35.1 ± 1.2

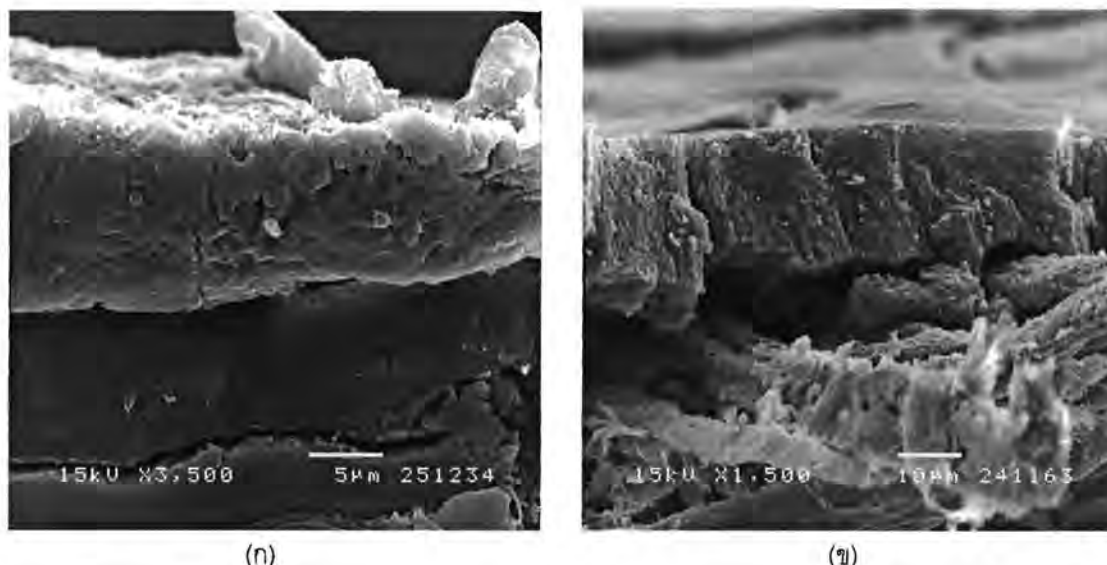
ภาพถ่าย SEM บริเวณผิวหน้าและภาพตัดขวางของงานพิมพ์



(ก)

(ข)

ภาพที่ 19: ภาพถ่าย SEM ผิวหน้าของงานพิมพ์บนกระดาษเหนียวเชิงพาณิชย์ เมื่อพิมพ์ด้วย (ก) หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพที่ผลิตได้ และ (ข) หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์ ที่ความหนาขณะเปียก 24 ไมโครเมตร



(ก)

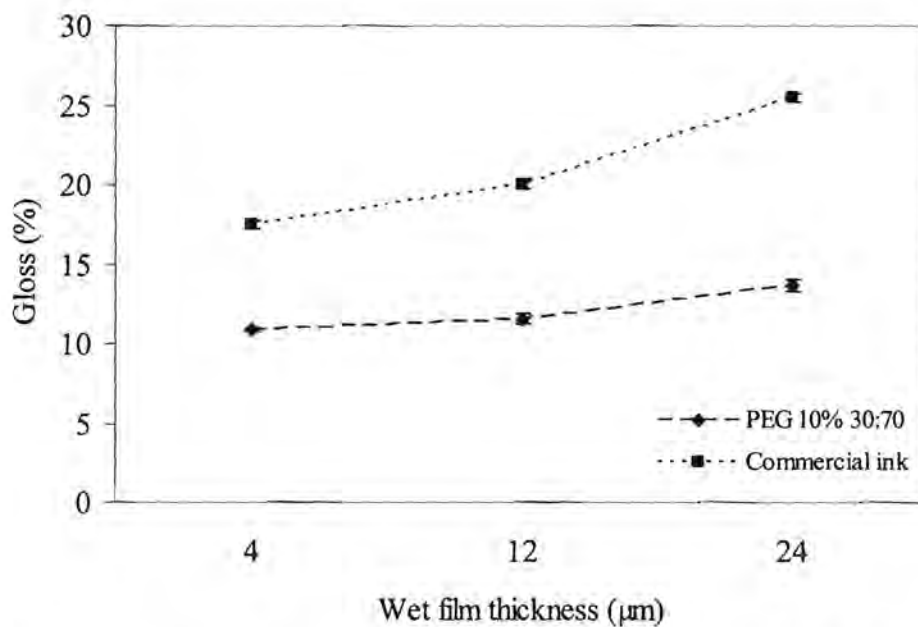
(ข)

ภาพที่ 20: ภาพถ่าย SEM ภาพตัดขวางของงานพิมพ์บนกระดาษเหนียวเชิงพาณิชย์ เมื่อพิมพ์ด้วย (ก) หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพที่ผลิตได้ และ (ข) หมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์ ที่ความหนาขณะเปียก 24 ไมโครเมตร

ภาพถ่ายแสดงผิวหน้าและภาพตัดขวางของงานพิมพ์ที่ความหนาขณะเปียก 24 ไมโครเมตร แสดงในภาพที่ 19 และภาพที่ 20 จากการทดลองพบว่า ผิวหน้าของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพที่ผลิตได้ (สารสีร้อยละ 30 และ PEG ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก) มีความเรียบต่ำกว่า แต่ไม่พบลักษณะของรอยแตกของชั้นฟิล์มอย่างที่พบในชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์ นอกจากนี้ ภาพตัดขวางของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิดยังแสดงถึงความหนาของชั้นฟิล์มขณะแห้ง ซึ่งผลพบว่าความหนาของชั้นหมึกพิมพ์ทั้งสองมีความหนาที่ใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 15-20 ไมโครเมตร

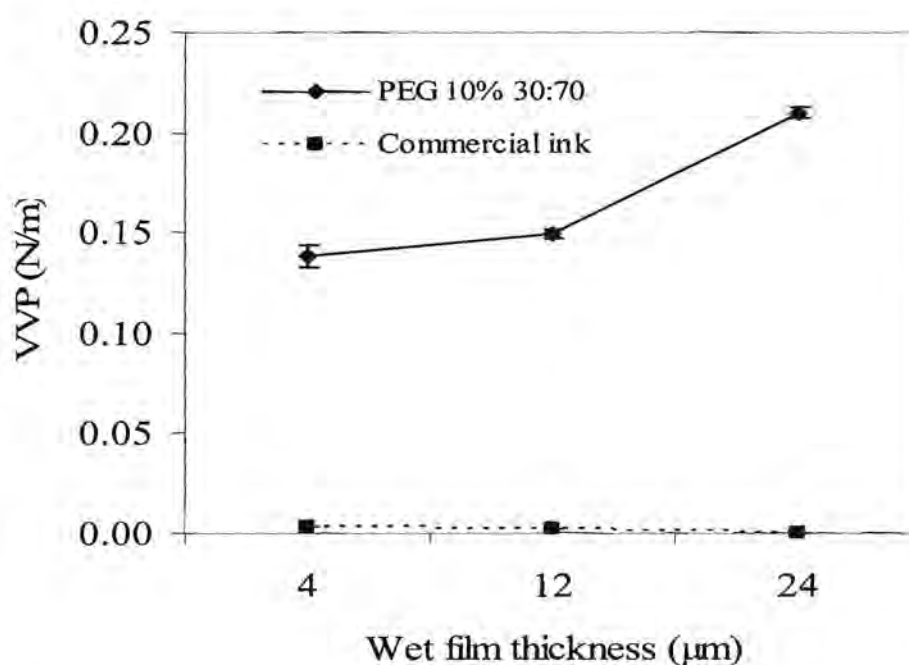
ความมันวาวของงานพิมพ์

ภาพที่ 21 ซึ่งแสดงผลการเปรียบเทียบความมันวาวของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิด จากภาพจะเห็นได้ว่า ความมันวาวของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพที่ผลิตได้ (สารสีร้อยละ 30 และ PEG ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก) และหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อชั้นความหนาของหมึกพิมพ์เพิ่มขึ้น โดยหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์มีค่าความมันวาวสูงกว่าหมึกพิมพ์ที่ผลิตได้ในทุกๆ ความหนา ซึ่งสาเหตุอาจเนื่องมาจากงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์มีความเรียบของผิวหน้าสูงกว่างานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ผลิตได้ จึงส่งผลให้มีความมันวาวสูงกว่า และอาจเกิดเนื่องจากหมึกพิมพ์ที่ผลิตได้นั้นปราศจากการเติมสารเติมแต่งเพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงแสงของชั้นฟิล์ม



ภาพที่ 21: ความมันวาวของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพที่ผลิตได้และหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์ ที่ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์แตกต่างกัน

ความต้านทานการถอนผิวของงานพิมพ์



ภาพที่ 22: ความต้านทานการถอนผิวของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพที่ผลิตได้และหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์ ที่ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์แตกต่างกัน

ภาพที่ 22 แสดงผลความต้านทานการถอนผิวของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิดที่ความหนาของชั้นฟิล์มแตกต่างกัน ซึ่งค่าความต้านทานการถอนผิวของงานพิมพ์บอกถึงความสามารถในการยึดติดของหมึกพิมพ์กับกระดาษ ซึ่งถ้าค่าการถอนผิวของงานพิมพ์สูง บอกถึงความสามารถในการยึดติดที่ดีระหว่างหมึกพิมพ์กับกระดาษ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์มีค่าความต้านทานการถอนผิวที่ต่ำมาก (เข้าใกล้ศูนย์) ส่วนหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพที่ผลิตได้ (สารสีร้อยละ 30 และ PEG ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก) มีค่าความต้านทานการถอนผิวที่สูงกว่า และเมื่อพิมพ์ที่ความหนามากขึ้น ความต้านทานการถอนผิวก็มีค่าเพิ่มขึ้นตามด้วย โดยค่าสูงสุดพบที่ความหนาสูงสุดที่ 24 ไมครอน แสดงให้เห็นว่าหมึกพิมพ์ที่ผลิตได้สามารถยึดติดกับกระดาษได้ดีกว่าหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะว่าสารยึดพอลิเล็กโทดิมัลชันที่ผสมในหมึกพิมพ์ ส่งผลให้หมึกพิมพ์ที่ผลิตได้มีระดับการยึดติดที่ดีกับกระดาษ

ความต้านทานการขูดขูดของงานพิมพ์

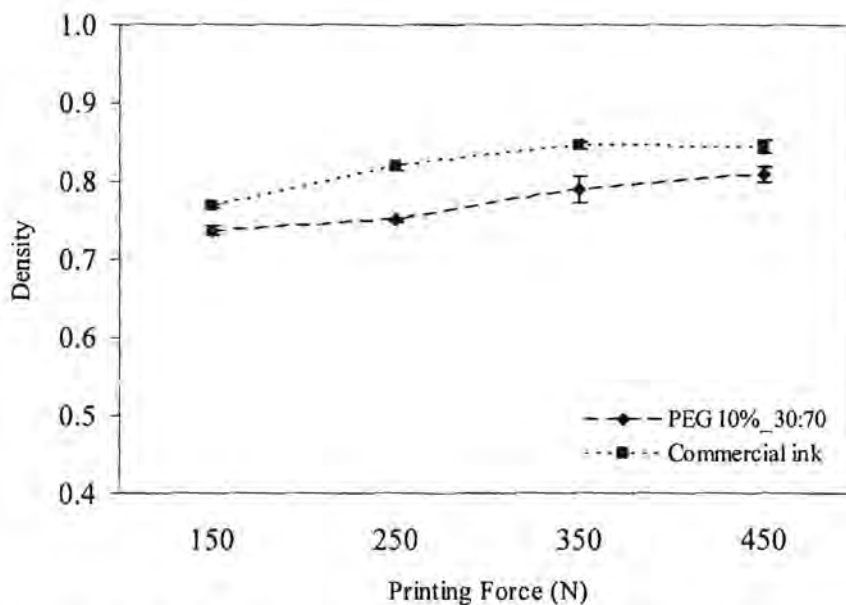
ตารางที่ 7: ค่าความแตกต่างสี ($\Delta E'_{ab}$) ของงานพิมพ์ก่อนและหลังการขูด เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพที่ผลิตได้และหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์ โดยพิมพ์บนกระดาษเหนียวเชิงพาณิชย์ที่ความหนาแตกต่างกัน

ความหนาของชั้นฟิล์ม (ไมโครเมตร)	ค่าความต่างสี ($\Delta E'_{ab}$)	
	หมึกพิมพ์ชีวภาพที่ผลิตได้	หมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์
4	0.49	0.28
12	0.59	0.45
24	0.80	1.01

จากตารางที่ 7 ซึ่งแสดงค่าความแตกต่างสี ($\Delta E'_{ab}$) ของงานพิมพ์ก่อนและหลังการขูด เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิดที่ความหนาแตกต่างกัน จะเห็นได้ว่างานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิดเมื่อพิมพ์ที่ความหนาเพิ่มขึ้น ค่าความแตกต่างสีของงานพิมพ์ก่อนและหลังการขูดมีค่าสูงขึ้น แสดงให้เห็นถึงการหลุดลอกของสารสีส่วนเกินจากผิวหน้าของชั้นหมึกพิมพ์ที่มีมากขึ้นเมื่อความหนาของชั้นหมึกพิมพ์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้งานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพที่ผลิตได้ (สารสีร้อยละ 30 และ PEG ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก) ยังมีค่าความแตกต่างสีมากกว่างานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์เล็กน้อย ยกเว้นที่ความหนา 24 ไมโครเมตร ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากชนิดของสารยึดและปริมาณ

ของสารสีในหมึกพิมพ์ที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ค่าความแตกต่างสีของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกทั้งสองชนิดก่อนและหลังการขัดถูมีค่าตั้งแต่ร้อยละ 1 ถึงประมาณ 1 แสดงให้เห็นว่างานพิมพ์ก่อนและหลังการขัดถูมีความแตกต่างกันน้อยมาก และยังแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการทนต่อการขัดถูของงานพิมพ์ที่ได้จากหมึกพิมพ์ที่ผลิตได้มีค่าใกล้เคียงกับหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์

คุณภาพงานพิมพ์: ค่าความดำของงานพิมพ์



ภาพที่ 23: ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดพิมพ์กับค่าความดำของงานพิมพ์ เปรียบเทียบระหว่างหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพที่ผลิตได้และหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์ที่พิมพ์บนกระดาษเหนียวเชิงพาณิชย์

ภาพที่ 23 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความดำของงานพิมพ์บริเวณพื้นตาย (solid tone) ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพที่ผลิตได้ (สารสีร้อยละ 30 และ PEG ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก) และหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์ จากผลการทดลองพบว่า งานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิดเมื่อพิมพ์ที่แรงกดพิมพ์เพิ่มมากขึ้น ค่าความดำของงานพิมพ์สูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มแรงกดพิมพ์ที่ใช้ส่งผลให้หมึกพิมพ์ถ่ายโอนจากแม่พิมพ์สู่วัสดุพิมพ์ได้มากขึ้น ค่าความดำจึงสูงขึ้น งานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์มีค่าความดำที่สูงกว่างานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่ผลิตได้ที่แรงกดพิมพ์เดียวกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากค่าความหนืดของหมึกพิมพ์ โดยหมึกพิมพ์ที่มีความหนืดต่ำสามารถถ่ายโอนได้มากกว่า ดังนั้นหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ซึ่งมีความหนืดต่ำกว่าจึงสามารถถ่ายโอนได้ดีกว่า ส่งผลให้ได้ค่าความดำที่สูงกว่า นอกจากนี้ปริมาณของสารสีในหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ที่สูงกว่าหมึกพิมพ์ที่ผลิตได้ ยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่

ส่งผลให้หมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์มีค่าความต่ำสูงกว่าหมึกพิมพ์ที่ผลิตได้เช่นกัน จากผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าค่าความต่ำของงานพิมพ์มีความสัมพันธ์กับแรงกด ความหนืดของหมึกพิมพ์ที่ใช้ และร้อยละของเนื้อสี ซึ่งหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ใช้แรงกดพิมพ์ต่ำกว่าแต่กลับได้ค่าความต่ำที่สูงกว่าหมึกพิมพ์ที่ผลิตได้

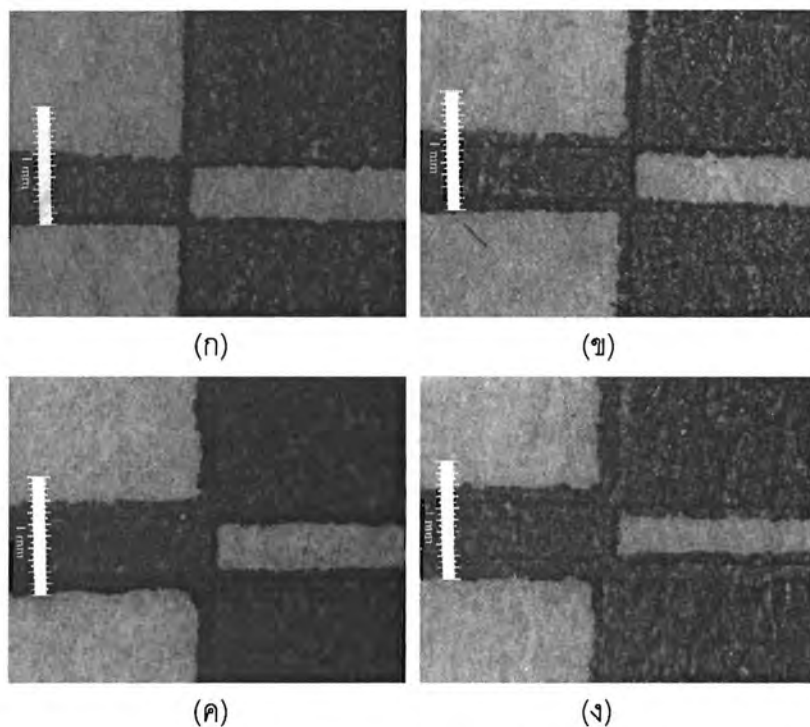
คุณภาพงานพิมพ์: คุณภาพเส้นของงานพิมพ์

ภาพที่ 24 และภาพที่ 25 แสดงภาพถ่ายของเส้นพิมพ์ขนาด 0.5 มิลลิเมตรของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์สองชนิดที่แรงกดพิมพ์แตกต่างกัน จากภาพจะเห็นว่างานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิดมีลักษณะใกล้เคียงกัน คือเส้นพิมพ์มีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อพิมพ์ด้วยแรงกดพิมพ์มากขึ้น และที่แรงกดพิมพ์ 350 และ 450 นิวตัน เส้นมีขนาดใกล้เคียงกัน

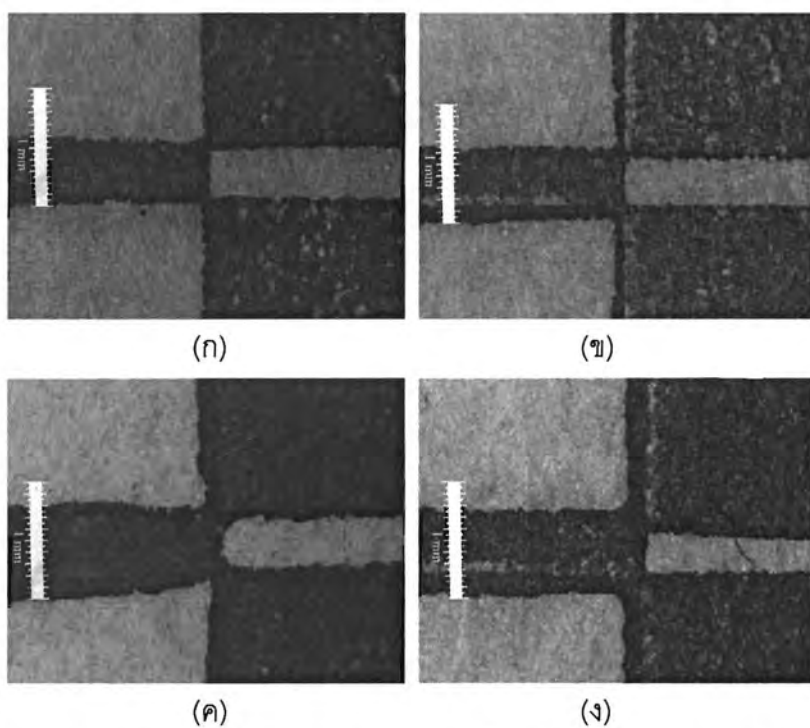
ตารางที่ 8: การแผ่ของงานพิมพ์เส้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีที่ผลิตได้และหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์ โดยพิมพ์บนกระดาษเหนียวเชิงพาณิชย์ที่แรงกดต่างกัน

ประเภทของหมึก	การแผ่ (Bleeding) (%)			
	แรงกด 150 N	แรงกด 250 N	แรงกด 350 N	แรงกด 450 N
หมึกพิมพ์ชีวภาพที่ผลิตได้	20.0 ± 0.02	32.0 ± 0.01	58.0 ± 0.01	60.7 ± 0.01
หมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์	10.7 ± 0.01	25.3 ± 0.03	59.3 ± 0.01	58.0 ± 0.01

จากตารางที่ 8 ซึ่งแสดงผลการเปรียบเทียบการแผ่ของหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิดบนกระดาษเหนียวพบว่า เมื่อพิมพ์ที่แรงกดพิมพ์มากขึ้น เส้นของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิดเกิดการแผ่มากขึ้น เมื่อพิจารณาที่แรงกดพิมพ์ 150 และ 250 นิวตัน พบว่า งานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชีวภาพที่ผลิตได้มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของเส้นมากกว่างานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ สาเหตุอาจเนื่องมาจากหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์สามารถซึมเข้าในเนื้อกระดาษได้เร็วกว่า เนื่องจากมีความหนืดต่ำกว่า ส่งผลให้เกิดการแผ่น้อยกว่า ขนาดของเส้นจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับหมึกพิมพ์ที่ผลิตได้ แต่เมื่อพิจารณาที่แรงกดพิมพ์ 350 และ 450 นิวตัน พบว่า ขนาดของเส้นที่แผ่ออกมีค่าใกล้เคียงกันทั้งสองหมึกพิมพ์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่แรงกดพิมพ์สูง ชนิดของหมึกพิมพ์ส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของเส้นพิมพ์



ภาพที่ 24: ภาพถ่ายเส้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร ของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพ
ที่ผลิตได้ พิมพ์ด้วยแรงกดพิมพ์ (ก) 150 N (ข) 250 N (ค) 350 N และ (ง) 450 N



ภาพที่ 25: ภาพถ่ายเส้นขนาด 0.5 มิลลิเมตรของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์
พิมพ์ด้วยแรงกดพิมพ์ (ก) 150 N (ข) 250 N (ค) 350 N และ (ง) 450 N

ผลการทดลองส่วนที่ 2: การทดสอบการย่อยสลายของหมึกพิมพ์

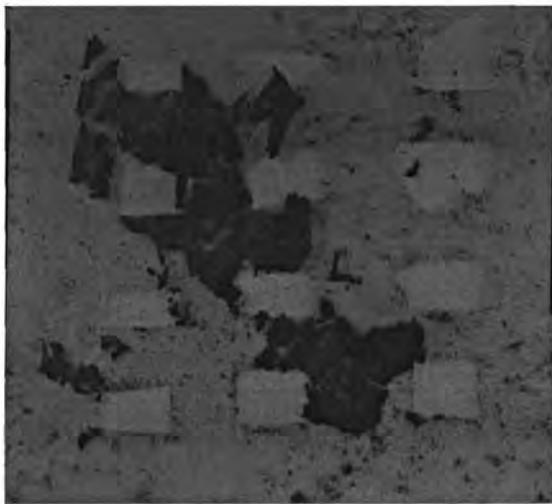


(ก)

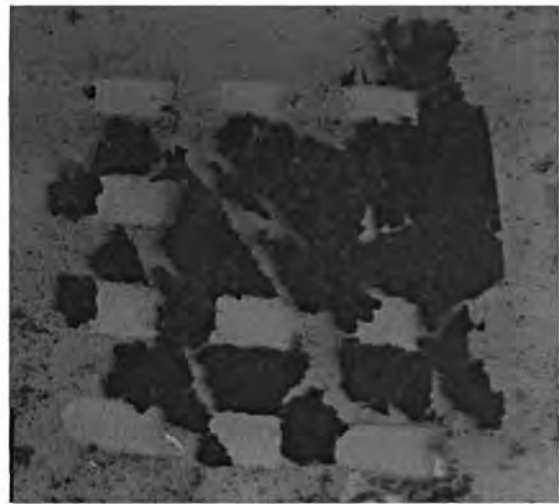


(ข)

ภาพที่ 26: ภาพถ่ายงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีสีวภาพที่ผลิตได้บนกระดาษจากปาล์ม น้ำมัน พิมพ์ที่ความหนาขณะเปียก 24 ไมโครเมตร โดย (ก) กระดาษที่ใส่ AKD 0.1% และ (ข) กระดาษที่ใส่ AKD 0.3% ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ



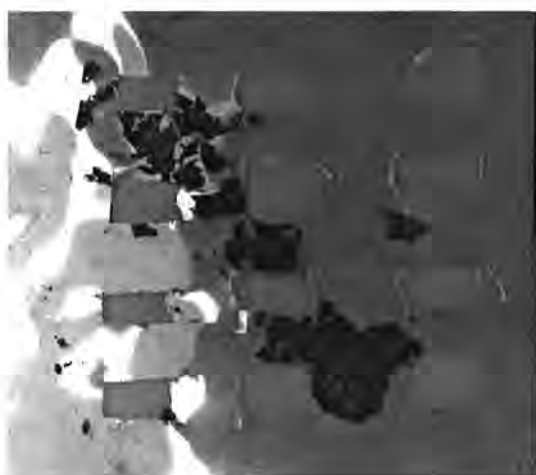
(ก)



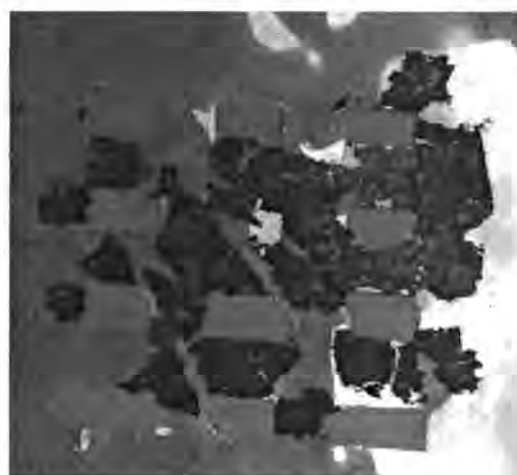
(ข)

ภาพที่ 27: ภาพถ่ายงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีสีวภาพที่ผลิตได้บนกระดาษจากปาล์ม น้ำมัน พิมพ์ที่ความหนาขณะเปียก 24 ไมโครเมตร หลังจากผ่านการฝังดินเป็นระยะเวลา 1 เดือน โดย (ก) กระดาษที่ใส่ AKD 0.1% และ (ข) กระดาษที่ใส่ AKD 0.3% ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ

ภาพที่ 26 แสดงภาพถ่ายของงานพิมพ์ก่อนนำไปฝังดิน ซึ่งพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพที่ผลิตได้บนกระดาษจากปาล์มน้ำมันที่ใส่สารกันซึม AKD 0.1% และ 0.3% ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่ความหนาขณะเปียก 24 ไมโครเมตร ส่วนภาพที่ 27 แสดงภาพถ่ายของงานพิมพ์ซึ่งพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพที่ผลิตได้บนกระดาษจากปาล์มน้ำมันที่ใส่สารกันซึม AKD 0.1% และ 0.3% ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่ความหนาขณะเปียก 24 ไมโครเมตร หลังจากนำไปฝังดินเป็นระยะเวลา 1 เดือน ผลการทดลองพบว่า งานพิมพ์บนกระดาษที่ใส่ AKD 0.1% สามารถย่อยสลายได้เร็วกว่างานพิมพ์บนกระดาษที่ใส่ AKD 0.3% โดยปริมาณการย่อยสลายมีประมาณร้อยละ 60 และ 50 สำหรับงานพิมพ์บนกระดาษที่ใส่ AKD 0.1% และ 0.3% ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการพิมพ์บนกระดาษที่ใส่ AKD 0.1% มีปริมาณความชื้นในกระดาษสูงกว่ากระดาษที่ใส่ AKD 0.3% ซึ่งความชื้นที่อยู่ในเนื้อกระดาษเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการย่อยสลายของงานพิมพ์ ดังนั้นงานพิมพ์บนกระดาษที่ใส่ AKD 0.1% จึงสามารถย่อยสลายได้เร็วกว่า



(ก)

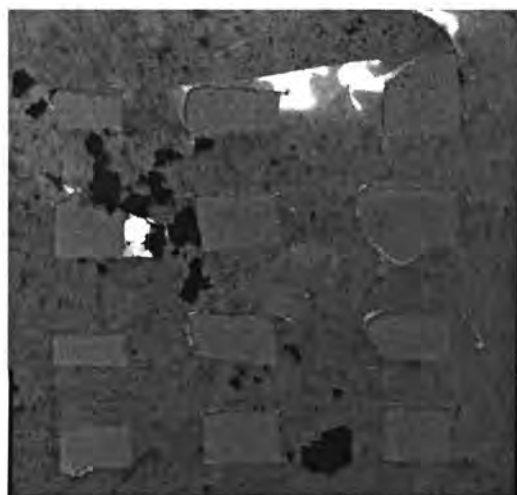


(ข)

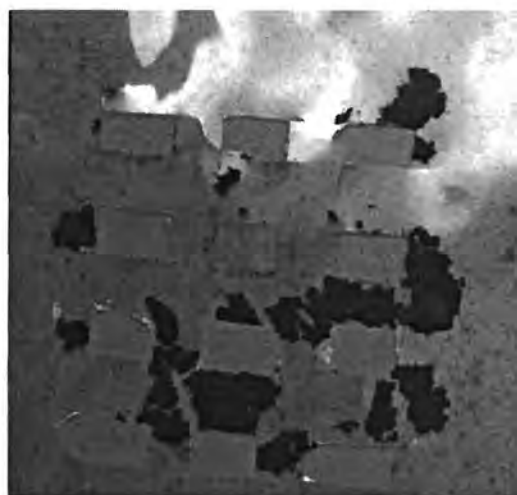
ภาพที่ 28: ภาพถ่ายงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพที่ผลิตได้บนกระดาษจากปาล์มน้ำมัน พิมพ์ที่ความหนาขณะเปียก 24 ไมโครเมตร หลังจากผ่านการฝังดินเป็นระยะเวลา 2 เดือน โดย (ก) กระดาษที่ใส่ AKD 0.1% และ (ข) กระดาษที่ใส่ AKD 0.3% ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ

จากภาพที่ 28 แสดงภาพถ่ายงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพที่ผลิตได้บนกระดาษจากปาล์มน้ำมันที่ใส่ AKD 0.1% และ 0.3% ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เมื่อนำไปฝังดินเป็นระยะเวลา 2 เดือน พบว่า งานพิมพ์ที่ผ่านการฝังดินเป็นระยะเวลา 2 เดือน มีการย่อยสลายของงานพิมพ์มากกว่าการฝังดินเป็นระยะเวลา 1 เดือน งานพิมพ์ที่ผ่านการฝังดินเป็นระยะเวลา 2 เดือน ปริมาณการย่อยสลายมีประมาณร้อยละ 70 และ 60 สำหรับงานพิมพ์บนกระดาษที่ใส่ AKD 0.1% และ 0.3% ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

ตามลำดับ ทั้งนี้งานพิมพ์บนกระดาษที่ใส่ AKD 0.1% สามารถย่อยสลายได้มากกว่างานพิมพ์บนกระดาษที่ใส่ AKD 0.3% ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของการฝังงานพิมพ์ที่ระยะเวลา 1 เดือน



(ก)

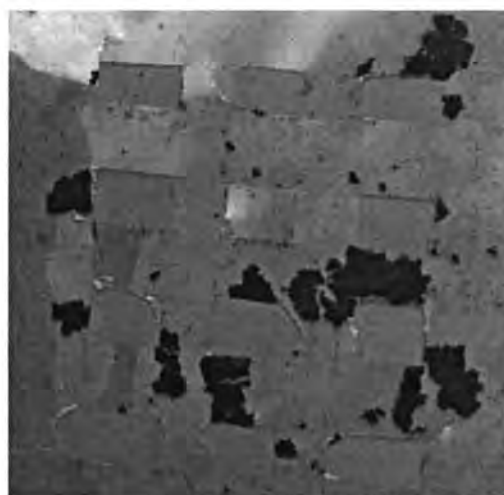


(ข)

ภาพที่ 29: ภาพถ่ายงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพที่ผลิตได้บนกระดาษจากปาล์ม น้ำมัน พิมพ์ที่ความหนาขณะเปียก 24 ไมโครเมตร หลังจากผ่านการฝังดินเป็นระยะเวลา 3 เดือน โดย (ก) กระดาษที่ใส่ AKD 0.1% และ (ข) กระดาษที่ใส่ AKD 0.3% ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ

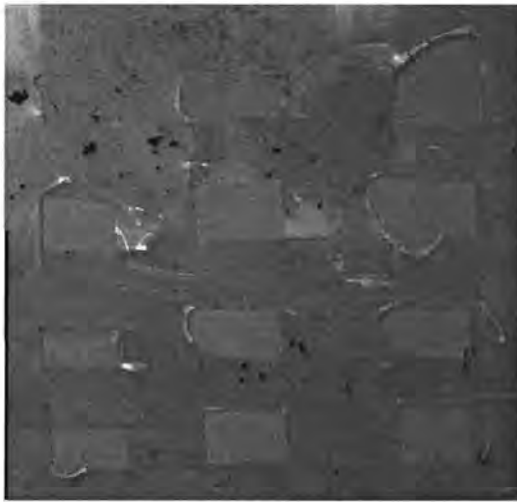


(ก)

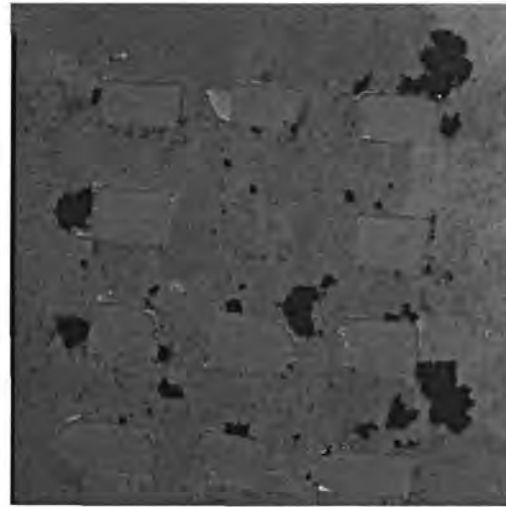


(ข)

ภาพที่ 30: ภาพถ่ายงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีชีวภาพที่ผลิตได้บนกระดาษจากปาล์ม น้ำมัน พิมพ์ที่ความหนาขณะเปียก 24 ไมโครเมตร หลังจากผ่านการฝังดินเป็นระยะเวลา 4 เดือน โดย (ก) กระดาษที่ใส่ AKD 0.1% และ (ข) กระดาษที่ใส่ AKD 0.3% ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ

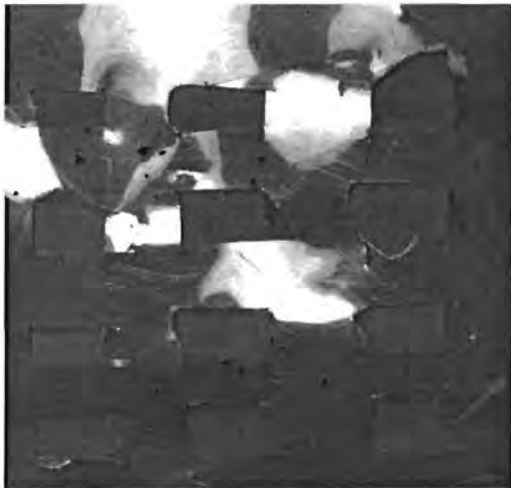


(ก)

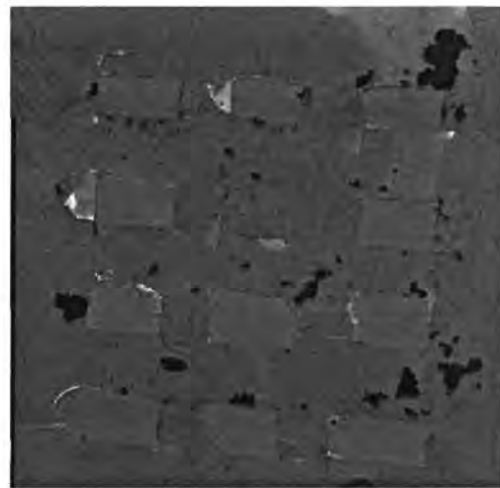


(ข)

ภาพที่ 31: ภาพถ่ายงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีซึ่งภาพที่ผลิตได้บนกระดาษจากปาล์ม น้ำมัน พิมพ์ที่ความหนาขณะเปียก 24 ไมโครเมตร หลังจากผ่านการฝังดินเป็นระยะเวลา 5 เดือน โดย (ก) กระดาษที่ใส่ AKD 0.1% และ (ข) กระดาษที่ใส่ AKD 0.3% ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ



(ก)



(ข)

ภาพที่ 32: ภาพถ่ายงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีซึ่งภาพที่ผลิตได้บนกระดาษจากปาล์ม น้ำมัน พิมพ์ที่ความหนาขณะเปียก 24 ไมโครเมตร หลังจากผ่านการฝังดินเป็นระยะเวลา 6 เดือน โดย (ก) กระดาษที่ใส่ AKD 0.1% และ (ข) กระดาษที่ใส่ AKD 0.3% ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ตามลำดับ

จากภาพที่ 29 และ 30 จะเห็นได้ว่าปริมาณการย่อยสลายของงานพิมพ์มีมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการฝังดินผ่านไปนานขึ้น โดยงานพิมพ์บนกระดาษ AKD ร้อยละ 0.1 สามารถย่อยสลายได้เกือบหมดภายในระยะเวลาการฝังดินที่ 5-6 เดือน (ภาพที่ 31 และภาพที่ 32) เมื่อเปรียบเทียบกับงานพิมพ์บน

กระดาษ AKD ร้อยละ 0.3 ซึ่งยังมีปริมาณของงานพิมพ์เหลืออยู่เล็กน้อยเมื่อระยะเวลาการฝังดินผ่านไป 6 เดือน (ภาพที่ 32) ดังนั้นกระดาษที่มีปริมาณของสารกันซึม AKD ที่แตกต่างกันย่อมส่งผลต่อการย่อยสลายของงานพิมพ์แตกต่างกัน โดยกระดาษที่มีปริมาณสารกันซึมมากจะมีปริมาณความชื้นในกระดาษต่ำกว่ากระดาษที่มีปริมาณสารกันซึมน้อย ทำให้การย่อยสลายเป็นไปได้ช้ากว่า

ผลการทดลองส่วนที่ 3: การทดลองผลิตกระดาษผิวกล่องลูกฟูกจากเยื่อเชิงพาณิชย์ผสมกับเยื่อปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบดเยื่อแล้วในสัดส่วนต่างๆ

ตอนที่ 1: การหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการแทนที่เยื่อเชิงพาณิชย์ด้วยเยื่อปาล์มน้ำมัน

ตารางที่ 9: องค์ประกอบทางเคมีของชิ้นไม้และเยื่อที่ผลิตได้จากปาล์มน้ำมัน

ตัวอย่าง	% ไฮโลเซลลูโลส เทียบกับวัตถุดิบ	% แอลฟาเซลลูโลส เทียบกับวัตถุดิบ	% เฮมิเซลลูโลส เทียบกับวัตถุดิบ	% ลิกนิน เทียบกับวัตถุดิบ
ชิ้นไม้ปาล์มน้ำมัน	69.15	34.58	34.57	24.68
เยื่อปาล์มน้ำมัน เมื่อต้ม เยื่อโดยใช้ NaOH 15% เวลา 2 ชั่วโมง	73.23	46.73	26.50	20.77
เยื่อปาล์มน้ำมัน เมื่อต้ม เยื่อโดยใช้ NaOH 20% เวลา 2 ชั่วโมง	75.14	51.69	23.45	17.20
เยื่อปาล์มน้ำมัน เมื่อต้ม เยื่อโดยใช้ NaOH 25% เวลา 2 ชั่วโมง	76.10	52.88	23.22	16.55
เยื่อปาล์มน้ำมัน เมื่อต้ม เยื่อโดยใช้ NaOH 15% เวลา 4 ชั่วโมง	73.35	46.82	26.53	19.84
เยื่อปาล์มน้ำมัน เมื่อต้ม เยื่อโดยใช้ NaOH 20% เวลา 4 ชั่วโมง	75.86	52.67	23.19	17.01
เยื่อปาล์มน้ำมัน เมื่อต้ม เยื่อโดยใช้ NaOH 25% เวลา 4 ชั่วโมง	76.20	53.58	22.62	16.37

เมื่อนำชิ้นไม้จากสวนโคนกาบใบของปาล์มน้ำมันมาทำการต้มเยื่อโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณต่างๆ กัน กล่าวคือ ร้อยละ 15, 20 และ 25 ของน้ำหนักชิ้นไม้แห้ง และใช้เวลาในการต้มเยื่อต่างๆ กัน กล่าวคือ 2 และ 4 ชั่วโมง โดยใช้อุณหภูมิในการต้มเยื่อเท่ากับ 140°C พบว่าการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้นและใช้เวลาในการต้มเยื่อนานขึ้น ทำให้เยื่อที่ผลิตได้มีปริมาณลิกนินและปริมาณเอมิเซลลูโลสลดน้อยลง หากแต่มีปริมาณเซลลูโลส (แอลฟาเซลลูโลส) เพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 9

เมื่อนำเยื่อปาล์มน้ำมันที่ผลิตได้ทั้งหมดไปหาความยาวของเส้นใยหลังจากนำเยื่อไปบดเยื่อต่อจนกระทั่งได้ค่าสภาพระบายได้อยู่ในช่วง 300 ± 30 มิลลิลิตร พบว่า เยื่อปาล์มน้ำมันที่ผลิตได้มีค่าความยาวของเส้นใยอยู่ในช่วง 1.22-1.37 มิลลิเมตร ซึ่งเยื่อปาล์มน้ำมันจะมีความยาวของเส้นใยสูงกว่าเยื่อใยสั้น (ความยาวของเส้นใยเท่ากับ 0.70 มิลลิเมตร) หากแต่มีความยาวเส้นใยต่ำกว่าเยื่อใยยาว (ความยาวของเส้นใยเท่ากับ 2.91 มิลลิเมตร) ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10: ความยาวของเส้นใยของเยื่อเชิงพาณิชย์และเยื่อที่ผลิตได้จากปาล์มน้ำมัน

ประเภทของเยื่อ	ความยาวเฉลี่ยของเส้นใย (มิลลิเมตร)
เยื่อจากไม้เนื้อแข็ง (เยื่อใยสั้น) (HW)	0.70
เยื่อจากไม้เนื้ออ่อน (เยื่อใยยาว) (SW)	2.91
เยื่อปาล์มน้ำมัน เมื่อต้มเยื่อโดยใช้ NaOH 15% เวลา 2 ชั่วโมง	1.23
เยื่อปาล์มน้ำมัน เมื่อต้มเยื่อโดยใช้ NaOH 20% เวลา 2 ชั่วโมง	1.30
เยื่อปาล์มน้ำมัน เมื่อต้มเยื่อโดยใช้ NaOH 25% เวลา 2 ชั่วโมง	1.22
เยื่อปาล์มน้ำมัน เมื่อต้มเยื่อโดยใช้ NaOH 15% เวลา 4 ชั่วโมง	1.37
เยื่อปาล์มน้ำมัน เมื่อต้มเยื่อโดยใช้ NaOH 20% เวลา 4 ชั่วโมง	1.35
เยื่อปาล์มน้ำมัน เมื่อต้มเยื่อโดยใช้ NaOH 25% เวลา 4 ชั่วโมง	1.27

จากตารางที่ 11 เมื่อนำเยื่อปาล์มน้ำมันที่ผลิตได้ไปขึ้นแผ่นทดสอบ (แผ่นกระดาษ) เพื่อนำไปวัดสมบัติทางด้านความแข็งแรงต่างๆ พบว่า เมื่อใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงและดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สูงขึ้น ทำให้สามารถขจัดเอาลิกนินออกได้มากขึ้น (ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 9) เส้นใยเป็นอิสระต่อกันและสามารถสร้างพันธะระหว่างกันได้ดีขึ้น แผ่นกระดาษจึงมีความแข็งแรงมากขึ้น เมื่อใช้เวลาในการต้มเยื่อนานขึ้น พบว่า ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงและดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุมีแนวโน้มสูงขึ้น (ยกเว้นในกรณีที่ต้มเยื่อโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 25 ของน้ำหนักชิ้นไม้ เวลาในการต้มเยื่อ 2 ชั่วโมง สำหรับค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง และยกเว้นในกรณีที่ต้มเยื่อโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 25 ของน้ำหนักชิ้นไม้ เวลาในการต้มเยื่อ 4 ชั่วโมง สำหรับค่าดัชนี

ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการต้มเยื่อนานขึ้น โซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับลิกนินได้มากขึ้น ทำให้สามารถขจัดลิกนินออกได้มากขึ้น เส้นใยสามารถสร้างพันธะระหว่างกันได้ดีขึ้น กระดาษจึงมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

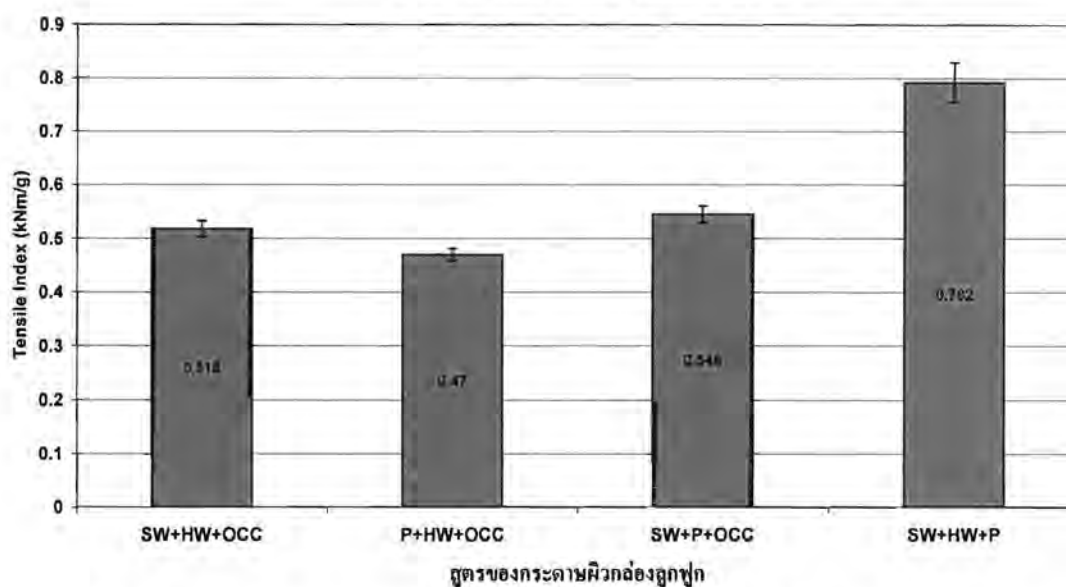
ตารางที่ 11: สมบัติด้านความแข็งแรงของกระดาษที่ผลิตได้จากเยื่อปาล์มน้ำมัน

สภาวะการต้มเยื่อปาล์มน้ำมัน	ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (mN m/g)	ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (kPa m ² /g)
เยื่อปาล์มน้ำมัน เมื่อต้มเยื่อโดยใช้ NaOH 15% เวลา 2 ชั่วโมง	537.40	2.47
เยื่อปาล์มน้ำมัน เมื่อต้มเยื่อโดยใช้ NaOH 20% เวลา 2 ชั่วโมง	681.83	2.51
เยื่อปาล์มน้ำมัน เมื่อต้มเยื่อโดยใช้ NaOH 25% เวลา 2 ชั่วโมง	637.50	2.55
เยื่อปาล์มน้ำมัน เมื่อต้มเยื่อโดยใช้ NaOH 15% เวลา 4 ชั่วโมง	639.47	2.98
เยื่อปาล์มน้ำมัน เมื่อต้มเยื่อโดยใช้ NaOH 20% เวลา 4 ชั่วโมง	684.48	3.33
เยื่อปาล์มน้ำมัน เมื่อต้มเยื่อโดยใช้ NaOH 25% เวลา 4 ชั่วโมง	733.68	3.19

ฉะนั้นในการทดลองผลิตกระดาษผิวกล่องลูกฟูกโดยนำเยื่อปาล์มน้ำมันมาผสมกับเยื่อเชิงพาณิชย์ จึงเลือกใช้เยื่อปาล์มน้ำมันที่ผลิตได้จากสภาวะการต้มเยื่อที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 25 ของน้ำหนัก ขึ้นไม้แห้ง เวลาในการต้มเยื่อ 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 140 °C เนื่องจากให้ค่าปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อต่ำสุด และให้ปริมาณไฮโดรเซลลูโลสและแอลฟาเซลลูโลสสูงสุด (ตารางที่ 9) รวมถึงให้ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงสุดด้วยเช่นกัน (ตารางที่ 11)

จากการทดลองการหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการแทนที่เยื่อเชิงพาณิชย์ด้วยเยื่อปาล์มน้ำมันในสูตรต่างๆ จะได้สมบัติเชิงกลดังแสดงในภาพที่ 33, ภาพที่ 34 และภาพที่ 35 เมื่อ SW แทนเยื่อใยยาว HW แทนเยื่อใยสั้น P แทนเยื่อปาล์มน้ำมัน และ OCC แทนเยื่อกล่องกระดาษลูกฟูกเก่า

ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile Index)

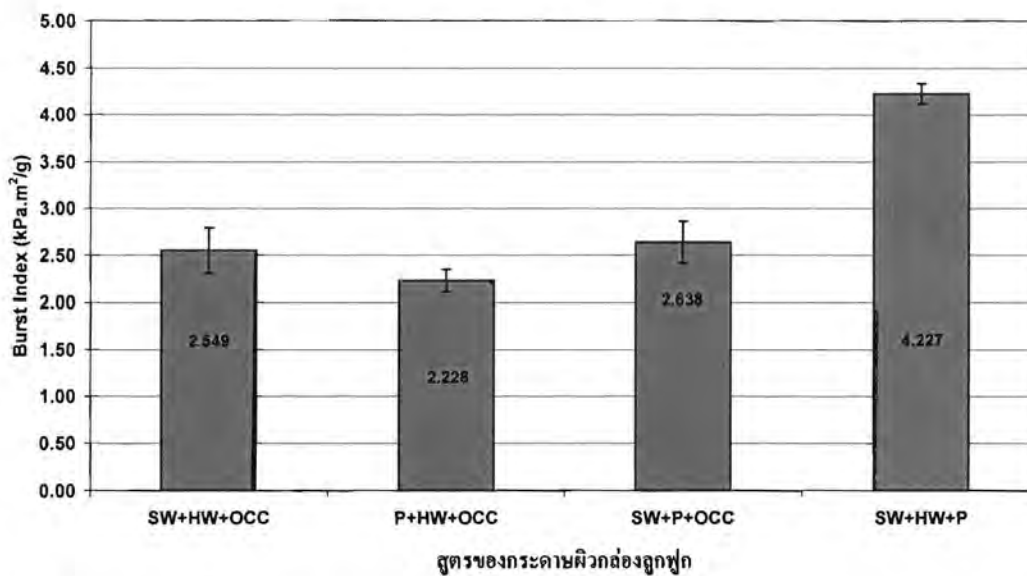


ภาพที่ 33: ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาดสูตรต่างๆ เมื่อ SW แทนเยื่อใยยาว HW แทนเยื่อใยสั้น P แทนเยื่อปาล์มน้ำมัน และ OCC แทนเยื่อกล่อ่งกระดาดลูกฟูกเก่า

จากภาพที่ 33 และภาพที่ 34 จะเห็นได้ว่าเมื่อนำเยื่อปาล์มน้ำมันไปแทนที่เยื่อใยยาว (P+HW+OCC) จะมีผลทำให้ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงและดัชนีความแข็งแรงต่อแรงด้นทะเลของกระดาดมีค่าลดลง ในขณะที่เมื่อนำเยื่อปาล์มน้ำมันไปแทนที่เยื่อใยสั้น (SW+P+OCC) จะผลให้ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงและดัชนีความแข็งแรงต่อแรงด้นทะเลของกระดาดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเมื่อนำเยื่อปาล์มน้ำมันไปแทนที่เยื่อกล่อ่งกระดาดลูกฟูกเก่า (SW+HW+P) จะให้ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงและดัชนีความแข็งแรงต่อแรงด้นทะเลสูงกว่ากระดาดผิวกล่อ่งลูกฟูกจากเยื่อเชิงพาณิชย์ล้วน (SW+HW+OCC) เป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยจากเยื่อปาล์มน้ำมันมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 1.22-1.37 มิลลิเมตร (ตารางที่ 10) ทำให้นำไปแทนที่เยื่อใยยาวซึ่งมีความยาวเฉลี่ย 2.91 มิลลิเมตร (ตารางที่ 10) จะส่งผลให้พื้นที่ในการสร้างพันธะบนเส้นใยแต่ละเส้นลดลง ความแข็งแรงของกระดาดที่ขึ้นกับพันธะระหว่างเส้นใย เช่น ความแข็งแรงต่อแรงดึงและความแข็งแรงต่อแรงด้นทะเล จึงลดลง ในขณะที่เมื่อนำเยื่อปาล์มน้ำมันไปแทนที่เยื่อใยสั้น ซึ่งเส้นใยจากปาล์มน้ำมันมีค่าความยาวของเส้นใยสูงกว่าเล็กน้อย (จากตารางที่ 10 ค่าความยาวเฉลี่ยของเส้นใยของเยื่อใยสั้นเท่ากับ 0.70 มิลลิเมตร) จึงให้ค่าความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเช่นกัน เนื่องจากมีพื้นที่ในการสร้างพันธะบนเส้นใยมีมากขึ้น

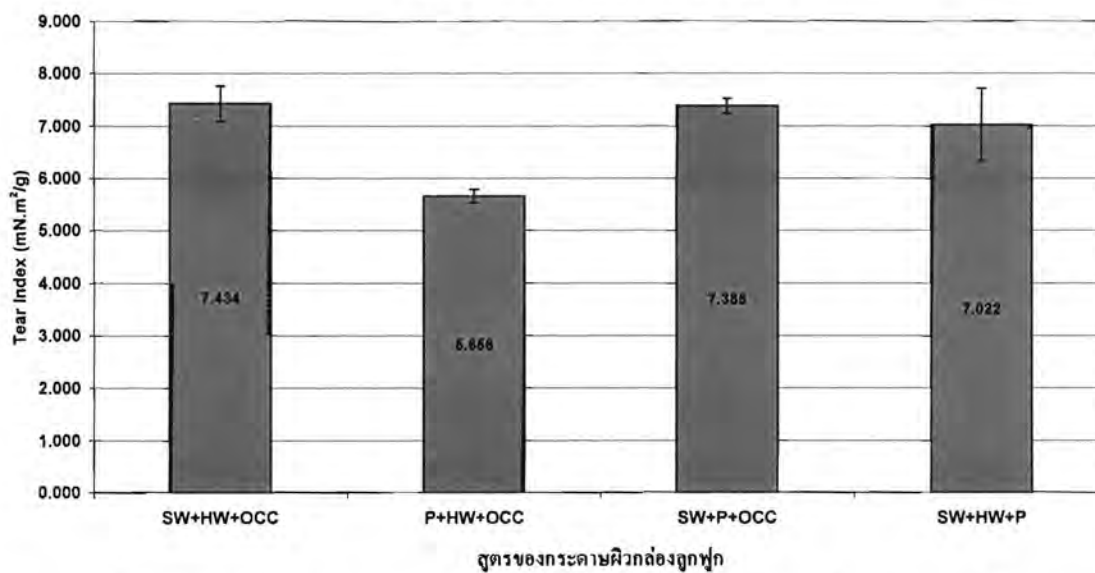
ส่วนเยื่อกล่อ่งกระดาดลูกฟูกเก่านั้นเป็นเยื่อรีไซเคิลซึ่งเส้นใยมีขนาดสั้นลงกว่าเดิม และมีความสามารถในการสร้างพันธะลดลง ดังนั้นเมื่อนำเยื่อปาล์มน้ำมันไปแทนที่เยื่อกล่อ่งลูกฟูกเก่าแล้ว จึงส่งผลให้กระดาดที่ได้มีความแข็งแรงขึ้นอย่างมาก เนื่องจากเยื่อปาล์มน้ำมันมีความสามารถในการสร้างพันธะที่ดีกว่าเยื่อรีไซเคิลมาก ด้วยความยาวเส้นใยที่มีสูงกว่า

ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (Burst Index)



ภาพที่ 34: ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษสูตรต่างๆ เมื่อ SW แทนเยื่อใยยาว HW แทนเยื่อใยสั้น P แทนเยื่อปาล์มน้ำมัน และ OCC แทนเยื่อกล่องกระดาษลูกฟูกเก่า

ดัชนีความต้านทานต่อแรงฉีก (Tear Index)



ภาพที่ 35: ค่าดัชนีความต้านทานต่อแรงฉีกของกระดาษสูตรต่างๆ เมื่อ SW แทนเยื่อใยยาว HW แทนเยื่อใยสั้น P แทนเยื่อปาล์มน้ำมัน และ OCC แทนเยื่อกล่องกระดาษลูกฟูกเก่า

สำหรับดัชนีความต้านทานต่อแรงฉีกของกระดาษดังแสดงในภาพที่ 35 นั้น พบว่า กระดาษที่ผลิตได้จากแต่ละสูตรให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นในกรณีที่น่าเยื่อปาล์มน้ำมันไปแทนที่เยื่อใยยาว ซึ่งให้ค่าดัชนีความต้านทานต่อแรงฉีกต่ำที่สุด และต่ำกว่าสูตรกระดาษผิวกล่องเชิงพาณิชย์ ซึ่งสาเหตุน่าจะเกิดจากความยาวของเส้นใยที่แตกต่างกันมากระหว่างเยื่อปาล์มน้ำมันและเยื่อใยยาว ความต้านทานแรงฉีกเป็นสมบัติที่ขึ้นกับความยาวและความแข็งแรงของเส้นใยเป็นสำคัญ เมื่อเส้นใยมีขนาดที่แตกต่างกันมากย่อมส่งผลให้สมบัติในข้อนี้แตกต่างกันไปด้วย

จากสมบัติเชิงกลทั้งสามประการของกระดาษที่ผลิตได้ จึงสามารถสรุปได้ว่า เยื่อจากปาล์มน้ำมันไม่เหมาะสมในการนำไปแทนที่เยื่อใยยาวในการผลิตกระดาษเชิงพาณิชย์ เนื่องจากให้ค่าความแข็งแรงในด้านต่างๆ ต่ำ แต่อาจนำไปใช้แทนที่เยื่อใยสั้นและเยื่อจากกระดาษกล่องลูกฟูกเก่าได้ โดยจะให้ค่าความแข็งแรงต่างๆ ใกล้เคียงจนถึงสูงกว่าเยื่อใยสั้นเล็กน้อย และสูงกว่าเยื่อจากกระดาษกล่องลูกฟูกเก่า ดังนั้นจึงเลือกสูตรที่ 3 และสูตรที่ 4 คือ การนำเยื่อปาล์มน้ำมันมาแทนที่เยื่อใยสั้น (SW+P+OCC) และนำเยื่อปาล์มน้ำมันมาแทนที่เยื่อกล่องกระดาษลูกฟูกเก่า (SW+HW+P) ในการทดลองตอนที่ 3 ต่อไป

ตอนที่ 2: การหาปริมาณสารเติมแต่งที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษผิวกล่องลูกฟูก

จากการทดลองการหาปริมาณสารเติมแต่งที่เหมาะสมเพื่อใช้ในสูตรกระดาษผิวกล่องลูกฟูก ได้ผลตามตารางที่ 12

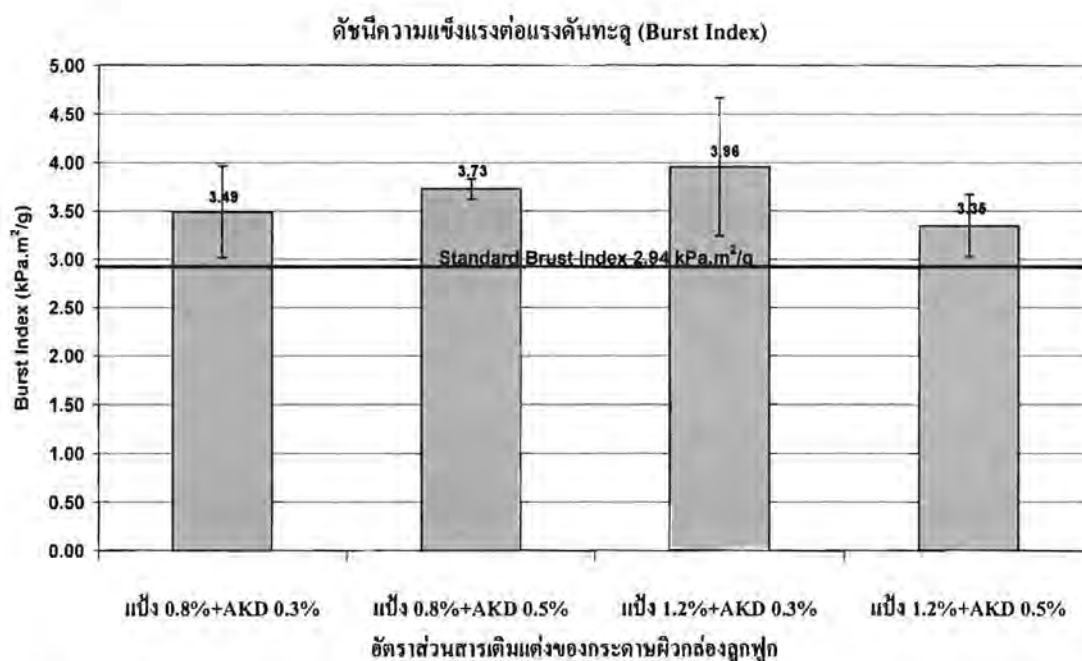
ตารางที่ 12: ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุและการดูดซึมน้ำกับปริมาณของสารเติมแต่งของกระดาษผิวกล่องลูกฟูก

สภาวะที่	ปริมาณสารเติมแต่ง	ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (kPa m ² /g)	ค่าการดูดซึมน้ำ (Cobb) (g/m ²)	
			ด้านบน	ด้านล่าง
1	แป้ง 0.8%+AKD 0.3%	3.490	32.300	32.100
2	แป้ง 0.8%+AKD 0.5%	3.728	32.100	31.800
3	แป้ง 1.2%+AKD 0.3%	3.956	33.300	34.200
4	แป้ง 1.2%+AKD 0.5%	3.346	29.800	30.300

จากตารางที่ 12 พบว่า ทุกสภาวะให้ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุสูงกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.94 kPa m²/g และเมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษจากเยื่อเชิงพาณิชย์ล้วนซึ่งยังไม่ได้ใส่สารเติมแต่งจากการทดลองตอนที่ 1 (จากภาพที่ 34 ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อ

แรงดันทะลุเท่ากับ 2.549 kPa m²/g) พบว่าการใส่แป้งทำให้ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุเพิ่มขึ้น เนื่องจากแป้งจะไปช่วยเพิ่มพันธะภายในกระดาษทำให้กระดาษมีความแข็งแรงมากขึ้น

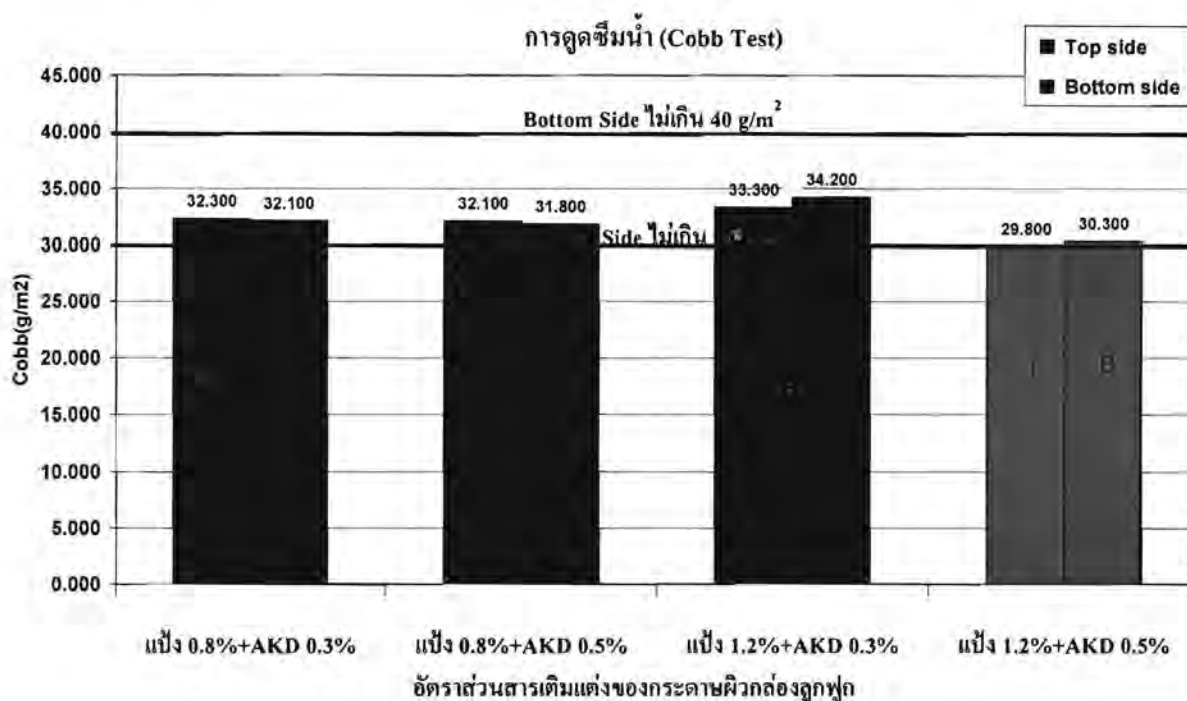
เมื่อพิจารณาค่าการดูดซึมน้ำด้านบน (Top side) พบว่ามีเพียงสภาวะที่ 4 ที่มีการใส่แป้งร้อยละ 1.2 และ AKD ร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ที่ให้ค่าการดูดซึมน้ำเป็นไปตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนด ซึ่งมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 30 g/ m² ส่วนสภาวะอื่นๆ จะให้ค่าการดูดซึมน้ำไม่ผ่านตามที่มาตรฐานกำหนด แต่ก็มีค่าไม่ต่างจากเกณฑ์มาตรฐานมากนัก และเมื่อพิจารณาค่าการดูดซึมน้ำด้านล่าง (Bottom side) พบว่าทุกสภาวะมีค่าการดูดซึมน้ำเป็นไปตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนด คือต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 40 g/m²



ภาพที่ 36: ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุกับอัตราส่วนของสารเติมแต่งของกระดาษฝิวกล่องลูกฟูก

ภาพที่ 36 และภาพที่ 37 แสดงค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุและค่าการดูดซึมน้ำทั้งสองด้านของกระดาษทั้ง 4 สภาวะโดยมีเส้นมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำกับอยู่ ซึ่งจากการพิจารณาค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุและค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษด้านบนและด้านล่างของทั้ง 4 สภาวะ จึงเลือกสภาวะที่ 2 ที่มีการใส่แป้งร้อยละ 0.8 และ AKD ร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เพื่อใช้ในการทดลองตอนที่ 3 เนื่องจากเป็นสภาวะที่ให้ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุค่อนข้างสูงและเมื่อพิจารณา ร่วมกับค่าการดูดซึมน้ำด้านล่างของกระดาษมีค่าเป็นไปตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนด และค่าการดูดซึมน้ำด้านบนมีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานกำหนด ส่วนสภาวะที่ 4 นั้น มีค่าการดูดซึมน้ำทั้งสองด้านเป็นไปตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดก็จริง แต่ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดัน

ทะลุมีค่าต่ำที่สุด ซึ่งอาจเกิดจากการมีประจุบวก (ทั้งจากแป้งและ AKD) มากเกินไปในระบบ ทำให้เส้นใยไม่สามารถทำพันธะกันได้ดีนัก ดังนั้นจึงไม่เลือกใช้สภาวะนี้ในการทดลองต่อไป



ภาพที่ 37: ค่าการดูดซึมน้ำกับอัตราส่วนของสารเติมแต่งของกระดาษผิวกล่องลูกฟูก

โดย T แสดงถึง Top side และ B แสดงถึง Bottom side

ตอนที่ 3: การศึกษาสมบัติของกระดาษผิวกล่องลูกฟูกที่ใช้เยื่อปาล์มน้ำมันทดแทนเยื่อเชิงพาณิชย์

จากการทดลองในตอนต้นที่ 1 จึงได้เลือกสูตรที่ใช้ในการทำการทดลองดังนี้

สูตรที่ 1. สูตรกระดาษผิวกล่องลูกฟูกเชิงพาณิชย์ (SW 18.5% + HW 6.5% + OCC 75%)

สูตรที่ 2. นำเยื่อปาล์มน้ำมันไปแทนที่เยื่อใยสั้น (SW 18.5% + P 6.5% + OCC 75%)

สูตรที่ 3. นำเยื่อปาล์มน้ำมันไปแทนที่เยื่อกล่องกระดาษลูกฟูกเก่าร้อยละ 100 (SW 18.5% + HW 6.5% + P 75%)

สูตรที่ 4. นำเยื่อปาล์มน้ำมันไปแทนที่เยื่อกล่องกระดาษลูกฟูกเก่าประมาณร้อยละ 50 ซึ่งเป็นสูตรกระดาษผิวกล่องที่เพิ่มเติมขึ้นมา (SW 18.5% + HW 6.5% + OCC 40% + P 35%)

จากนั้นนำน้ำเยื่อแต่ละสูตรมาผสมแป้ง 0.8% และ AKD 0.5% ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ซึ่งเป็นสภาวะที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2 แล้วนำน้ำเยื่อไปขึ้นแผ่นทดสอบ (แผ่นกระดาษ) ตามมาตรฐาน ISO 5269-2 ให้มีน้ำหนักมาตรฐาน 125 กรัมต่อตารางเมตร

ตารางที่ 13 แสดงสมบัติพื้นฐานของกระดาษตัวอย่างที่ได้ ได้แก่ น้ำหนักมาตรฐาน ความหนา และความหนาแน่นปรากฏซึ่งได้จากการคำนวณ (น้ำหนักมาตรฐานเฉลี่ยหารด้วยความหนาเฉลี่ย) ซึ่งพบว่า

กระดาษตัวอย่างในสูตรที่ 2 ที่มีการแทนที่เยื่อใยสั้นด้วยเยื่อปาล์มนั้น มีน้ำหนักมาตรฐานที่ต่ำกว่าสูตรอื่นๆ พอสมควร ส่งผลให้ความหนาของกระดาษต่ำไปด้วย แต่เมื่อคำนวณหาความหนาแน่นปรากฏ พบว่ามีค่าสูงกว่าตัวอย่างสูตรอื่น ทั้งๆ ที่เส้นใยปาล์มน้ำมันมีขนาดที่ยาวกว่าเส้นใยจากเยื่อใยสั้น (ตารางที่ 10) จึงสันนิษฐานได้ว่าน่าจะเป็นเพราะเส้นใยปาล์มน้ำมันสามารถแนบตัวกับเส้นใยรอบข้างได้ดีกว่าเส้นใยของเยื่อใยสั้น ทำให้เมื่อผลิตเป็นกระดาษแล้วจะได้กระดาษที่เนื้อแน่นกว่า

ตารางที่ 13: น้ำหนักมาตรฐาน ความหนา และความหนาแน่นปรากฏของแผ่นทดสอบที่มีการผสมเยื่อปาล์มน้ำมันในสัดส่วนต่างๆ (ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

สูตรกระดาษผิวกล่องลูกฟูก	น้ำหนักมาตรฐาน (g/m ²)	ความหนา (mm)	ความหนาแน่นปรากฏ (g/cm ³)
สูตร 1: SW+HW+OCC	138.47 \pm 2.153	0.216 \pm 0.0173	0.641
สูตร 2: SW+P+OCC	122.17 \pm 3.812	0.182 \pm 0.0119	0.672
สูตร 3: SW+HW+P	139.87 \pm 4.667	0.217 \pm 0.0235	0.646
สูตร 4: SW+HW+OCC40%+P35%	143.95 \pm 2.160	0.218 \pm 0.0145	0.659

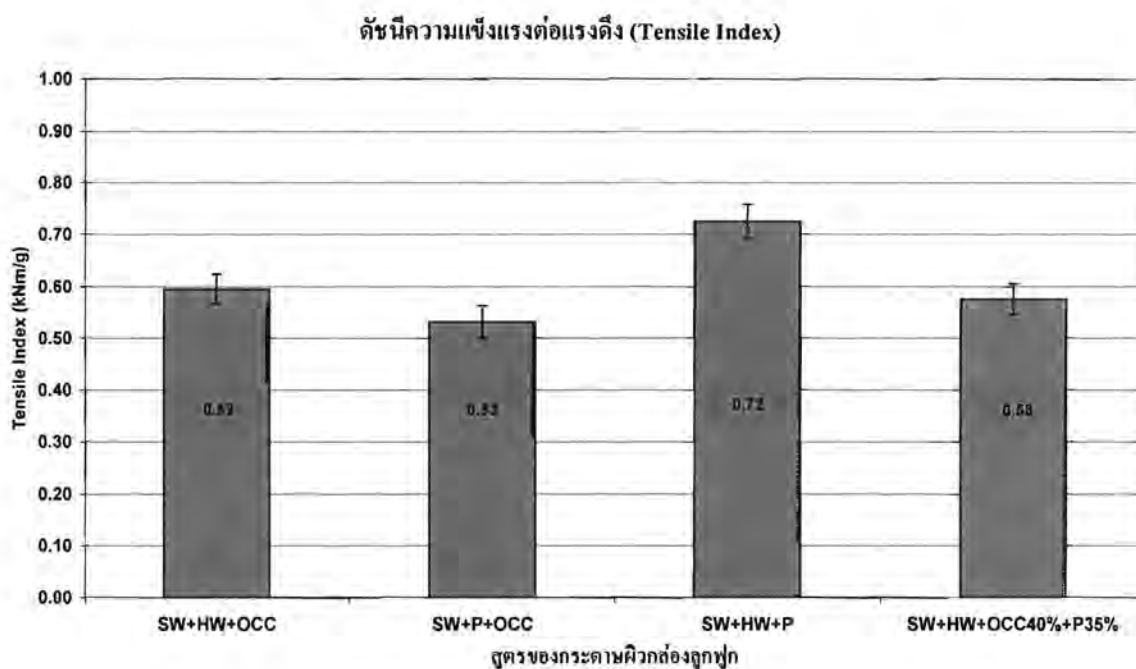
ตารางที่ 14: ค่าความขาวสว่าง (Brightness) และค่าความทึบแสง (Opacity) ของแผ่นทดสอบที่มีการผสมเยื่อปาล์มน้ำมันในสัดส่วนต่างๆ

สูตรกระดาษผิวกล่องลูกฟูก	Brightness (%ISO)	Opacity (%)
สูตร 1: SW+HW+OCC	30.816	99.962
สูตร 2: SW+P+OCC	29.408	99.956
สูตร 3: SW+HW+P	18.724	99.828
สูตร 4: SW+HW+OCC40%+P35%	25.232	100.018

จากการทดสอบสมบัติเชิงแสงของกระดาษผิวกล่องลูกฟูกทั้ง 4 สูตร ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 14 เมื่อพิจารณาสมบัติเชิงแสงของกระดาษผิวกล่องลูกฟูกแต่ละสูตร พบว่า กระดาษผิวกล่องลูกฟูกสูตรที่มีการใส่เยื่อปาล์มน้ำมันจะมีค่าความขาวสว่างลดลงเมื่อเทียบกับกระดาษผิวกล่องลูกฟูกจากเยื่อเชิงพาณิชย์ล้วน และยังใช้เยื่อปาล์มน้ำมันในสัดส่วนที่สูงขึ้น (สูตร 1 < สูตร 2 < สูตร 4 < สูตร 3) ความขาวสว่างของกระดาษจะยิ่งลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเยื่อกระดาษจากปาล์มน้ำมันมีสีน้ำตาลดำและไม่ได้

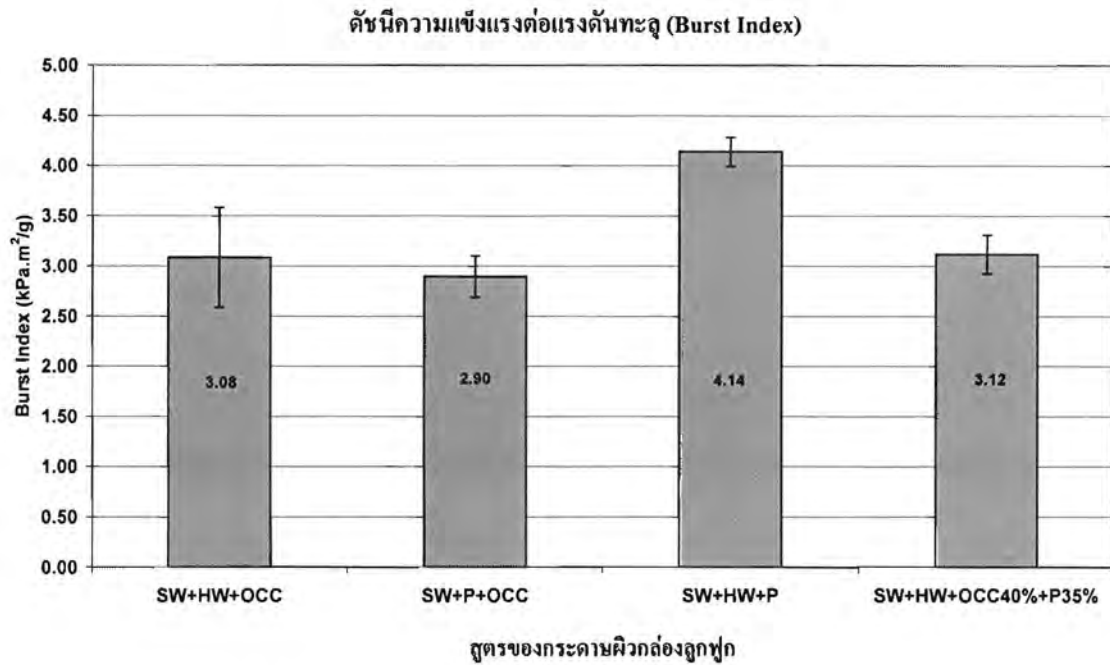
ผ่านการพอกเยื่อ จึงมีผลทำให้ความขาวสว่างของกระดาษลดลง แม้แต่ในกรณีที่น่าไปทดแทนเยื่อจากกล่องลูกฟูกเก่าที่มีสีน้ำตาล ก็ยังทำให้ความขาวสว่างลดลงเช่นกัน สำหรับความทึบแสงนั้น พบว่ากระดาษผิวกล่องลูกฟูกทุกสูตรมีค่าความทึบแสงใกล้เคียง 100 % เนื่องจากแผ่นทดสอบที่ใช้ค่อนข้างหนา (125 กรัมต่อตารางเมตร)

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของกระดาษผิวกล่องลูกฟูกทั้ง 4 สูตร ได้แก่ ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึง ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ และดัชนีความต้านทานต่อแรงฉีก ได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 38, ภาพที่ 39 และภาพที่ 40 ตามลำดับ

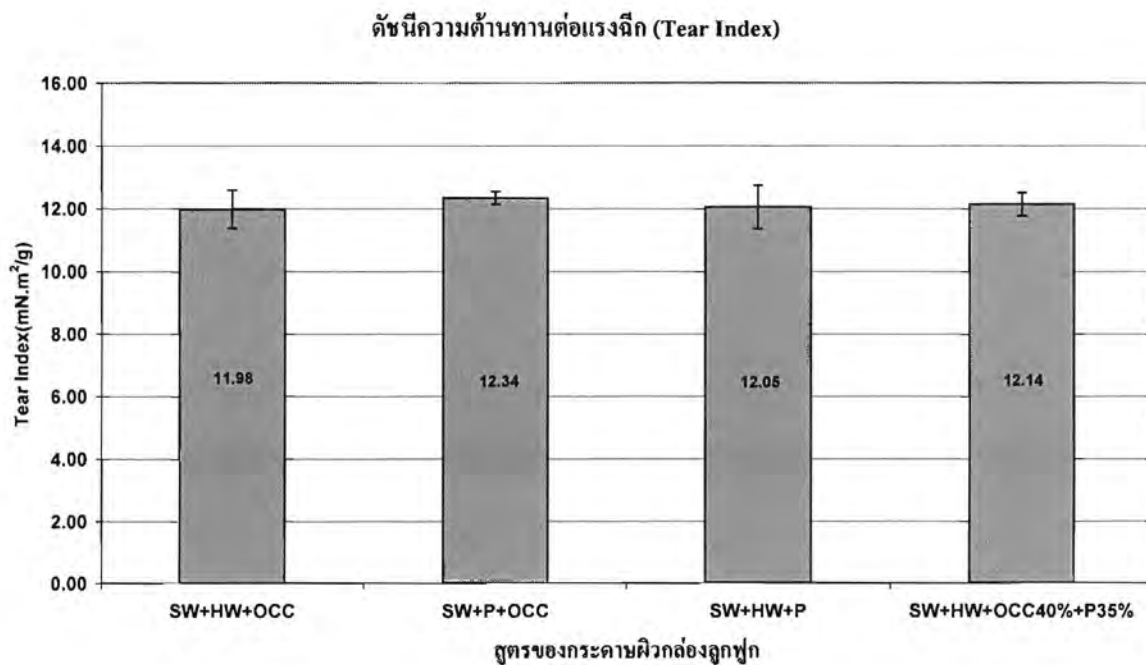


ภาพที่ 38: ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษผิวกล่องลูกฟูกสูตรต่างๆ

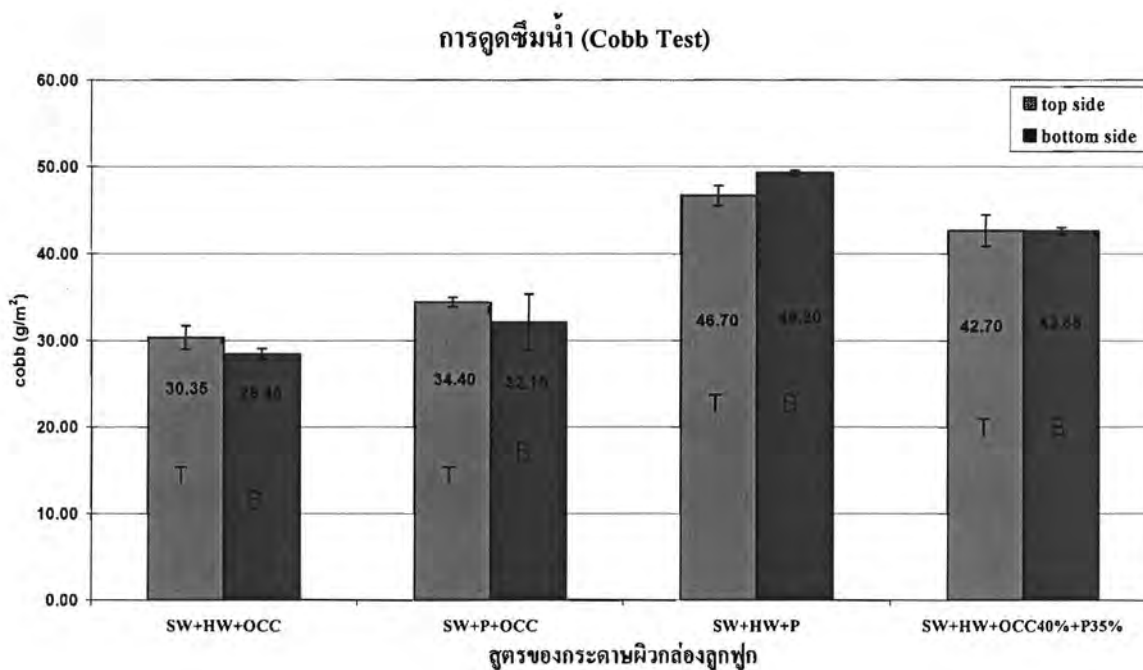
จากผลการทดลองดังปรากฏในภาพที่ 38, ภาพที่ 39 และภาพที่ 40 พบว่า การแทนที่เยื่อใยสั้นด้วยเยื่อปาล์มน้ำมันส่งผลให้กระดาษมีความแข็งแรงต่อแรงดึงลดลงเล็กน้อย แต่ไม่ส่งผลให้ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุหรือความต้านทานแรงฉีกเปลี่ยนไปอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่เมื่อนำเยื่อปาล์มน้ำมันไปแทนที่เยื่อจากกล่องลูกฟูกเก่าจะส่งผลให้ความแข็งแรงต่อแรงดึงและความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษเพิ่มขึ้น โดยจะเห็นผลได้ชัดเจนเมื่อใช้เยื่อปาล์มในปริมาณมาก คือ ในสูตรที่แทนที่เยื่อกล่องลูกฟูกเก่าทั้งหมดด้วยเยื่อปาล์มน้ำมัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เยื่อปาล์มน้ำมันมีความสามารถในการสร้างพันธะได้ใกล้เคียงหรือดีกว่าเยื่อใยสั้นเล็กน้อย แต่ดีกว่าเยื่อรีไซเคิลจากกระดาษกล่องลูกฟูกเก่าอย่างมาก ส่วนความยาวและความแข็งแรงของเส้นใยจากเยื่อใยสั้น เยื่อปาล์มน้ำมัน และเยื่อกระดาษกล่องลูกฟูกเก่าจะใกล้เคียงกัน เนื่องจากให้ค่าความต้านทานแรงฉีกที่ไม่แตกต่างกัน



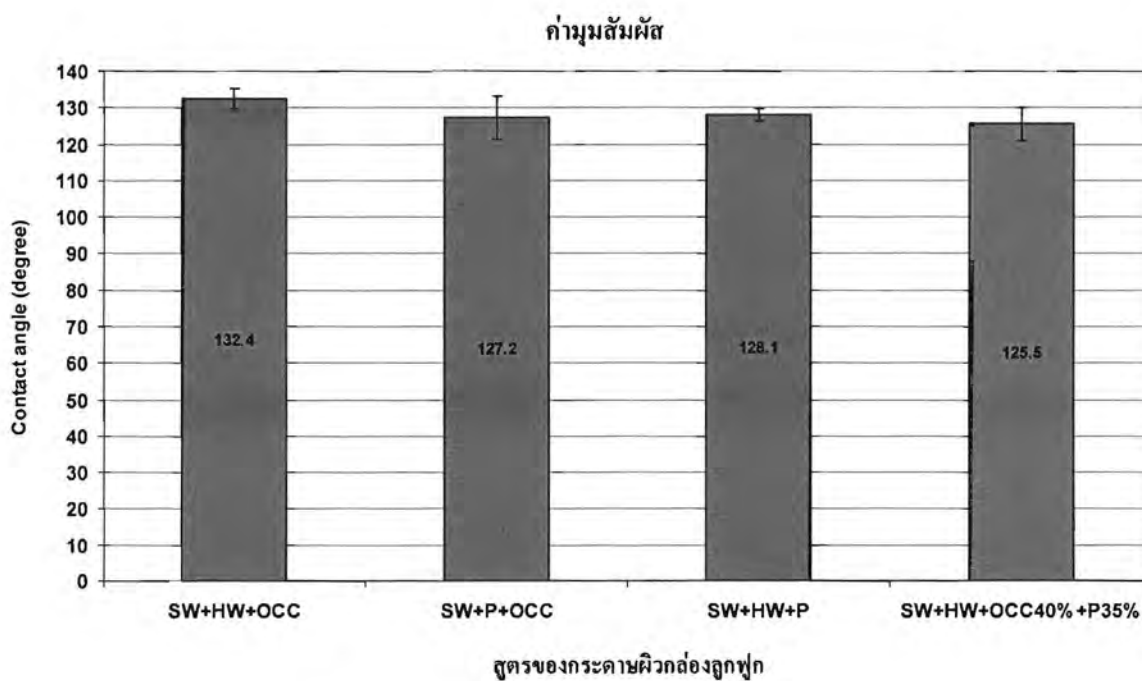
ภาพที่ 39: ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษผิวกล่องลูกฟูกสูตรต่างๆ



ภาพที่ 40: ดัชนีความต้านทานต่อแรงฉีกของกระดาษผิวกล่องลูกฟูกสูตรต่างๆ



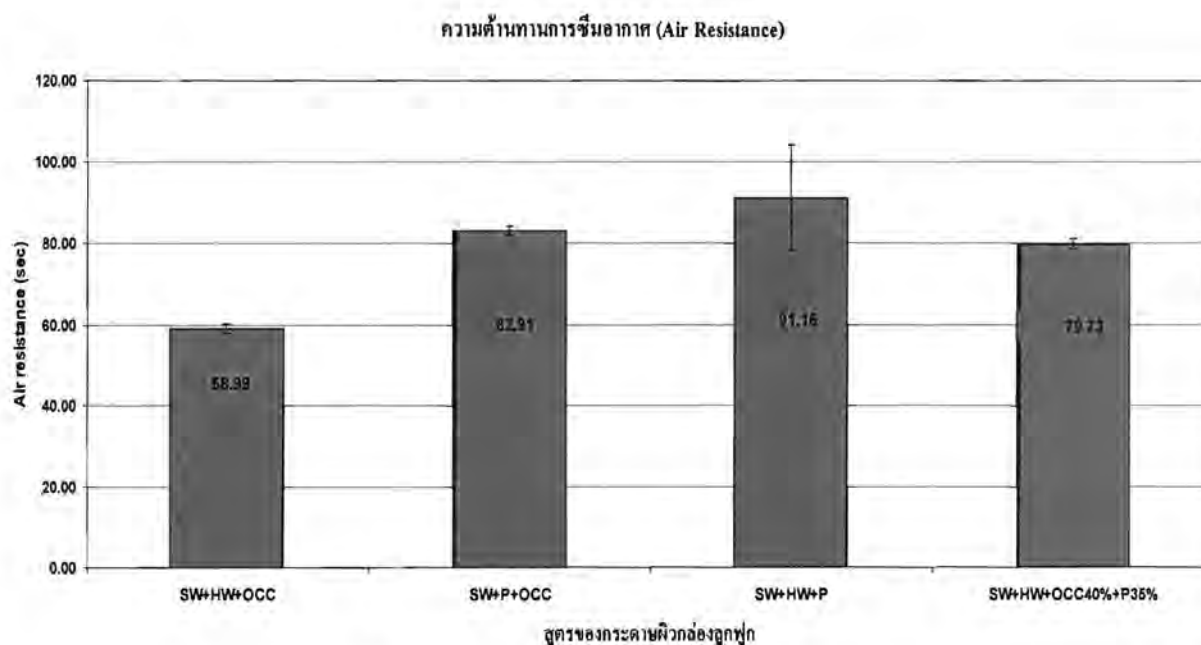
ภาพที่ 41: ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษผิวกล่องลูกฟูกแต่ละสูตร
โดย T แสดงถึง Top side และ B แสดงถึง Bottom side



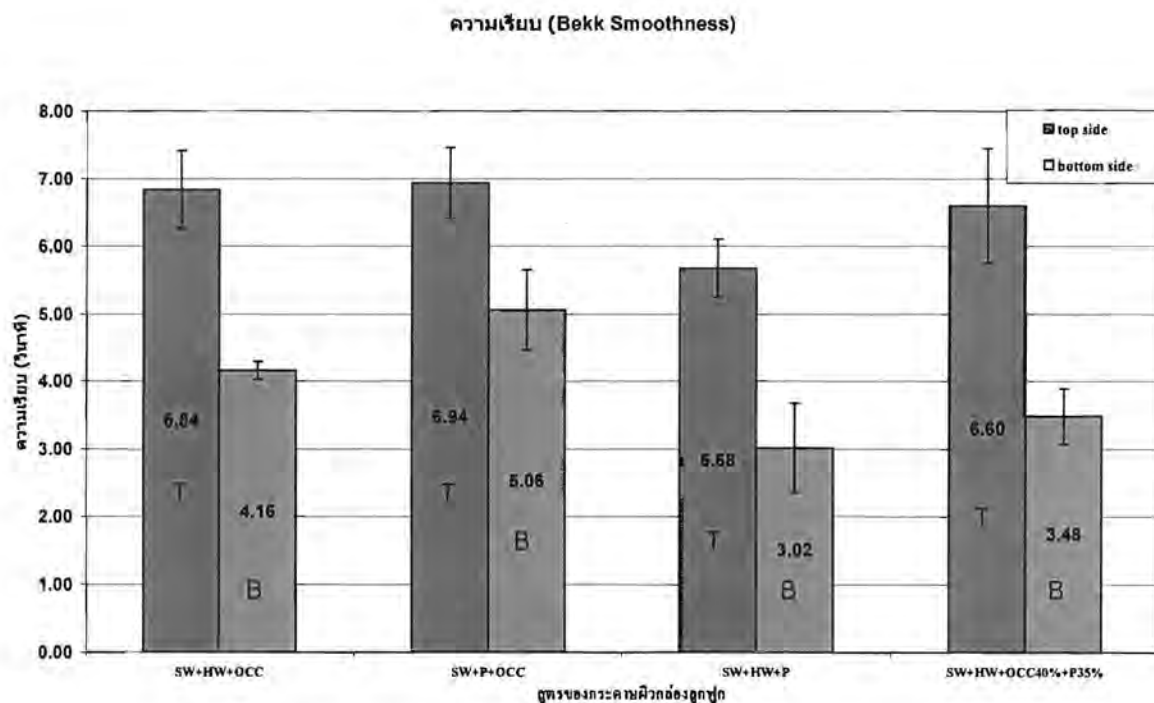
ภาพที่ 42: ค่ามุมสัมผัสของกระดาษผิวกล่องลูกฟูกแต่ละสูตร

เมื่อนำกระดาษผิวกล่องสูตรต่างๆ มาทดสอบการดูดซึมน้ำ และความสามารถในการเปียกผิวโดยวิธีวัดมุมสัมผัสผิวน้ำ ได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 41 และภาพที่ 42 ตามลำดับ ซึ่งจากภาพที่ 41 จะเห็นได้ว่า กระดาษสูตรที่มีเยื่อปาล์มน้ำมันผสมอยู่จะสามารถดูดซึมน้ำได้มากกว่ากระดาษจากเยื่อเชิงพาณิชย์ล้วน และยังใช้เยื่อปาล์มน้ำมันในสัดส่วนที่สูงขึ้น (สูตร 1 < สูตร 2 < สูตร 4 < สูตร 3) การดูดซึมน้ำของกระดาษจะยิ่งเพิ่มขึ้น แสดงว่าเยื่อปาล์มน้ำมันสามารถดูดซึมน้ำได้มากกว่าเยื่อใยสั้นและเยื่อกล่องกระดาษลูกฟูกเก่า หรือเยื่อปาล์มน้ำมันอาจส่งผลให้การกักเก็บสารกันซึมลดลงก็เป็นได้ จึงมีผลทำให้การต้านทานการซึมน้ำลดน้อยลง และจากภาพที่ 42 จะเห็นว่าค่ามุมสัมผัสมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการใช้เยื่อปาล์มน้ำมันมาแทนที่เยื่อเชิงพาณิชย์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำมีการเปียกผิวกระดาษได้ดีขึ้น

จากการทดสอบความต้านทานการซึมผ่านของอากาศและความเรียบของผิวกระดาษได้ผลดังแสดงในภาพที่ 43 และภาพที่ 44 ตามลำดับ จากการทดลองพบว่า การแทนที่เยื่อใยสั้นและเยื่อกระดาษกล่องลูกฟูกเก่าด้วยเยื่อปาล์มน้ำมันส่งผลให้ความต้านทานการซึมผ่านของอากาศเพิ่มขึ้น ซึ่งโดยปกติแล้วความสามารถในการยอมให้อากาศไหลผ่านจะขึ้นกับความพรุนของโครงสร้างกระดาษ ดังนั้นจึงอาจเป็นได้ว่าเส้นใยปาล์มน้ำมันแนบตัวกับเส้นใยอื่นๆ ได้ดีกว่า ทำให้กระดาษมีรูพรุนลดลง อย่างไรก็ตาม การใช้เยื่อปาล์มน้ำมันทดแทนเยื่อจากกระดาษกล่องลูกฟูกเก่าจะทำให้กระดาษมีผิวหน้าที่หยาบขึ้น โดยหากใช้เยื่อปาล์มน้ำมันแทนเยื่อจากกล่องลูกฟูกเก่าทั้งหมด (คิดเป็นร้อยละ 75 ของปริมาณเยื่อทั้งหมด) จะทำให้ความเรียบลดลงถึงร้อยละ 17 สำหรับผิวด้านบน และร้อยละ 27 สำหรับผิวด้านล่าง



ภาพที่ 43: ค่าความต้านทานการซึมอากาศของกระดาษผิวกล่องลูกฟูกแต่ละสูตร



ภาพที่ 44: ความเรียบของกระดาษฉนวนกล่องลูกฟูกแต่ละสูตร
โดย T แสดงถึง Top side และ B แสดงถึง Bottom side

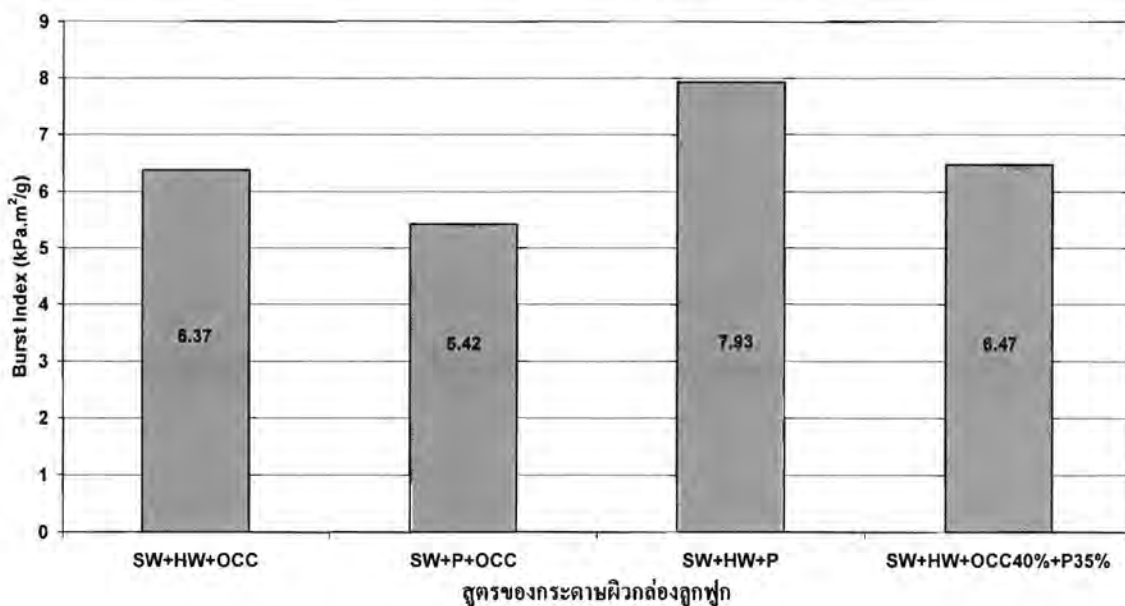
ผลการทดลองส่วนที่ 4: การทดสอบสมบัติเชิงบรรจุกัมมันต์ของกระดาษฉนวนกล่องลูกฟูกที่ผลิตได้จากเยื่อเชิงพาณิชย์ผสมกับเยื่อปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบดเยื่อแล้วในสัดส่วนต่างๆ

จากการนำกระดาษลูกฟูกที่ผลิตจากกระดาษฉนวนกล่องทั้ง 4 สูตร ที่ได้จากการทดลองในส่วนที่ 3 ได้แก่ กระดาษฉนวนกล่องเชิงพาณิชย์ (SW+HW+OCC) กระดาษฉนวนกล่องที่แทนเยื่อใยสั้นด้วยเยื่อปาล์มน้ำมัน (SW+P+OCC) กระดาษฉนวนกล่องที่แทนเยื่อกล่องกระดาษลูกฟูกเก่าด้วยเยื่อปาล์มน้ำมันทั้งหมด (SW+HW+P) และ กระดาษฉนวนกล่องที่แทนเยื่อกล่องกระดาษลูกฟูกเก่าด้วยเยื่อปาล์มน้ำมันบางส่วน (SW+HW+OCC40%+P35%) มาทดสอบสมบัติเชิงบรรจุกัมมันต์ ได้แก่ ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษลูกฟูก ความต้านทานแรงกดของกระดาษลูกฟูกตามแนวนอน (Flat Crush Test; FCT) และความแข็งแรงต่อแรงกดของกระดาษลูกฟูกในแนวตั้ง (Edgewise Compressive Strength; ECT) ได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 45, ภาพที่ 46 และภาพที่ 47 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษลูกฟูก พบว่ามีแนวโน้มที่สอดคล้องกับความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษฉนวน ดังที่ได้แสดงไว้ในภาพที่ 45 กล่าวคือ การแทนที่เยื่อจากกล่องลูกฟูกเก่าด้วยเยื่อปาล์มน้ำมันจะส่งผลให้ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษเพิ่มขึ้น โดยจะเห็นผลได้ชัดเจนเมื่อใช้เยื่อปาล์มน้ำมันในปริมาณมาก คือ ในสูตรที่แทนที่เยื่อกล่องลูกฟูกเก่าทั้งหมดด้วยเยื่อปาล์มน้ำมัน ทั้งนี้ น่าจะเป็นเพราะเยื่อปาล์มน้ำมันมีความสามารถในการสร้างพันธะที่ตึกกว่าเยื่อจาก

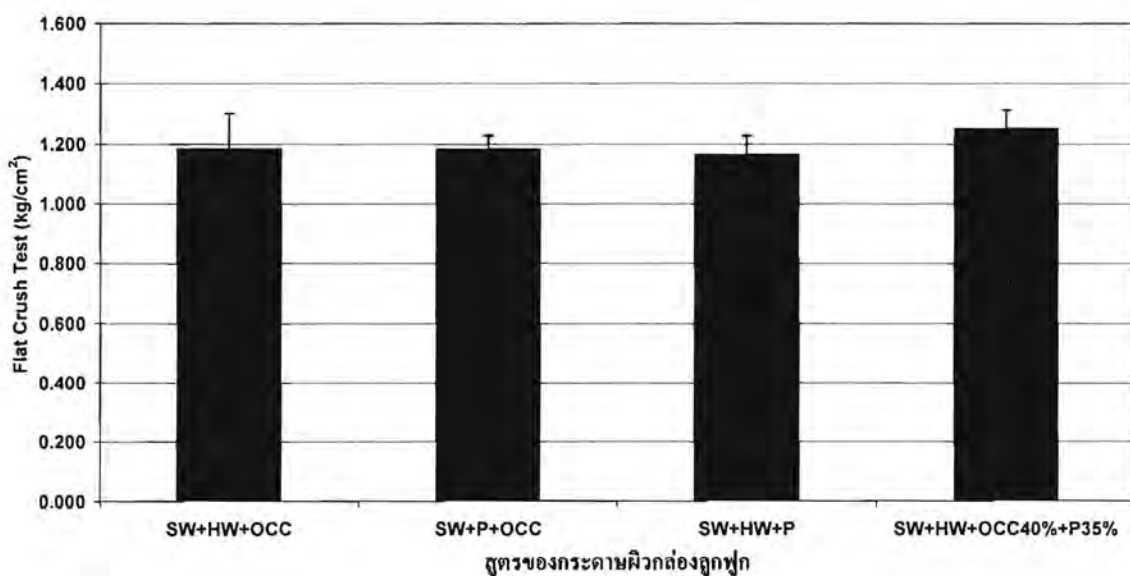
กล่องลูกฟูกเก่าที่เป็นเยื่อรีไซเคิล อย่างไรก็ตาม เยื่อปาล์มน้ำมันยังมีคุณภาพที่ดีกว่าเยื่อใยสั้น จึงทำให้ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษลดลงเมื่อนำไปแทนที่เยื่อใยสั้น

ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (Burst Index)



ภาพที่ 45: ดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษลูกฟูกสูตรต่างๆ

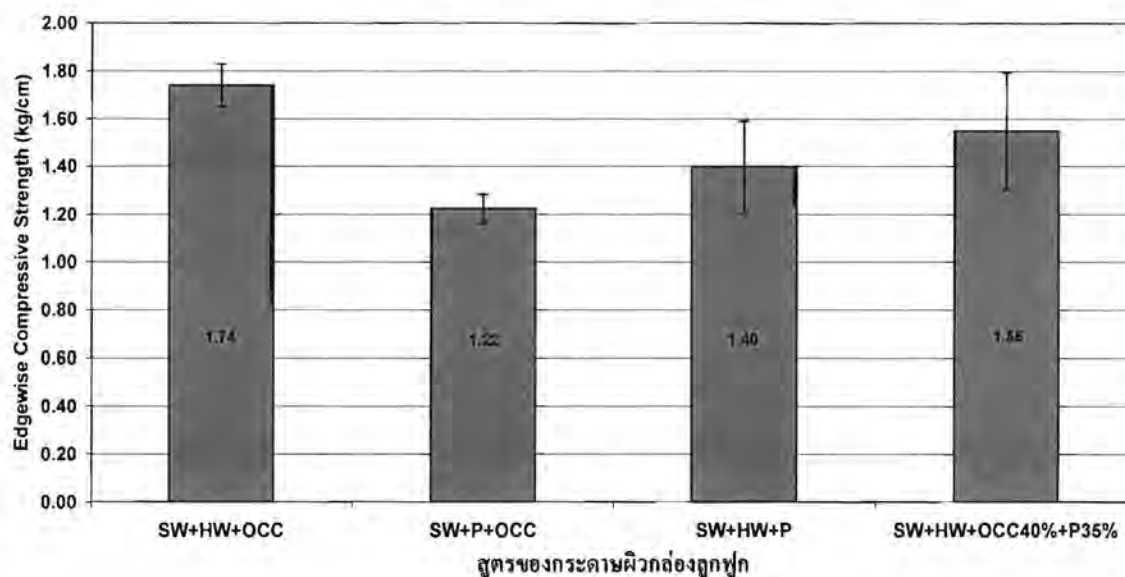
ความต้านทานแรงกดของกระดาษลูกฟูกตามแนวนอน (Flat Crush Test)



ภาพที่ 46: ความต้านทานแรงกดของกระดาษลูกฟูกตามแนวนอนของกระดาษลูกฟูก (FCT)

เมื่อพิจารณาความต้านทานแรงกดของกระดาษลูกฟูกตามแนวนอน ดังภาพที่ 46 พบว่ากระดาษลูกฟูกที่ผลิตจากกระดาษฝิวกล่องทุกสูตร ให้ค่าความต้านทานแรงกดของกระดาษลูกฟูกตามแนวนอนใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากค่าความต้านทานแรงกดของกระดาษลูกฟูกตามแนวนอนจะขึ้นกับความแข็งแรงของตัวลอนลูกฟูกเป็นสำคัญ และไม่ได้รับอิทธิพลจากความแข็งแรงของกระดาษฝิวกล่องมากนัก

ความแข็งแรงต่อแรงกดของกระดาษลูกฟูกในแนวตั้ง (Edgewise Compressive Strength)



ภาพที่ 47: ความแข็งแรงต่อแรงกดของกระดาษลูกฟูกในแนวตั้งของกระดาษลูกฟูก (ECT)

ความแข็งแรงต่อแรงกดของกระดาษลูกฟูกในแนวตั้ง ดังแสดงในภาพที่ 47 แสดงให้เห็นว่ากระดาษลูกฟูกที่ผลิตจากกระดาษฝิวกล่องทุกสูตรที่มีการนำเยื่อปาล์มน้ำมันมาแทนที่จะมีความแข็งแรงต่อแรงกดของกระดาษลูกฟูกในแนวตั้งต่ำกว่ากระดาษลูกฟูกจากเยื่อเชิงพาณิชย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสูตรที่ใช้เยื่อปาล์มน้ำมันมาแทนที่เยื่อไผ่ ซึ่งจริงๆ แล้ว คิดเป็นเพียง 6.5% ของปริมาณเยื่อทั้งหมด ทั้งนี้ น่าจะเป็นเพราะกระดาษจากเยื่อสูตรที่ 2 นั้น มีน้ำหนักมาตรฐานและความหนาที่ต่ำกว่ากระดาษสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 13) ส่วนสาเหตุที่ความแข็งแรงต่อแรงกดของกระดาษลูกฟูกในแนวตั้งลดลงเมื่อแทนที่เยื่อจากกล่องลูกฟูกเก่าด้วยเยื่อปาล์มน้ำมันนั้น อาจเป็นเพราะโดยทั่วไปเยื่อที่มาจากระบวนการรีไซเคิลมักจะมีลักษณะกระด้าง และสูญเสียความสามารถในการดูดความชื้นและบวมตัว เนื่องจากเกิด Hornification เมื่อนำเยื่อปาล์มน้ำมันซึ่งมีความอ่อนนุ่มและยืดหยุ่นตัวดีกว่าไปแทนที่จึงทำให้ความแข็งแรงของกระดาษลดลง ความแข็งแรงต่อแรงกดของกระดาษลูกฟูกในแนวตั้งจึงลดลงไปด้วย

ผลการทดลองส่วนที่ 5: การวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์หลังจากที่ได้นำกระดาษผิวกล่องลูกฟูกที่ผลิตจากเยื่อเชิงพาณิชย์ผสมกับเยื่อปาล์มน้ำมันมาทดลองพิมพ์ด้วยหมึกเชิงพาณิชย์

1. คุณภาพของภาพพิมพ์บริเวณพื้นตาย

การวิจัยนี้กำหนดสภาวะการพิมพ์ภาพบริเวณพื้นตาย โดยการใช้ลูกกลิ้งแอนนิลอกที่มีความละเอียดแตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 150 เส้นต่อนิ้ว (line per inch, lpi) , 200 lpi, 250 lpi และ 350 lpi (หรือคิดเป็นปริมาตรบ่อหมึก 16 มิลลิลิตร/ตารางเมตร (ml/m^2), 11 ml/m^2 , 9 ml/m^2 และ 7 ml/m^2 ตามลำดับ) ทั้งหมด 4 สภาวะ เมื่อถ่ายโอนหมึกพิมพ์จากลูกกลิ้งแอนนิลอกลงแม่พิมพ์เพล็กโซกราฟี แล้วพิมพ์ลงบนกระดาษผิวกล่องที่ผลิตโดยการใช้เยื่อจากปาล์มน้ำมันทดแทนเยื่อเชิงพาณิชย์ 4 สูตร คือ

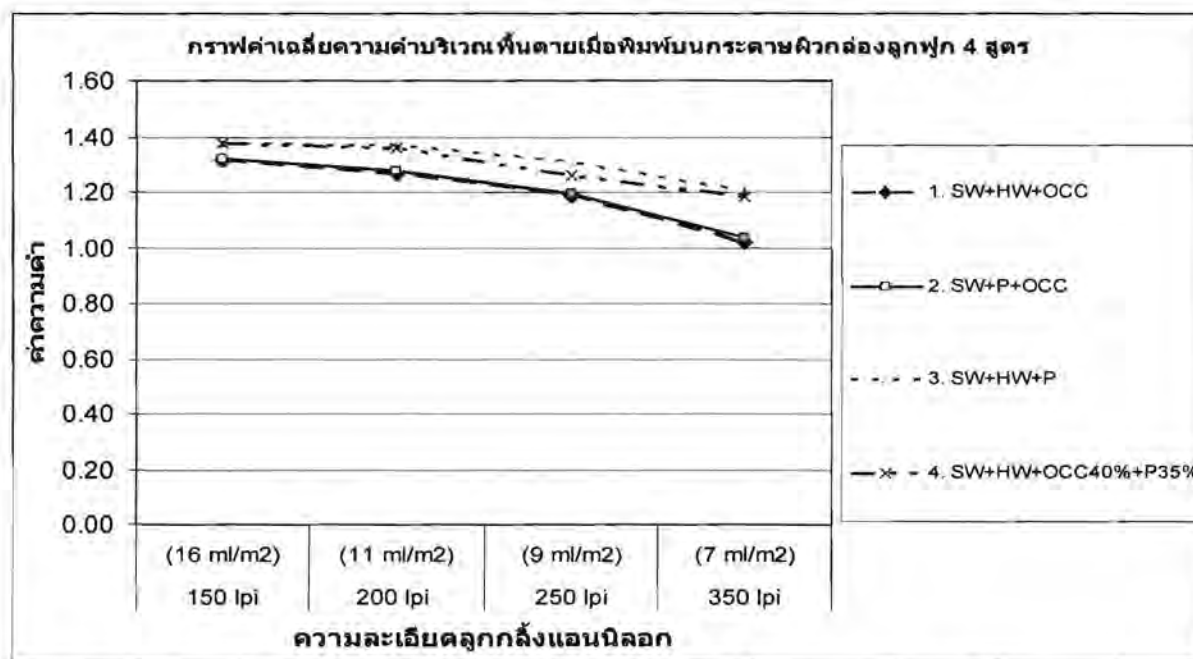
- สูตรที่ 1. กระดาษผิวกล่องเชิงพาณิชย์ (SW 18.5% + HW 6.5% + OCC 75%)
- สูตรที่ 2. นำเยื่อปาล์มน้ำมันไปแทนที่เยื่อใยสั้น (SW 18.5% + P 6.5% + OCC 75%)
- สูตรที่ 3. นำเยื่อปาล์มน้ำมันไปแทนที่เยื่อกล่องกระดาษลูกฟูกเก่าร้อยละ 100 (SW 18.5% + HW 6.5% + P 75%)
- สูตรที่ 4. นำเยื่อปาล์มน้ำมันไปแทนที่เยื่อกล่องกระดาษลูกฟูกประมาณร้อยละ 50 ซึ่งเป็นสูตรกระดาษผิวกล่องที่เพิ่มเติมขึ้นมา (SW 18.5% + HW 6.5% + OCC 40% + P 35%)

จากนั้นทดสอบคุณภาพของภาพพิมพ์พื้นตาย 2 ลักษณะ คือ ความดำ (Print Density) โดยการวัดค่าด้วยเครื่องวัดความดำ และความเรียบสม่ำเสมอ (Evenness) โดยวิเคราะห์ค่าระดับสีเทาจากภาพสแกนจากเครื่องกราฟดแบบแท่นราบ ได้ผลดังนี้

1.1 ความดำ (Print density)

จากภาพที่ 48 พิจารณาเปรียบเทียบค่าความดำเฉลี่ยบริเวณพื้นตายระหว่างกระดาษทั้ง 4 สูตร เมื่อพิมพ์ด้วยปริมาตรหมึกเท่ากัน พบว่า

- กระดาษสูตร 3 ให้ความดำมากที่สุด
- กระดาษสูตร 1 และ 2 มีความดำพื้นตายใกล้เคียงกัน
- กระดาษสูตร 3 และ 4 มีความดำพื้นตายใกล้เคียงกัน
- กระดาษสูตร 3 และ 4 มีความดำพื้นตายมากกว่า กระดาษสูตร 1 และ 2



ภาพที่ 48: ค่าเฉลี่ยความดำบริเวณพื้นตายเมื่อพิมพ์ด้วยความละเอียดลูกกลิ้งแอนนิลอก (Ink Anilox resolution) 4 ระดับบนกระดาษผิวกลองลูกฟูก 4 สูตร

- เมื่อเทียบค่าความดำเฉลี่ยบริเวณพื้นตายที่ได้จากการพิมพ์ในปริมาตรหมึกต่างกัน 4 ระดับ พบว่า
- กระดาษสูตร 1 และ 2 มีแนวโน้มให้ความดำลดลงตามปริมาตรหมึกที่ลดลงมากกว่ากระดาษสูตร 3 และ 4 ซึ่งมีความดำค่อนข้างคงที่กว่า แม้จะพิมพ์ด้วยปริมาตรหมึกพิมพ์ที่ลดลงก็ตาม
 - เมื่อเทียบระหว่างกระดาษสูตร 3 และ 4 พบว่า กระดาษสูตร 3 ให้ความดำที่คงที่มากกว่ากระดาษสูตร 4 เล็กน้อยเมื่อพิมพ์ด้วยปริมาตรหมึกพิมพ์ที่ลดลง
 - กระดาษสูตร 3 และ 4 สามารถนำไปพิมพ์พื้นตายได้ความดำสูงสุด เมื่อพิมพ์โดยใช้ปริมาตรหมึกพิมพ์ 16 ml/m² (150 lpi)
 - สามารถเรียงลำดับผลความดำพื้นตายเฉลี่ยจากน้อยที่สุดไปมากที่สุดได้ดังนี้ 7 ml/m² (350 lpi) < 9 ml/m² (250 lpi) < 11 ml/m² (200 lpi) < 16 ml/m² (150 lpi) ตามลำดับ โดยลำดับน้อยไปมากเป็นเช่นนี้สำหรับกระดาษผิวกลองทั้ง 4 สูตร นั่นคือ ไม่ว่าจะใช้กระดาษผิวกลองสูตรใด ความดำพื้นตายที่ได้ก็จะแปรตามปริมาตรหมึกพิมพ์ หรือในอีกนัยหนึ่งคือเมื่อใช้ปริมาตรหมึกพิมพ์มาก ความดำพื้นตายก็สูงตามไปด้วย

แต่ทั้งนี้เมื่อใช้ปริมาตรหมึก 11 ml/m² (200 lpi) และ 16 ml/m² (150 lpi) แนวโน้มความดำพื้นตายสูงสุดที่พิมพ์บนกระดาษผิวกลองสูตร 3 และ 4 ค่อนข้างใกล้เคียงกัน คือประมาณต่ำกว่า 1.4 เล็กน้อย และเมื่อพิจารณาตามกราฟในภาพที่ 48 แล้ว แม้จะพิมพ์โดยใช้ปริมาณหมึกพิมพ์มากกว่า 16 ml/m² (150 lpi)

กระดาษฉีกกล่องสูตร 3 และ 4 ไม่มีแนวโน้มที่จะให้ความดำพื้นตายสูงกว่า 1.4 ได้ ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจาก เมื่อพิมพ์หมึกพิมพ์ปริมาณมากขึ้นจนถึงระดับที่หมึกซึมลงไปใต้อกกระดาษเต็มที่ และความหนาของชั้นฟิล์มหมึกที่เหลือกองอยู่บนผิวหน้ากระดาษหนาจนไม่สามารถเห็นทะลุถึงผิวกระดาษได้แล้ว ความหนาของชั้นฟิล์มหมึกจะไม่มีผลต่อค่าความดำอีกต่อไป ค่าความดำจะคงที่ที่ค่าความดำซึ่งเป็นค่าสูงสุดของหมึกพิมพ์นั้น

1.2 ความเรียบสม่ำเสมอ (Evenness)

ความเรียบสม่ำเสมอของภาพพิมพ์บริเวณพื้นตาย สามารถพิจารณาได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของค่าระดับสีเทาของภาพสแกนภาพพิมพ์บริเวณพื้นตาย โดยทั่วไปเมื่อทำการพิมพ์พื้นตาย บริเวณพื้นตายนั้นควรมีความเข้มสีเท่ากันทั่วทั้งบริเวณ หากมีส่วนใดส่วนหนึ่งมีความเข้มสีมากหรือน้อยกว่าบริเวณส่วนใหญ่ ภาพพิมพ์พื้นตายก็จะไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นหากภาพพิมพ์พื้นตายมีความเรียบสม่ำเสมอแล้ว เมื่อนำไปสแกนจะได้ค่าระดับสีเทาของแต่ละพิกเซลในภาพเท่ากัน หากภาพมีความเรียบสม่ำเสมอ น้อย จำนวนพิกเซลที่มีค่าสีเทาแตกต่างออกไปจะมาก ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าระดับสีเทาก็จะมากขึ้นไปด้วย

ตารางที่ 15: ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เฉลี่ยของค่าระดับสีเทาของภาพสแกนบริเวณพื้นตายบนกระดาษฉีกกล่องลูกฟูก 4 สูตร

กระดาษฉีกกล่องลูกฟูก	SD
สูตรที่ 1. SW+HW+OCC	6.12
สูตรที่ 2. SW+P+OCC	6.05
สูตรที่ 3. SW+HW+P	5.30
สูตรที่ 4. SW+HW+P35%+OCC40%	5.09

จากตารางที่ 15 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อพิมพ์พื้นตายบนกระดาษฉีกกล่องลูกฟูกทั้ง 4 สูตร ได้ผลค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าระดับสีเทาเรียงลำดับจากน้อยไปมากได้ดังนี้ คือ กระดาษสูตร 4 < กระดาษสูตร 3 < กระดาษสูตร 2 < กระดาษสูตร 1 นั้นหมายถึง ภาพพิมพ์บริเวณพื้นตายของกระดาษสูตร 4 มีความเรียบสม่ำเสมอมากที่สุด และกระดาษสูตร 3, กระดาษสูตร 2 และกระดาษสูตร 1 มีความเรียบสม่ำเสมอของภาพพื้นตายน้อยลงไปตามลำดับ

ทั้งนี้สามารถแบ่งกลุ่มของความเรียบสม่ำเสมอของภาพพื้นตายที่พิมพ์บนกระดาษทั้งหมด 4 สูตร ออกเป็น 2 กลุ่มได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน คือ

- 1) กลุ่มที่ให้ความเรียบสม่ำเสมอของภาพพื้นตายต่ำ ประกอบด้วยกระดาษสูตร 1 และกระดาษสูตร 2 ซึ่งมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 6.12 และ 6.05 ตามลำดับ (ค่าต่างกันเพียง 0.07)
- 2) กลุ่มที่ให้ความเรียบสม่ำเสมอของภาพพื้นตายสูง ประกอบด้วยกระดาษสูตร 3 และกระดาษสูตร 4 ซึ่งมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 5.30 และ 5.09 ตามลำดับ โดยกระดาษสูตร 1 มีค่าน้อยกว่ากระดาษสูตร 2 เท่ากับ 0.21 (กระดาษสูตร 1 เรียบสม่ำเสมอมากกว่ากระดาษสูตร 2 เล็กน้อย)

จะเห็นว่ากระดาษผิวกล่องซึ่งมีส่วนผสมของเยื่อปาล์มแทนที่เยื่อกล่องกระดาษลูกฟูกเก่าในปริมาณมากกว่า 35% ทั้งกระดาษสูตร 3 และกระดาษสูตร 4 สามารถให้งานพิมพ์พื้นตายที่มีความเรียบสม่ำเสมอมากกว่ากระดาษสูตร 1 และกระดาษสูตร 2

ผลการทดลองนี้ค่อนข้างสอดคล้องกับผลการศึกษาสมบัติของกระดาษผิวกล่องทั้ง 4 สูตรในด้านการดูดซึมน้ำ นั่นคือ เมื่อนำเยื่อปาล์มมาผสมในสัดส่วนที่สูงขึ้น ส่งผลให้กระดาษผิวกล่องมีสมบัติในการดูดซึมน้ำได้ดีขึ้น สามารถรับหมึกฐานน้ำได้ดีขึ้น เมื่อพิมพ์ภาพพื้นตายจึงให้ความเรียบสม่ำเสมอมากขึ้น แต่ทั้งนี้ หากกระดาษสามารถดูดซึมน้ำได้ดีเกินไป เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกฐานน้ำแล้วจะทำให้หมึกถูกดูดซึมลงในเนื้อกระดาษมากเกินไปจนชั้นฟิล์มหมึกที่เหลืออยู่บนผิวกระดาษไม่สามารถปิดผิวกระดาษได้ ทำให้มองเห็นผิวกระดาษบางส่วน ความเรียบสม่ำเสมอของภาพพิมพ์ที่ได้จึงน้อยลง เช่นในกรณีของกระดาษผิวกล่องสูตร 3 แม้จะมีความสามารถในการดูดซึมน้ำดีกว่ากระดาษสูตร 4 แต่เมื่อนำไปพิมพ์ภาพพื้นตาย ความเรียบสม่ำเสมอของภาพพิมพ์ที่ได้กลับต่ำกว่า นั่นคือ กระดาษผิวกล่องสูตร 3 มีความสามารถในการดูดซึมหมึกพิมพ์ได้ดีเกินไป จนทำให้ฟิล์มหมึกพิมพ์ที่เหลืออยู่บนผิวกระดาษไม่พอที่จะปิดผิวได้เรียบสม่ำเสมอเท่ากับภาพพิมพ์พื้นตายบนกระดาษสูตร 4

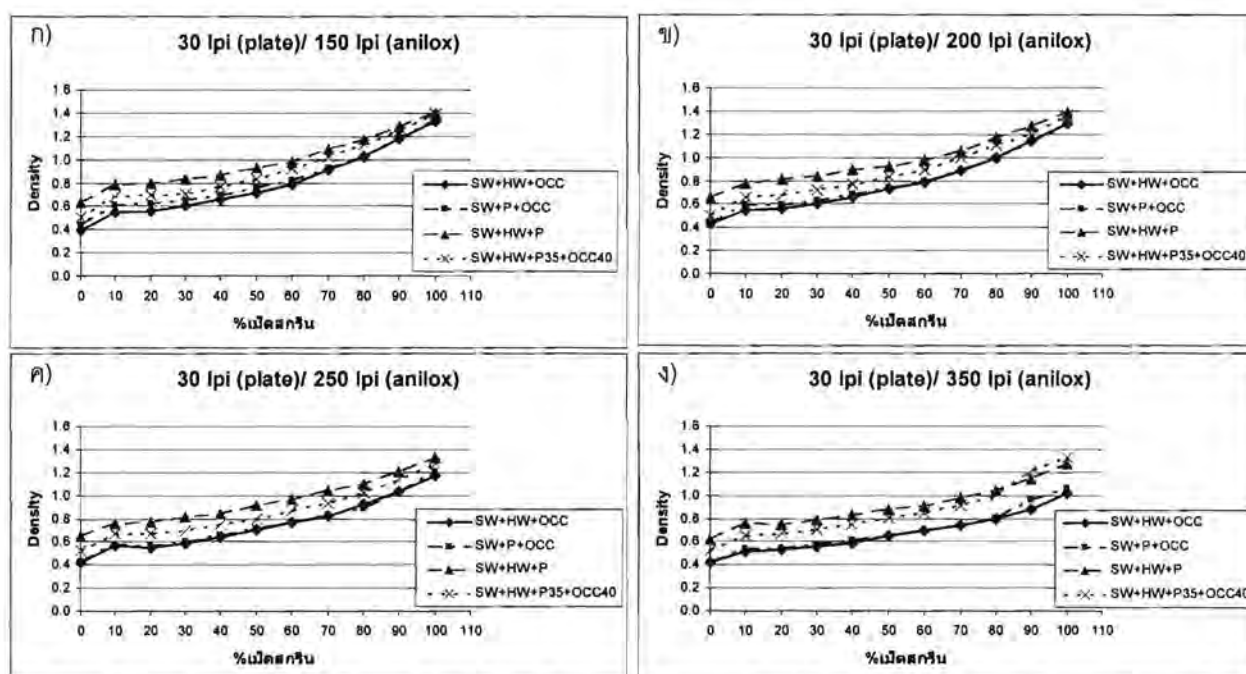
2. คุณภาพของภาพพิมพ์บริเวณฮาล์ฟโทน

ในการวัดคุณภาพของภาพพิมพ์บริเวณฮาล์ฟโทนสำหรับการวิจัยนี้ กำหนดสภาวะการพิมพ์ภาพบริเวณฮาล์ฟโทน 2 ขั้นตอน คือ ใช้ลูกกลิ้งแอนนิลอกที่มีความละเอียดแตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 150 lpi, 200 lpi, 250 lpi และ 350 lpi (หรือคิดเป็นปริมาตรพ่นหมึก 16 ml/m², 11 ml/m², 9 ml/m² และ 7 ml/m² ตามลำดับ) และใช้ความละเอียดการพิมพ์แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 35 lpi, 50 lpi, 65 lpi และ 85 lpi รวมทั้งหมด 16 สภาวะ พิมพ์ลงบนกระดาษผิวกล่องที่ผลิตโดยการใช้เยื่อจากปาล์มน้ำมันทดแทนเยื่อเชิงพาณิชย์ 4 สูตร จากนั้นจึงตรวจสอบคุณภาพของภาพพิมพ์ฮาล์ฟโทน 3 ลักษณะ คือ ความดำช่วงฮาล์ฟโทน (Density of halftone) ความเปรียบต่าง (Contrast) และค่าเม็ดสกรีนบวม (Dot gain) วัดโดยเครื่องวัดความดำ ได้ผลดังนี้

2.1 ความดำช่วงฮาฟโทน (Density of halftone)

ค่าความดำช่วงฮาฟโทนนั้นเป็นค่าที่ใช้ในการประเมินคุณภาพงานพิมพ์ภาพฮาฟโทนว่าจะสามารถมีการไล่โทนสีดีเพียงใด ในทางอุดมคติ ภาพพิมพ์ฮาฟโทนที่เปอร์เซ็นต์สกรีนเท่ากับ 0 จะมีความดำเป็น 0 (หรือเท่ากับความดำของผิวกระดาษ) เนื่องจากเป็นช่วงที่ไม่มีหมึกพิมพ์ หรือเม็ดสกรีนพิมพ์อยู่ และช่วงเปอร์เซ็นต์สกรีนเท่ากับ 100 เป็นช่วงที่มีหมึกพิมพ์ครอบคลุมทั้งพื้นที่ (พื้นตาย) ค่าความดำที่ได้จะเป็นความดำของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ที่อยู่บนผิวกระดาษรวมกับความดำของผิวกระดาษ (ในกรณีที่ใช้หมึกพิมพ์ที่โปร่งแสง) ส่วนช่วงโทนระหว่าง 0% - 100% ควรจะมีค่าความดำไล่โทนกันอย่างต่อเนื่อง ไม่กระโดด พิจารณาได้จากกราฟระหว่างค่าความดำและเปอร์เซ็นต์เม็ดสกรีน เส้นกราฟที่ได้ควรเป็นเส้นตรงในแนวทแยง

ภาพที่ 49 ก), ข), ค) และ ง) เป็นกราฟแสดงค่าความดำที่ได้จากการพิมพ์ไล่โทนตั้งแต่เปอร์เซ็นต์เม็ดสกรีน 0 ถึง 100 บนกระดาษผิวกล่อง 4 ชนิด ที่ความละเอียดการพิมพ์เป็น 30 lpi และปรับปริมาณหมึกพิมพ์ต่างกัน 4 ระดับโดยใช้ความละเอียดลูกกลิ้งแอนนิลอกเป็น 150 lpi, 200 lpi, 250 lpi และ 350 lpi (หรือคิดเป็นปริมาตรบอหมึก 16 ml/m², 11 ml/m², 9 ml/m² และ 7 ml/m² ตามลำดับ)



ภาพที่ 49: ค่าความดำบริเวณฮาฟโทน 0-100 เปอร์เซ็นต์เม็ดสกรีน เมื่อพิมพ์บนกระดาษผิวกล่อง 4 สูตร โดยใช้ความละเอียดการพิมพ์ (lpi plate) เป็น 30 lpi และความละเอียดลูกกลิ้งแอนนิลอก (lpi anilox) เป็น ก) 150 lpi, ข) 200 lpi, ค) 250 lpi และ ง) 350 lpi

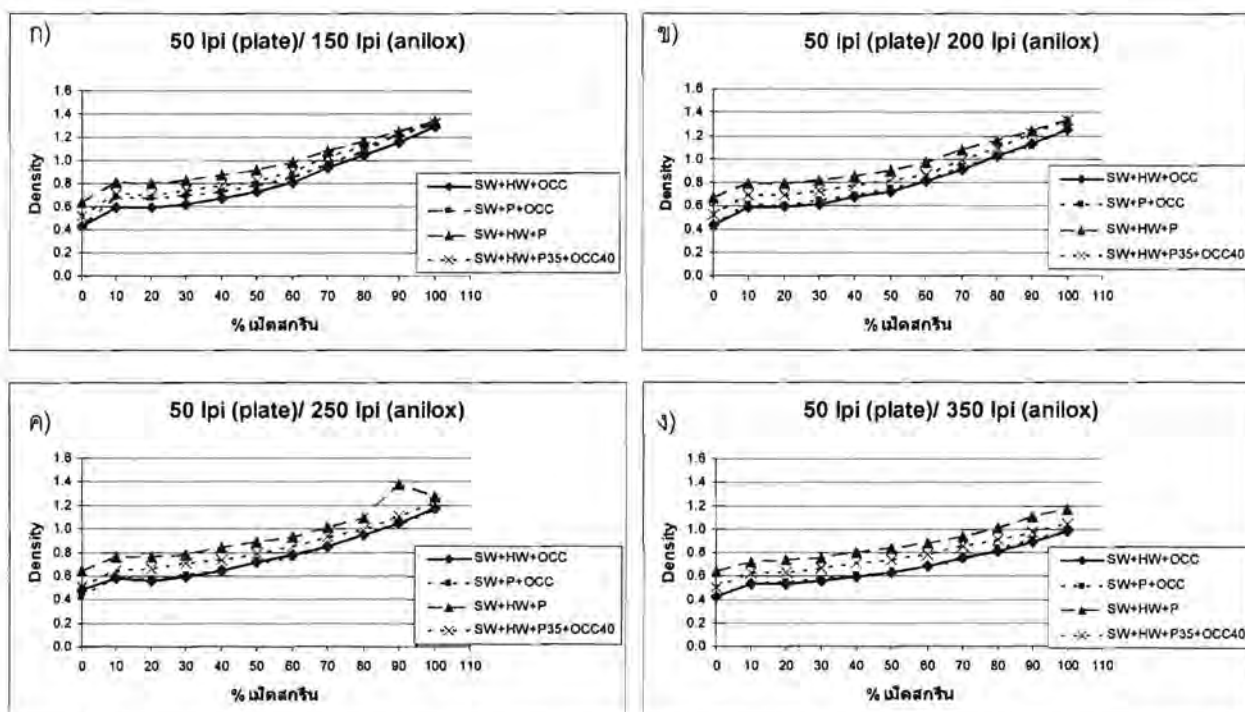
เมื่อเทียบการพิมพ์โดยใช้ปริมาตรหมึกพิมพ์แตกต่างกัน 4 ระดับ ระหว่างภาพที่ 49 ก), ข), ค) และ ง) พบว่า แม้จะใช้ปริมาตรหมึกพิมพ์แตกต่างกัน ที่ช่วงเปอร์เซ็นต์สกรีนเท่ากับ 0 ก็ให้ค่าความดำต่ำสุดอยู่ที่ประมาณ 0.4 - 0.6 เท่าๆ กัน และช่วงเปอร์เซ็นต์สกรีนที่ประมาณ 10 - 50 ก็ให้ค่าความดำไม่แตกต่างกัน ในขณะที่เมื่อพิมพ์เปอร์เซ็นต์สกรีนเท่ากับ 100 ความดำสูงสุดมีค่าตั้งแต่ประมาณ 1.0 ถึง 1.4 โดยเมื่อใช้ปริมาตรหมึกพืมน้อยกว่า (เช่น ความละเอียดลูกกลิ้งแอนนิลอกเท่ากับ 350 lpi) ค่าความดำสูงสุดที่ได้จะต่ำกว่าเมื่อพิมพ์โดยใช้ปริมาตรหมึกพิมพ์มากกว่า เช่นเดียวกับในช่วงเปอร์เซ็นต์สกรีนตั้งแต่ 60 ถึง 90 ซึ่งให้ค่าความดำต่ำลง เมื่อพิมพ์ด้วยปริมาตรหมึกพืมน้อยลง ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อพิมพ์ที่เปอร์เซ็นต์สกรีนต่ำๆ ใช้ปริมาตรหมึกพิมพ์ไม่มากนัก การปรับความละเอียดลูกกลิ้งแอนนิลอกจึงมีผลไม่มากนักสำหรับการพิมพ์ที่ความละเอียดต่ำเช่นนี้ (30 lpi) แต่เมื่อพิมพ์ที่เปอร์เซ็นต์สกรีนสูงๆ การพิมพ์จำเป็นต้องใช้ปริมาตรหมึกพิมพ์มากขึ้น เมื่อให้ปริมาตรหมึกไม่เพียงพออาจทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ของแต่ละเม็ดสกรีนน้อยลง ความดำที่ได้จึงลดต่ำลง

สำหรับความต่อเนื่องของโทนนั้น สามารถพิจารณาได้จากรูปภาพแต่ละเส้นซึ่งหากมีการไล่โทนต่อเนื่องดี กราฟก็จะเป็นเส้นตรง แต่เมื่อพิจารณาเส้นกราฟในภาพที่ 49 ก), ข), ค) และ ง) จะเห็นว่าที่เปอร์เซ็นต์สกรีนเท่ากับ 10 มีการกระโดดของโทนเล็กน้อย และการกระโดดของโทนที่เปอร์เซ็นต์เม็ดสกรีนเท่ากับ 10 นี้ลดน้อยลงเมื่อใช้ปริมาตรหมึกพิมพ์ลดลง ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการกดพิมพ์ในระบบการพิมพ์พื้นนูน (เฟล็กโซกราฟี) นั้น ใช้แม่พิมพ์ที่มีความยืดหยุ่น โดยเฉพาะตรงบริเวณที่เม็ดสกรีนมีขนาดเล็กจะสามารถทนต่อแรงกดพิมพ์ได้น้อยกว่าบริเวณที่เม็ดสกรีนขนาดใหญ่กว่า เมื่อได้รับแรงกดจึงขยายพื้นที่ไปด้านข้างได้มากกว่า พื้นที่เม็ดพิมพ์ที่ได้จึงมีขนาดใหญ่กว่าปกติมากกว่าช่วงเปอร์เซ็นต์เม็ดสกรีนสูงๆ ซึ่งเม็ดสกรีนมีขนาดใหญ่กว่าจะทนแรงกดได้ดีกว่า และเมื่อใช้ปริมาตรหมึกพืมน้อยกว่าในการพิมพ์หมึกพิมพ์สามารถถ่ายทอดไปบนผิวกระดาษได้น้อยกว่า ความดำที่ได้จึงต่ำลง แม้พื้นที่ของเม็ดสกรีนจะใหญ่ขึ้นเนื่องจากการขยายพื้นที่ผิวแม่พิมพ์ แต่หมึกพิมพ์ที่ถ่ายทอดไปไม่มากจึงทำให้ความดำรวมน้อยกว่า โทนสีที่ได้จึงมีความต่อเนื่องมากกว่า

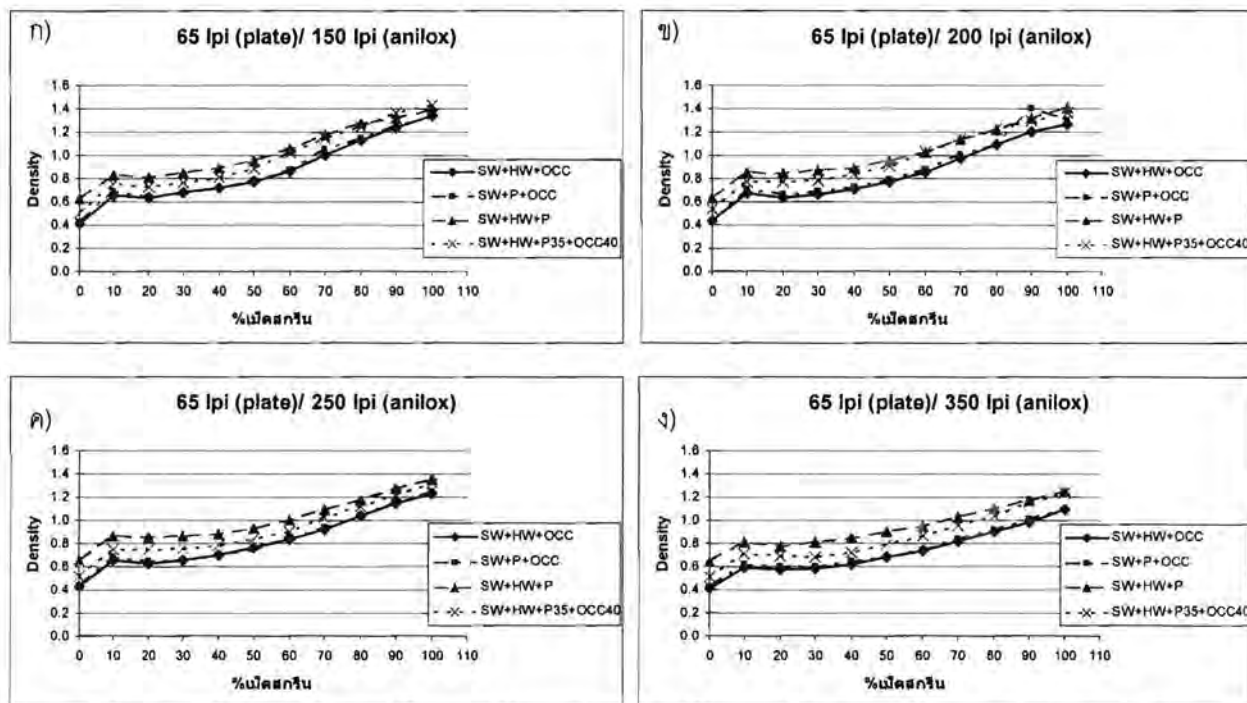
ในด้านความเปรียบต่างระหว่างแต่ละช่วงเปอร์เซ็นต์สกรีนพิจารณาได้จากความชันของเส้นกราฟสังเกตได้ว่าเส้นกราฟของกระดาษผิวกล่องทุกสูตรมีความชันมากกว่าเมื่อพิมพ์โดยใช้ลูกกลิ้งแอนนิลอก 150 lpi ซึ่งใกล้เคียงกันกับ 200 lpi แต่เมื่อพิมพ์ด้วยปริมาตรหมึกพืมน้อยลง (250 lpi และ 350 lpi) ความชันเส้นกราฟก็ลดลงไปด้วย โดยเฉพาะเมื่อพิมพ์บนกระดาษผิวกล่องสูตร 1 และสูตร 2 จะมีความแตกต่างของความชันเส้นกราฟเมื่อพิมพ์ด้วยหมึกปริมาตรต่างกันมากกว่ากระดาษสูตร 3 และสูตร 4 และยังพบว่าสำหรับการพิมพ์ที่ความละเอียดการพิมพ์เป็น 30 lpi นั้น เมื่อพิมพ์โดยใช้ลูกกลิ้งแอนนิลอก 150 lpi และ 200 lpi บนกระดาษผิวกล่องสูตร 1 และสูตร 2 จะให้ความชันของกราฟสูงสุด นั้นหมายถึงมีความเปรียบต่างของโทนสูงสุด ในขณะที่กระดาษสูตร 3 และสูตร 4 ให้ความเปรียบต่างต่ำกว่าแต่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาตรหมึกพิมพ์ที่เปลี่ยนไป ทั้งนี้การที่กระดาษสูตร 3 และสูตร 4 ให้ความเปรียบต่างระหว่าง

เปอร์เซ็นต์สกรีนต่ำกว่าต่างๆ ที่สามารถให้ความดำสูงสุดสูงกว่า อาจเป็นเพราะมีความดำต่ำสุดที่ 0 เปอร์เซ็นต์สกรีนมากกว่าของกระดาษสูตร 1 และสูตร 2 เนื่องจากกระดาษกระดาษสูตร 3 และสูตร 4 มีการใส่เยื่อปาล์มซึ่งมีสีน้ำตาลดำและไม่ได้ผ่านการฟอกเยื่อในปริมาณสูงกว่า ให้ความขาวสว่างต่ำกว่ากระดาษสูตร 1 ซึ่งเป็นเยื่อเชิงพาณิชย์ล้วน และกระดาษสูตร 2 ซึ่งมีการผสมเยื่อปาล์มในปริมาณต่ำกว่ามาก หากมีการนำเยื่อปาล์มไปฟอกก่อนนำมาใช้ น่าจะสามารถทำให้คุณภาพงานพิมพ์บนกระดาษสูตร 3 และสูตร 4 ในแง่การไล่โทนดีขึ้นได้

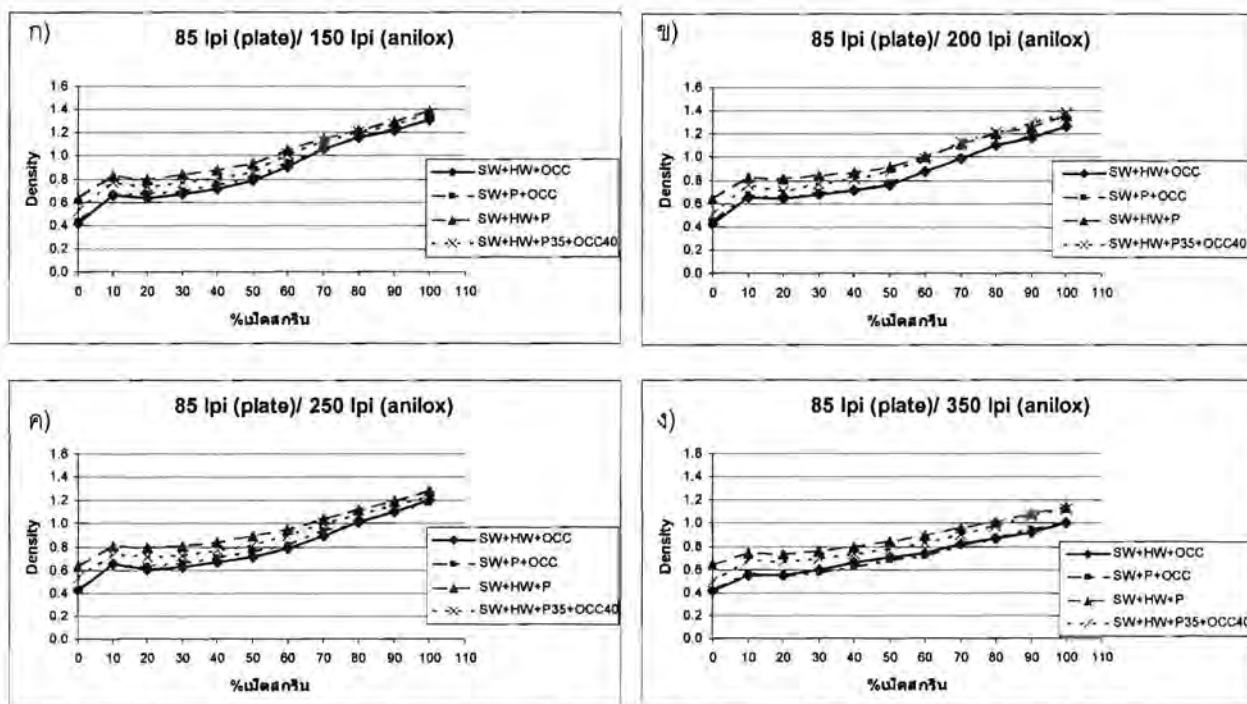
ภาพที่ 50 ถึงภาพที่ 52 เป็นกราฟแสดงค่าความดำที่ได้จากการพิมพ์ไล่โทนตั้งแต่เปอร์เซ็นต์เม็ดสกรีน 0 ถึง 100 บนกระดาษผิวกลอง 4 ชนิด ที่ความละเอียดการพิมพ์เป็น 50 lpi, 65 lpi และ 85 lpi ตามลำดับ โดยก่อนทำการกดพิมพ์มีการปรับปริมาตรหมึกพิมพ์ต่างกัน 4 ระดับโดยใช้ความละเอียดลูกกลิ้งแอนนิลอกเป็น 150 lpi, 200 lpi, 250 lpi และ 350 lpi (หรือคิดเป็นปริมาตรบ่อหมึก 16 ml/m², 11 ml/m², 9 ml/m² และ 7 ml/m² ตามลำดับ) ดังแสดงในภาพ ก), ข), ค) และ ง) ตามลำดับ



ภาพที่ 50: ค่าความดำบริเวณฮาล์ฟโทน 0-100 เปอร์เซ็นต์เม็ดสกรีน เมื่อพิมพ์บนกระดาษผิวกลอง 4 สูตร โดยใช้ความละเอียดการพิมพ์ (lpi plate) เป็น 50 lpi และความละเอียดลูกกลิ้งแอนนิลอก (lpi anilox) เป็น ก) 150 lpi, ข) 200 lpi, ค) 250 lpi และ ง) 350 lpi



ภาพที่ 51: ค่าความต้านบริเวณฮาล์ฟโทน 0-100 เปอร์เซ็นต์เม็ดสกรีน เมื่อพิมพ์บนกระดาษมิกวอลง 4 สูตร โดยใช้ความละเอียดการพิมพ์ (lpi plate) เป็น 65 lpi และความละเอียดลูกกลิ้งแอนนิลอก (lpi anilox) เป็น ก) 150 lpi, ข) 200 lpi, ค) 250 lpi และ ง) 350 lpi



ภาพที่ 52: ค่าความต้านบริเวณฮาล์ฟโทน 0-100 เปอร์เซ็นต์เม็ดสกรีน เมื่อพิมพ์บนกระดาษมิกวอลง 4 สูตร โดยใช้ความละเอียดการพิมพ์ (lpi plate) เป็น 85 lpi และความละเอียดลูกกลิ้งแอนนิลอก (lpi anilox) เป็น ก) 150 lpi, ข) 200 lpi, ค) 250 lpi และ ง) 350 lpi

เมื่อพิจารณาภาพที่ 50 ถึงภาพที่ 52 แล้วพบว่ามิลักษณะกราฟใกล้เคียงกับภาพที่ 49 นั่นคือ ค่าความดำช่วงฮาล์ฟโทนเมื่อพิมพ์ที่ความละเอียดการพิมพ์ 50, 65 และ 85 lpi ความต่อเนื่องของโทนและความเปรียบต่างในแต่ละช่วงเปอร์เซ็นต์สกรีนเป็นไปในทำนองเดียวกันกับการพิมพ์ด้วยความละเอียดการพิมพ์ 30 lpi แต่สำหรับการกระโดดของโทนในช่วงเปอร์เซ็นต์สกรีนเท่ากับ 10 นั้นแตกต่างกันเล็กน้อย คือ มีการกระโดดของโทนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อพิมพ์ที่ความละเอียดการพิมพ์สูงขึ้น ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อพิมพ์ด้วยความละเอียดสูงขึ้น เม็ดสกรีนมีขนาดเล็กลง การทนต่อแรงกดพิมพ์ก็ลดลงไปด้วย นั่นคือการเกิดเม็ดสกรีนบวมเนื่องจากขนาดพื้นที่หน้าตัดของเม็ดสกรีนบนแม่พิมพ์ขยายตัวจากแรงกดพิมพ์มีมากขึ้น โทนสีบริเวณช่วง 10 เปอร์เซ็นต์สกรีนที่พิมพ์ได้จึงเข้มกว่าที่ควรจะเป็น จึงเกิดโทนกระโดดมากขึ้นตามไปด้วย

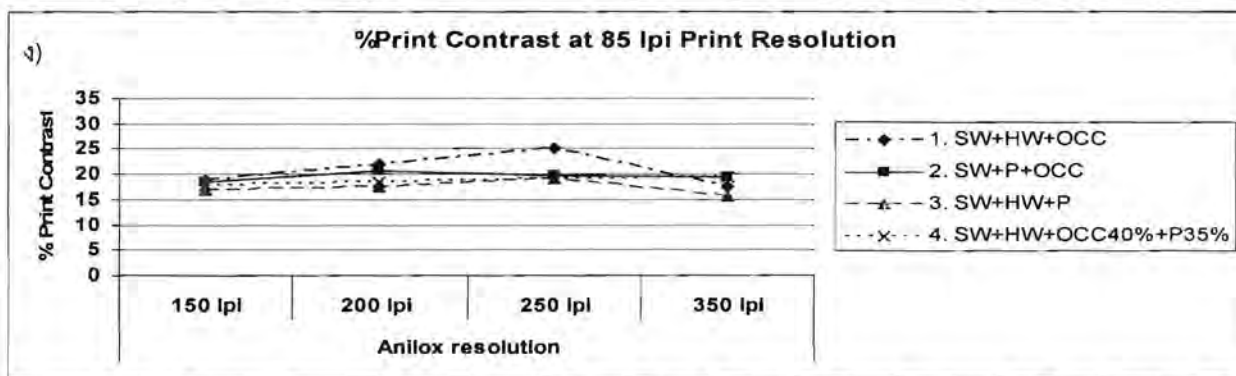
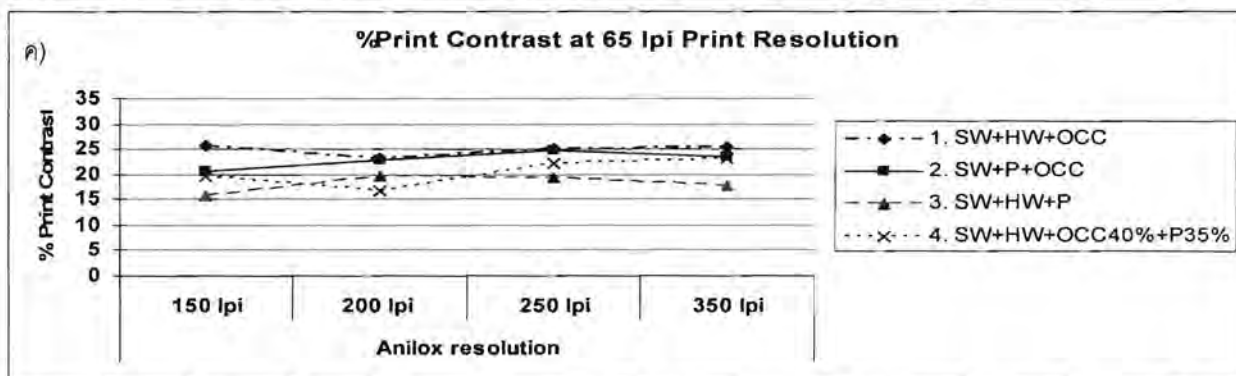
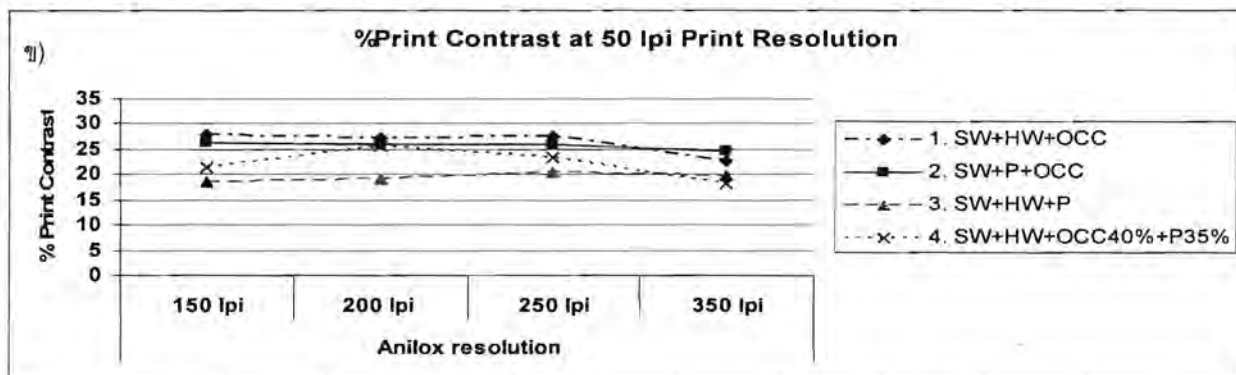
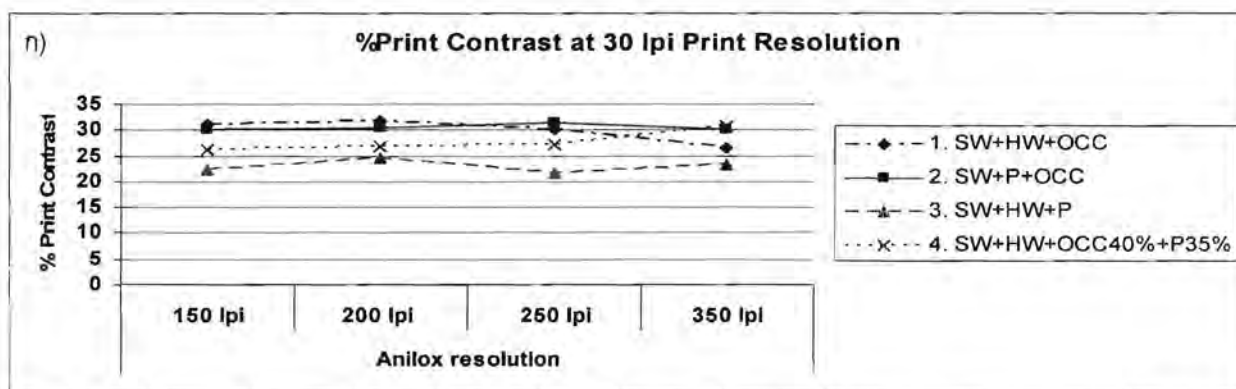
2.2 ความเปรียบต่าง (Contrast)

เมื่อพิจารณา ภาพที่ 53 โดยเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความเปรียบต่างระหว่างกระดาษผิวกล่อง 4 สูตร ใน ภาพ ก) ที่สภาวะความละเอียดการพิมพ์เป็น 30 lpi ซึ่งมีเม็ดสกรีนขนาดใหญ่ที่สุดในความละเอียดการพิมพ์ 4 ระดับ พบว่า งานพิมพ์บนกระดาษผิวกล่องแต่ละสูตรให้ความเปรียบต่างมากน้อยต่างกัน ดังนี้

- ที่ระดับความละเอียดลูกกลิ้งแอนนิลลอก 150 lpi, 200 lpi และ 250 lpi ค่าเปอร์เซ็นต์ความเปรียบต่างของงานพิมพ์บนกระดาษผิวกล่องเรียงตามลำดับมากไปน้อยในทำนองเดียวกัน คือ สูตร 1 ~ สูตร 2 (มีค่าความเปรียบต่างค่อนข้างใกล้เคียงกัน) > สูตร 4 > สูตร 3
- แต่ที่ระดับความละเอียดลูกกลิ้งแอนนิลลอก 350 lpi ค่าเปอร์เซ็นต์ความเปรียบต่างของงานพิมพ์บนกระดาษผิวกล่องเรียงตามลำดับมากไปน้อย คือ สูตร 4 ~ สูตร 2 > สูตร 1 > สูตร 3

จาก ภาพ ข) ที่สภาวะความละเอียดการพิมพ์เป็น 50 lpi พบว่างานพิมพ์บนกระดาษผิวกล่องแต่ละสูตรให้ความเปรียบต่างมากน้อยต่างกัน ดังนี้

- ที่ทุกระดับความละเอียดลูกกลิ้งแอนนิลลอก ค่าเปอร์เซ็นต์ความเปรียบต่างของงานพิมพ์บนกระดาษผิวกล่องเรียงตามลำดับมากไปน้อยในทำนองเดียวกัน คือ สูตร 1 ~ สูตร 2 > สูตร 4 > สูตร 3 โดยเมื่อพิมพ์ที่ระดับความละเอียดของลูกกลิ้งแอนนิลลอก 200 lpi ค่าความเปรียบต่างของงานพิมพ์บนกระดาษสูตร 4 สูงกว่าระดับความละเอียดอื่น คือ ใกล้เคียงกับค่าความเปรียบต่างบนกระดาษสูตร 1 และสูตร 2
- ยกเว้นที่ระดับความละเอียดของลูกกลิ้งแอนนิลลอก 350 lpi ค่าความเปรียบต่างของงานพิมพ์บนกระดาษสูตร 3 และสูตร 4 ค่อนข้างใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 53: เปอร์เซนต์ความเปรียบต่างของงานพิมพ์ เมื่อพิมพ์โดยใช้ความละเอียดลูกกลิ้งแอนนิลอก (Ink anilox resolution) 150, 200, 250 และ 350 lpi บนกระดาษผิวกลอง 4 สูตร ที่ความละเอียดการพิมพ์ (Printing resolution) เป็น ก) 30 lpi ข) 50 lpi ค) 65 lpi และ ง) 85 lpi

จาก ภาพ ค) ที่สภาวะความละเอียดการพิมพ์เป็น 65 lpi พบว่า งานพิมพ์บนกระดาษผิวกล่องแต่ละสูตรให้ความเรียบต่างมายน้อยต่างกัน ดังนี้

- ที่ทุกระดับความละเอียดลูกกลิ้งแอนนิลลอก ค่าเปอร์เซ็นต์ความเรียบต่างของงานพิมพ์บนกระดาษผิวกล่องเรียงตามลำดับมากไปน้อยในทำนองเดียวกัน คือ สูตร 1 > สูตร 2 > สูตร 4 > สูตร 3
- เมื่อพิมพ์ที่ระดับความละเอียดของลูกกลิ้งแอนนิลลอก 150 lpi ค่าความเรียบต่างของงานพิมพ์บนกระดาษสูตร 2 ใกล้เคียงกับค่าความเรียบต่างบนกระดาษสูตร 4
- ที่ระดับความละเอียดของลูกกลิ้งแอนนิลลอก 250 lpi ค่าความเรียบต่างของงานพิมพ์บนกระดาษสูตร 1 ใกล้เคียงกับค่าความเรียบต่างบนกระดาษสูตร 2
- และที่ระดับความละเอียดของลูกกลิ้งแอนนิลลอก 350 lpi ความเรียบต่างของงานพิมพ์บนกระดาษสูตร 1, สูตร 2 และสูตร 4 มีค่าใกล้เคียงกัน
- ยกเว้นที่ระดับความละเอียดของลูกกลิ้งแอนนิลลอก 200 lpi ค่าความเรียบต่างของงานพิมพ์บนกระดาษสูตร 3 มากกว่าสูตร 4 และมีค่าความเรียบต่างของงานพิมพ์บนกระดาษสูตร 1 ใกล้เคียงกับค่าความเรียบต่างบนกระดาษสูตร 2

จาก ภาพ ง) ที่สภาวะความละเอียดการพิมพ์เป็น 85 lpi เมื่อเปรียบเทียบงานพิมพ์บนกระดาษผิวกล่องแต่ละสูตรแล้วมีความเรียบต่างเป็น ดังนี้

- ที่ระดับความละเอียดลูกกลิ้งแอนนิลลอก 150 lpi, 200 lpi และ 350 lpi เปอร์เซนต์ความเรียบต่างของงานพิมพ์บนกระดาษผิวกล่องทุกสูตรมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน
- ยกเว้นที่ระดับความละเอียดลูกกลิ้งแอนนิลลอก 250 lpi ค่าเปอร์เซนต์ความเรียบต่างของงานพิมพ์บนกระดาษผิวกล่องสูตร 1 มีค่ามากกว่าสูตรอื่นซึ่งมีค่าความเรียบต่างใกล้เคียงกัน

จาก ภาพ ก), ข), ค) และง) เปอร์เซนต์ความเรียบต่างของงานพิมพ์บนกระดาษผิวกล่องแต่ละสูตรเปรียบเทียบกันในสภาวะการพิมพ์ 16 สภาวะข้างต้น กระดาษผิวกล่องสูตร 1 มีค่าความเรียบต่างสูงสุดใน 12 สภาวะจากทั้งหมด 16 สภาวะ และมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกับกระดาษสูตร 2 ใน 13 สภาวะ ส่วนกระดาษสูตร 3 และ 4 มีความเรียบต่างต่ำกว่ากระดาษสูตร 1 และ 2 เป็นส่วนใหญ่ โดยกระดาษสูตร 3 มีค่าต่ำที่สุดทั้งหมด 13 สภาวะ

จะเห็นว่าค่าความเรียบต่างระหว่างกระดาษแต่ละชนิดดังกล่าวเรียงลำดับตามความขาวสว่างของกระดาษแต่ละชนิด จากการทดสอบสมบัติเชิงแสงของกระดาษผิวกล่องลูกฟูกทั้ง 4 สูตร (ตารางที่ 14) ค่าความขาวสว่างของกระดาษสูตร 1 เท่ากับ 30.8 %ISO, สูตร 2 เท่ากับ 29.4 %ISO, สูตร 4 เท่ากับ 25.2 %ISO และสูตร 3 เท่ากับ 18.7 %ISO จะเห็นว่ากระดาษสูตร 1 และสูตร 2 มีความขาวสว่างค่อนข้าง

ใกล้เคียงกัน แต่สูตร 1 สูงกว่าเล็กน้อย ค่าความเปรียบต่างของช่วงฮาล์ฟโทนที่ได้ก็เป็นไปในทำนองนี้เช่นกัน ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการพิมพ์ฮาล์ฟโทนมีการทำสกรีนซึ่งจะพิมพ์หมึกพิมพ์เป็นจุดๆ โดยเว้นช่องว่างระหว่างจุดมานาน้อยตามเปอร์เซ็นต์สกรีน ช่องว่างนั้นก็คือบริเวณที่ไม่มีหมึกพิมพ์ปิดผิวกระดาษ ยิ่งกระดาษนั้นมีความขาวสว่างมาก ที่เปอร์เซ็นต์สกรีนเท่ากัน ความดำที่ได้จากบริเวณช่วงสกรีนนั้นจะยิ่งต่ำลง เมื่อเทียบกับความดำบริเวณพื้นตายที่มีหมึกพิมพ์ปิดผิวกระดาษทุกบริเวณแล้ว กระดาษที่มีความขาวสว่างมากจึงให้ความเปรียบต่างของงานพิมพ์ฮาล์ฟโทนมากไปด้วย

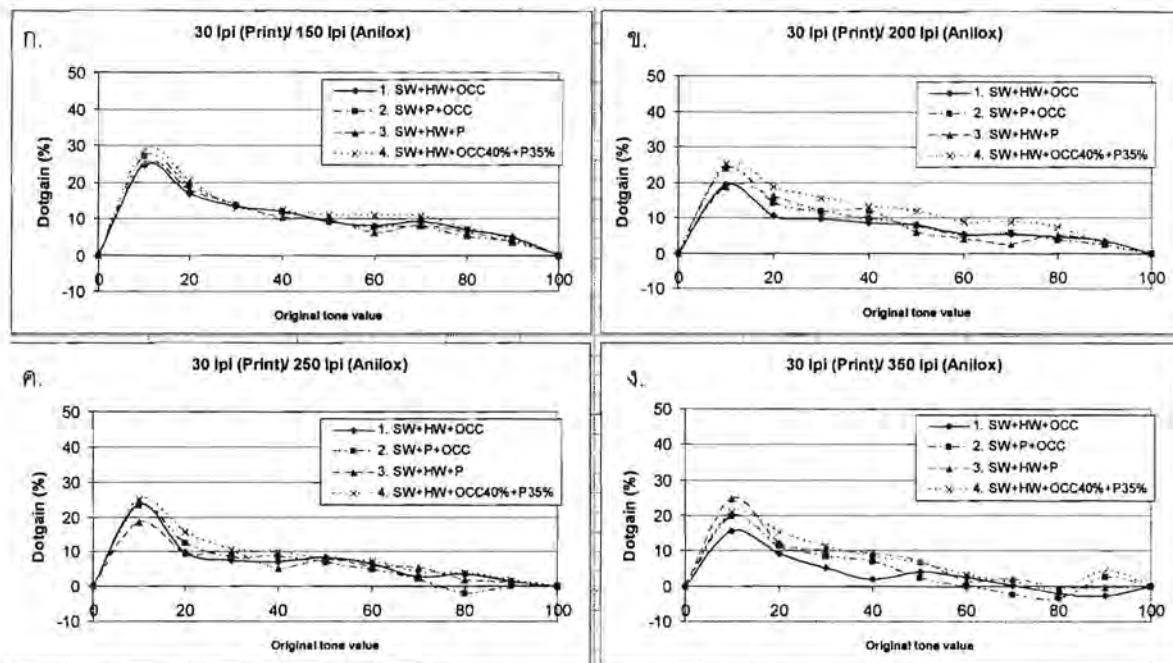
แต่เมื่อพิมพ์ด้วยความละเอียดการพิมพ์ 85 lpi เมื่อใช้ปริมาณหมึกเท่ากัน กระดาษทั้ง 4 สูตรกลับมีค่าความเปรียบต่างใกล้เคียงกัน มีเพียงสภาวะเดียวที่กระดาษสูตร 1 มีเปอร์เซ็นต์ความเปรียบต่างสูงกว่ากระดาษสูตรอื่น ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อพิมพ์ด้วยเม็ดสกรีนเล็กลง ช่องว่างระหว่างเม็ดสกรีนเล็กลง เม็ดสกรีนบนแม่พิมพ์ทนต่อแรงกดได้ต่ำลง เมื่อมีการกดพิมพ์ทำให้เกิดเม็ดสกรีนขยายพื้นที่จนช่วงสกรีน 70% มีลักษณะใกล้เคียงกับบริเวณ 100% (พื้นตาย) เพียงแต่หมึกพิมพ์ที่พิมพ์อยู่มาจากพื้นที่แม่พิมพ์ที่น้อยกว่า ค่าความดำที่ได้จึงไม่มากเท่าบริเวณ 100% ดังนั้นแม้จะใช้กระดาษชนิดต่างกัน แต่ความเปรียบต่างซึ่งมาจากการคำนวณเทียบค่าความดำระหว่าง 70% และ 100% จึงมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันเมื่อพิมพ์ด้วยความละเอียดการพิมพ์สูงขึ้น

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างความละเอียดการพิมพ์ จาก ภาพ ก), ข), ค) และง) ค่าความเปรียบต่างของการพิมพ์เมื่อพิมพ์ที่ความละเอียดการพิมพ์ 30 lpi มีค่าอยู่ในช่วง 20-30 % ซึ่งมากที่สุดเมื่อเทียบกับค่าความเปรียบต่างที่ความละเอียดการพิมพ์อื่น โดยค่าความเปรียบต่างของการพิมพ์ด้วยความละเอียดการพิมพ์ 50, 65 และ 85 lpi มีค่าอยู่ในช่วงที่ต่ำลงแต่ก็ค่อนข้างใกล้เคียงกัน คือ 17-28%, 15-26% และ 15-25% ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะว่าในการพิมพ์เม็ดสกรีนใหญ่กว่า ช่องว่างระหว่างเม็ดสกรีนจะใหญ่กว่า และมีเปอร์เซ็นต์การเกิดเม็ดสกรีนบวมต่ำกว่าด้วย จึงทำให้ความเปรียบต่างระหว่างโทน 70% และ 100% สูงกว่าการพิมพ์ด้วยขนาดเม็ดสกรีนที่เล็กกว่า

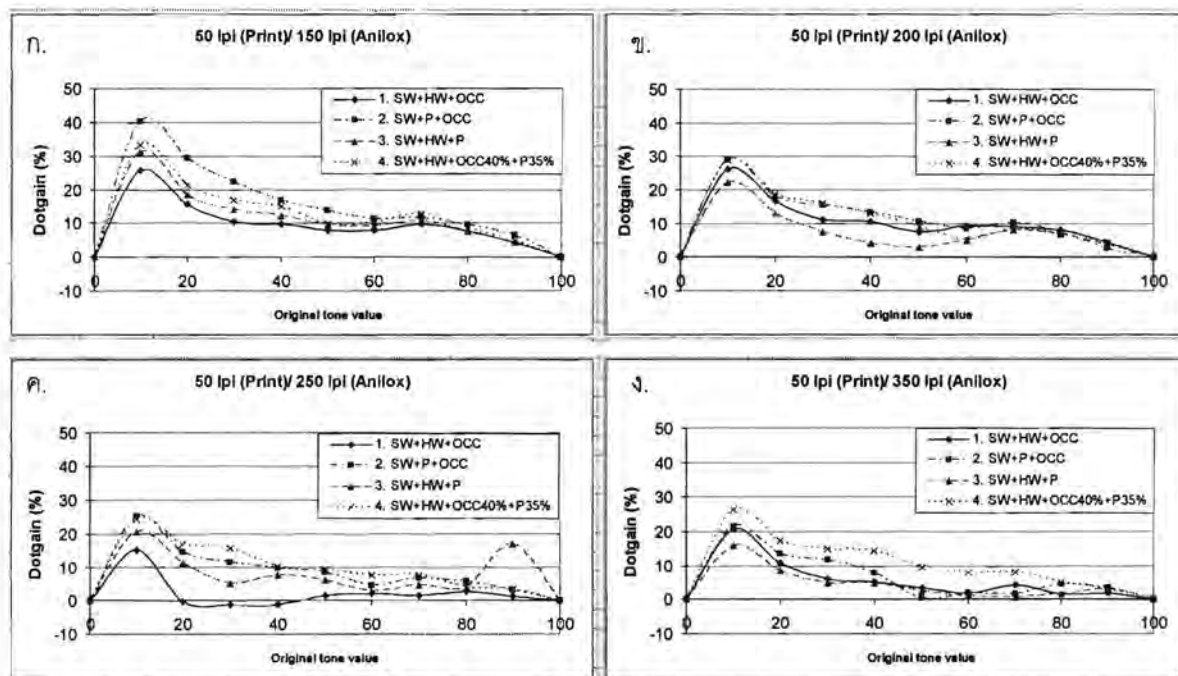
2.3 ค่าเม็ดสกรีนบวม (Dot gain)

จากภาพที่ 54, ภาพที่ 55, ภาพที่ 56 และภาพที่ 57 พิจารณากราฟระหว่างเปอร์เซ็นต์เม็ดสกรีนบวม (% Dot gain) และค่าโทนต้นฉบับ (Original tone value) บนกระดาษผิวกล่อ่ง 4 สูตร พบว่า กราฟทั้งหมดเป็นรูปครึ่งวงกลมคว่ำและเบ้ไปทางซ้าย โดยมีจุดยอดอยู่บริเวณค่าโทนต้นฉบับประมาณ 10% นั่นคือ มีการบวมของเม็ดสกรีนสูงสุดในช่วงโทนสว่าง (Highlight tone)

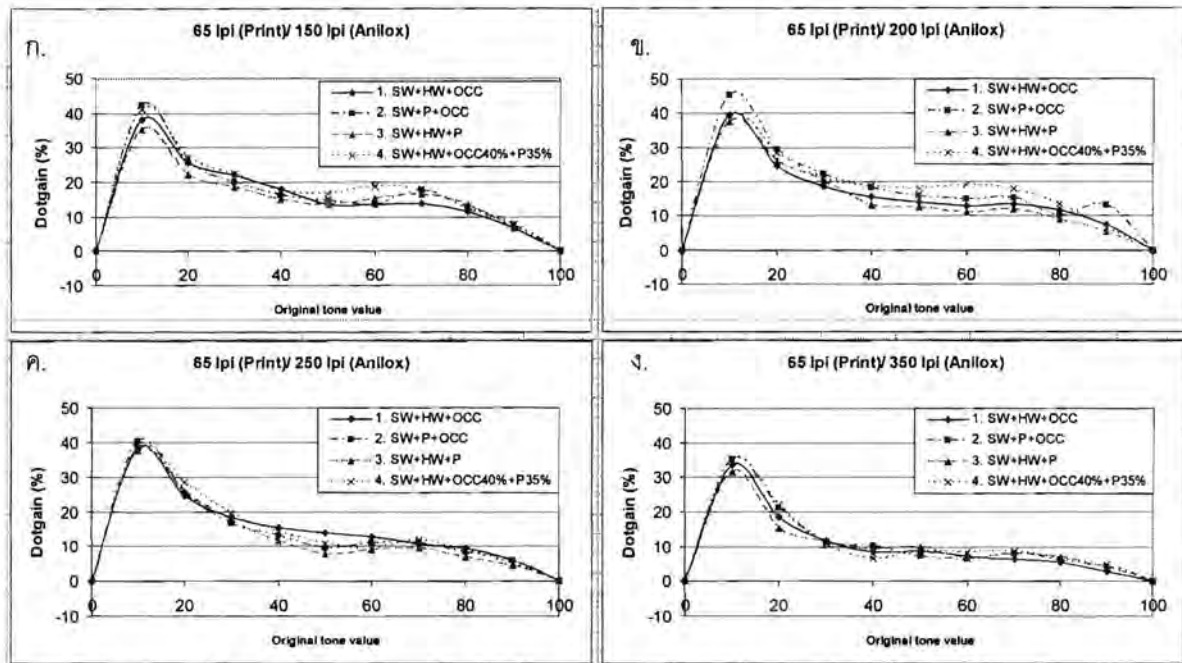
เมื่อพิมพ์ด้วยความละเอียดการพิมพ์เดียวกัน ยังใช้ปริมาตรหมึกพิมพ์ลดลง (ความละเอียดลูกกลิ้งหมึกมากขึ้น) พื้นที่ใต้กราฟก็ยิ่งลดลง เนื่องจากเมื่อทำการพิมพ์โดยใช้หมึกพิมพ์น้อยลง การซึมกระจายของหมึกพิมพ์บนผิวกระดาษลดลง พื้นที่ของหมึกพิมพ์บนผิวกระดาษจึงลดลงกว่าการใช้หมึกพิมพ์ปริมาณมาก นั่นคือ การบวมของเม็ดสกรีนลดลงนั่นเอง



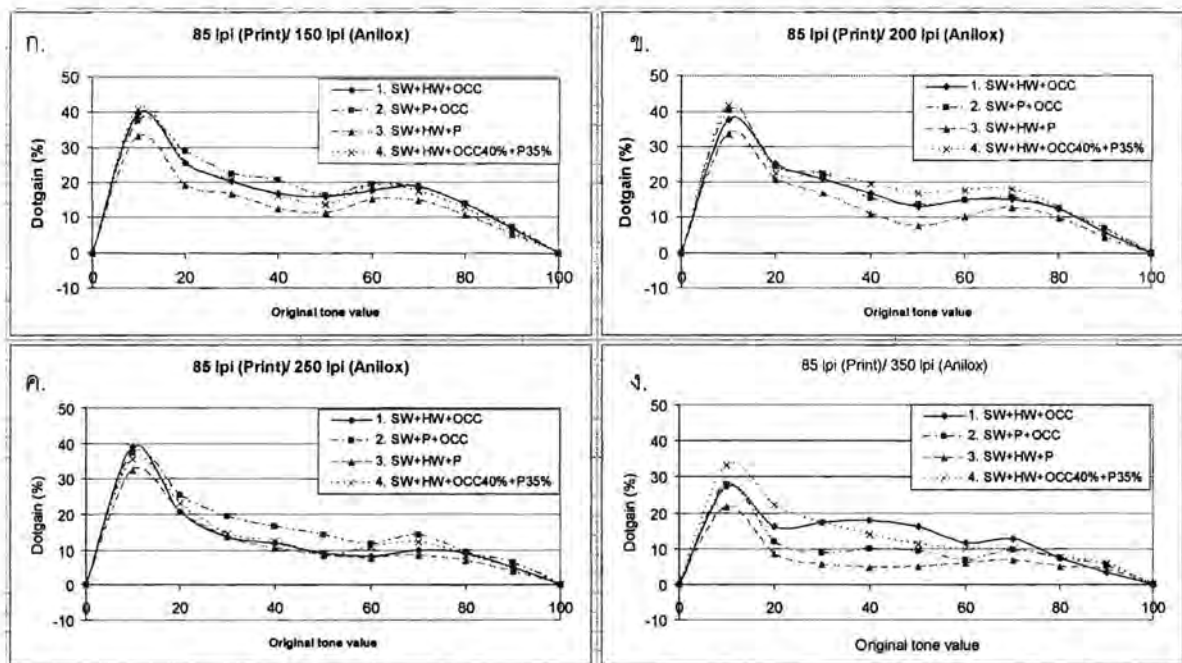
ภาพที่ 54: เปอร์เซนต์เม็ดสีกรีนบวม (%dot gain) ของภาพฮาล์ฟโทน 0-100% (Original tone value) ซึ่งพิมพ์บนกระดาษผิวกลอง 4 สตรี โดยใช้ความละเอียดการพิมพ์ (Printing resolution) เป็น 30 lpi และความละเอียดลูกกลิ้งหมึก (Ink anilox resolution) เป็น ก) 150 lpi, ข) 200 lpi, ค) 250 lpi และ ง) 350 lpi



ภาพที่ 55: เปอร์เซนต์เม็ดสีกรีนบวม (%dot gain) ของภาพฮาล์ฟโทน 0-100% ซึ่งพิมพ์บนกระดาษผิวกลอง 4 สตรี โดยใช้ความละเอียดการพิมพ์ (Printing resolution) เป็น 50 lpi และความละเอียดลูกกลิ้งหมึก (Ink anilox resolution) เป็น ก) 150 lpi, ข) 200 lpi, ค) 250 lpi และ ง) 350 lpi



ภาพที่ 56: เปอร์เซนต์เม็ดสีกรีนบวม (%dot gain) ของภาพฮาล์ฟโทน 0-100% ซึ่งพิมพ์บนกระดาษผิว
 กล่อง 4 สตรี โดยใช้ความละเอียดการพิมพ์ (Printing resolution) เป็น 65 lpi และความละเอียดลูกกลิ้ง
 หมึก (Ink anilox resolution) เป็น ก) 150 lpi, ข) 200 lpi, ค) 250 lpi และ ง) 350 lpi



ภาพที่ 57: เปอร์เซนต์เม็ดสีกรีนบวม (%dot gain) ของภาพฮาล์ฟโทน 0-100% ซึ่งพิมพ์บนกระดาษผิว
 กล่อง 4 สตรี โดยใช้ความละเอียดการพิมพ์ (Printing resolution) เป็น 85 lpi และความละเอียดลูกกลิ้ง
 หมึก (Ink anilox resolution) เป็น ก) 150 lpi, ข) 200 lpi, ค) 250 lpi และ ง) 350 lpi

จากการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์เม็ดสกรีนบวมของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยความละเอียดการพิมพ์ 30, 50, 65 และ 85 lpi (ภาพที่ 54, ภาพที่ 55, ภาพที่ 56 และภาพที่ 57 ตามลำดับ) แต่ใช้ความละเอียดลูกกลิ้งหมึกเท่ากันแล้ว พบว่า เมื่อความละเอียดการพิมพ์มากขึ้น การบวมของเม็ดสกรีนก็มากขึ้นไปด้วย เนื่องจากการพิมพ์ที่ความละเอียดสูงกว่าจะมีเม็ดสกรีนขนาดเล็กกว่าและมีจำนวนเม็ดสกรีนมากกว่าในแต่ละโทน เส้นรอบวงของเม็ดสกรีนทั้งหมดก็มากกว่า ดังนั้นเมื่อทำการกดพิมพ์ ทุกเม็ดสกรีนบนแม่พิมพ์มีการขยายขนาดด้วยแรงกด ร่วมกับมีการซึมกระจายของหมึกไปรอบเม็ดสกรีน พื้นที่ที่มีหมึกพิมพ์บนกระดาษ จึงมีขนาดใหญ่กว่า นั่นหมายถึงมีการบวมของเม็ดสกรีนมากกว่านั่นเอง

พิจารณาเปรียบเทียบระหว่างกระดาษ 4 สูตร จากทั้ง 16 สภาวะการพิมพ์ โดยพิจารณาเฉพาะในช่วงโทนสว่างซึ่งมีความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์เม็ดสกรีนบวมมากที่สุด พบว่า กระดาษสูตร 3 มีเปอร์เซ็นต์การบวมของเม็ดสกรีนน้อยที่สุด คือ มีเปอร์เซ็นต์เม็ดสกรีนบวมต่ำกว่ากระดาษสูตรอื่นๆ 13 สภาวะ จากทั้งหมด 16 สภาวะ โดยมี 2 สภาวะที่กระดาษสูตร 3 มีเปอร์เซ็นต์การบวมของเม็ดสกรีนน้อยเป็นอันดับ 3 และมี 1 สภาวะที่พิมพ์ด้วยความละเอียด 30 lpi และลูกกลิ้งละเอียด 350 lpi ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์เม็ดสกรีนบวมต่ำที่สุดในทั้ง 16 สภาวะการพิมพ์ แต่กระดาษสูตร 3 กลับให้เปอร์เซ็นต์เม็ดสกรีนบวมสูงกว่ากระดาษชนิดอื่น

สำหรับกระดาษสูตรอื่นจากผลการทดลองนี้ไม่สามารถบอกแนวโน้มลำดับการบวมของเม็ดสกรีนได้แน่นอน เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์เม็ดสกรีนบวมมากบ้าง น้อยบ้าง สลับลำดับกันในแต่ละสภาวะการพิมพ์ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากสมบัติการดูดซึมน้ำของกระดาษสูตร 3 มีค่ามากกว่ากระดาษสูตรอื่นค่อนข้างชัดเจน แต่กระดาษสูตร 1 และสูตร 2 มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยมีค่าต่ำกว่ากระดาษสูตร 3 และกระดาษสูตร 4 มีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่ากระดาษสูตร 1 และสูตร 2 แต่ก็ยังต่ำกว่ากระดาษสูตร 3 อย่างชัดเจน (ภาพที่ 41) จากเปอร์เซ็นต์เม็ดสกรีนบวมสมบัติการดูดซึมน้ำเช่นนี้ สรุปได้ว่ากระดาษสูตร 3 น่าจะมีการดูดซึมหมึกในอัตราที่เหมาะสมกับการพิมพ์เฟล็กโซกราฟีในด้านการทำให้เกิดเม็ดสกรีนบวมน้อยกว่ากระดาษสูตรอื่น จึงสามารถให้เปอร์เซ็นต์เม็ดสกรีนบวมต่ำกว่าในสภาวะการพิมพ์ที่ทดสอบส่วนใหญ่ และการที่กระดาษชนิดอื่นๆ ให้งานพิมพ์ที่เกิดเม็ดสกรีนบวมมากกว่า ก็น่าจะเป็นเพราะการดูดซึมน้ำได้น้อยเกินไป ทำให้เมื่อกดแม่พิมพ์ลงบนผิวกระดาษแล้ว หมึกพิมพ์ซึมลงบนผิวกระดาษได้ไม่ดี หมึกที่ยังไม่แห้งและไม่สามารถซึมผ่านผิวหน้ากระดาษลงไปได้จึงถูกกดและดันออกด้านข้างของเม็ดสกรีน จนคล้ายกับการเกิดการรีดหมึกออกรอบเม็ดสกรีนก่อนที่หมึกพิมพ์จะสามารถซึมลงไปบนผิวกระดาษได้ จึงเกิดเม็ดสกรีนบวมมากกว่ากระดาษที่สามารถดูดซึมหมึกได้ดีกว่า

นอกจากนี้ยังพบว่า มีเปอร์เซ็นต์เม็ดสกรีนบวมเป็นค่าลบในช่วงโทน 70-90% เมื่อพิมพ์ที่ความละเอียด 30 lpi และจ่ายหมึกด้วยลูกกลิ้งหมึกที่มีความละเอียดเป็น 250 lpi (ภาพที่ 54 ค) และ 350 lpi (ภาพที่ 54 ง) การที่เปอร์เซ็นต์เม็ดสกรีนบวมมีค่าเป็นลบ หมายถึง เกิดเม็ดสกรีนกร่อน (Dot loss) จนกระทั่งเปอร์เซ็นต์จุดพิมพ์ที่ปรากฏบนงานพิมพ์ที่บริเวณนั้นต่ำกว่าค่าโทนต้นฉบับ โดยเมื่อจ่ายหมึก

พิมพ์ด้วยลูกกลิ้งหมึกที่มีความละเอียดเป็น 250 lpi มีเพียงงานพิมพ์บนกระดาษสูตร 2 ที่เกิดเม็ดสกรีนกร่อนที่โตน 80% แต่เมื่อจ่ายหมึกพิมพ์ด้วยลูกกลิ้งที่มีความละเอียดมากขึ้น คือ 350 lpi เกิดเม็ดสกรีนกร่อนบนกระดาษทุกสูตรตั้งแต่โตน 70-90 % ที่เป็นเช่นนี้คาดว่าเนื่องมาจากเมื่อพิมพ์ด้วยความละเอียดต่ำ (30 lpi) เม็ดสกรีนแต่ละเม็ดมีพื้นที่ค่อนข้างใหญ่โดยเฉพาะเมื่อพิมพ์ที่ค่าโตนสูงๆ (70-90%) เมื่อมีพื้นที่พิมพ์ขนาดใหญ่ ปริมาตรหมึกพิมพ์ที่ใช้ก็ต้องมากไปด้วยเพื่อให้สามารถพิมพ์ได้ครอบคลุมพื้นที่พิมพ์ทั้งหมด ดังนั้นเมื่อใช้ลูกกลิ้งหมึกที่มีความละเอียดเป็น 250 lpi และ 350 lpi ซึ่งมีปริมาตรบอหมึกน้อย จึงมีโอกาสที่ปริมาณหมึกพิมพ์ที่จ่ายได้ไม่เพียงพอที่จะพิมพ์ได้ครอบคลุมพื้นที่พิมพ์ทั้งหมด และเกิดเม็ดสกรีนกร่อนขึ้นได้

สำหรับที่ความละเอียดการพิมพ์ 50 lpi และจ่ายหมึกด้วยลูกกลิ้งหมึกที่มีความละเอียด 250 lpi (ภาพที่ 55 ค) ช่วงโตนต้นฉบับ 20-40 % ก็มีค่าเปอร์เซ็นต์เม็ดสกรีนบวมเป็นลบเช่นกัน กรณีนี้อาจเป็นเพราะขณะทำการพิมพ์เกิดความผิดพลาดในการจ่ายหมึกพิมพ์โดยไม่ได้รอให้ลูกกลิ้งหมึกแห้งก่อนทำการรับหมึกในการพิมพ์ครั้งถัดมา จึงอาจทำบริเวณพื้นที่พิมพ์ให้มีการครอบคลุมหมึกไม่ปกติ

สรุปผลการทดลอง

สรุปผลการทดลองส่วนที่ 1: การเปรียบเทียบสมบัติของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีที่ผลิตได้กับหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์

เมื่อนำหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำที่ผลิตได้โดยมีการใช้ปริมาณสารสีร้อยละ 30 และพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นหมึกพิมพ์ชีวภาพมาเปรียบเทียบกับหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีเชิงพาณิชย์ โดยทำการพิมพ์ทดสอบลงบนกระดาษเหนียวเชิงพาณิชย์ พบว่า หมึกพิมพ์ชีวภาพที่ผลิตได้มีความเหนียวสูงกว่าหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ แต่มีแรงดึงผิวที่ต่ำกว่า เมื่อนำหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิดมาทดลองพิมพ์บนกระดาษเหนียวที่แรงกดพิมพ์ต่างๆ กัน และตรวจสอบคุณภาพงานพิมพ์ พบว่า งานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชีวภาพที่ผลิตได้มีค่าความดำต่ำกว่าหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ แต่มีความสม่ำเสมอของงานพิมพ์ที่ดีกว่า ขนาดของเส้นที่พิมพ์ได้มีค่าใกล้เคียงกัน แรงกดพิมพ์ที่ 350 นิวตัน เป็นแรงกดพิมพ์น้อยที่สุดที่เหมาะสมสำหรับใช้งานพิมพ์จริง นอกจากนี้หมึกพิมพ์ชีวภาพที่ผลิตได้ยังให้ความมั่นใจของงานพิมพ์ต่ำกว่าหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ ในขณะที่สมบัติความต้านทานการถอนผิวของหมึกพิมพ์ชีวภาพมีค่าสูงกว่า โดยเมื่อความหนาของชั้นหมึกพิมพ์ชีวภาพมากขึ้น ความต้านทานการถอนผิวมีค่าสูงขึ้นด้วย ความต้านทานต่อการขัดถูของงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิดอยู่ในระดับดีมาก จากผลดังกล่าวอาจสรุปได้ว่า หมึกพิมพ์ชีวภาพที่ผลิตได้มีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์ อย่างไรก็ตามยังจำเป็นต้องมีการปรับปรุงในเชิงปริมาณของสารสีและสารเติมแต่ง เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานที่ใกล้เคียงกับหมึกพิมพ์เชิงพาณิชย์มากขึ้น

สรุปผลการทดลองส่วนที่ 2: การทดสอบการย่อยสลายของหมึกพิมพ์

หมึกพิมพ์ชีวภาพที่ใช้ในงานพิมพ์สามารถย่อยสลายได้เกือบหมดภายในระยะเวลาเพียง 6 เดือน โดยกระดาษที่มีปริมาณของสารกันซึม AKD ที่แตกต่างกันส่งผลต่อการย่อยสลายของงานพิมพ์ ซึ่งงานพิมพ์บนกระดาษที่เติม AKD ร้อยละ 0.1 สามารถย่อยสลายได้เร็วกว่างานพิมพ์บนกระดาษที่เติม AKD ร้อยละ 0.3 เนื่องจากงานพิมพ์บนกระดาษที่เติม AKD ร้อยละ 0.1 มีปริมาณความชื้นในกระดาษสูงกว่ากระดาษที่เติม AKD ร้อยละ 0.3 ซึ่งความชื้นที่อยู่ในเนื้อกระดาษเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการย่อยสลายของงานพิมพ์ ดังนั้นงานพิมพ์บนกระดาษที่เติม AKD ร้อยละ 0.1 จึงสามารถย่อยสลายได้เร็วกว่าและสามารถย่อยสลายได้มากที่สุดภายในระยะเวลาการฝังดิน 6 เดือน

สรุปผลการทดลองส่วนที่ 3: การทดลองผลิตกระดาษผิวกล่องลูกฟูกจากเยื่อเชิงพาณิชย์ผสมกับเยื่อปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบดเยื่อแล้วในสัดส่วนต่าง ๆ

ตอนที่ 1: การหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการแทนที่เยื่อเชิงพาณิชย์ด้วยเยื่อปาล์มน้ำมัน

จากการทดลองการแทนที่เยื่อเชิงพาณิชย์ด้วยเยื่อกระดาษจากปาล์มน้ำมัน พบว่า เยื่อปาล์มน้ำมันไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ทดแทนเยื่อใยยาวในการผลิตกระดาษผิวกล่องลูกฟูก เนื่องจากส่งผลให้สมบัติด้านความแข็งแรงลดลง ซึ่งน่าจะเกิดจากการที่เส้นใยปาล์มน้ำมันมีขนาดสั้นกว่าเส้นใยของเยื่อใยยาวมาก แต่เมื่อนำเยื่อกระดาษจากปาล์มน้ำมันไปแทนที่เยื่อใยสั้นและเยื่อกล่องกระดาษลูกฟูกเก่า จะได้สมบัติด้านความแข็งแรงใกล้เคียงหรือดีกว่ากระดาษผิวกล่องจากเยื่อเชิงพาณิชย์ จึงเลือกใช้เยื่อกระดาษจากปาล์มน้ำมันเพื่อแทนที่เยื่อใยสั้นและเยื่อกล่องกระดาษลูกฟูกเก่าในขั้นตอนที่ 3

ตอนที่ 2: การหาปริมาณสารเติมแต่งที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษผิวกล่องลูกฟูก

เมื่อนำสูตรกระดาษผิวกล่องเชิงพาณิชย์มาหาปริมาณสารเติมแต่งที่เหมาะสม พบว่า สภาวะที่มีการใส่แป้งร้อยละ 0.8 และ AKD ร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ให้ค่าดัชนีความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุและค่าการดูดซึมน้ำเป็นไปตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนด จึงเลือกใช้สารเติมแต่งสภาวะนี้ในขั้นตอนที่ 3

ตอนที่ 3: การศึกษาสมบัติของกระดาษผิวกล่องลูกฟูกที่ใช้เยื่อปาล์มน้ำมันทดแทนเยื่อเชิงพาณิชย์

ในการใช้เยื่อจากปาล์มน้ำมันเพื่อแทนที่เยื่อเชิงพาณิชย์นั้น พบว่า หากแทนที่เยื่อกล่องกระดาษลูกฟูกเก่าทั้งหมดด้วยเยื่อปาล์มน้ำมันจะให้สมบัติด้านความแข็งแรงของกระดาษผิวกล่องลูกฟูกที่ดีที่สุด รองลงมาคือ สูตรที่นำเยื่อกระดาษจากปาล์มน้ำมันไปแทนที่เยื่อกล่องกระดาษลูกฟูกเก่าเพียงร้อยละ 50 และสูตรที่นำเยื่อปาล์มน้ำมันไปแทนที่เยื่อใยสั้น ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การใช้เยื่อปาล์มน้ำมันนั้นทำให้กระดาษที่ผลิตได้มีความขาวสว่างลดลงและดูดซึมน้ำได้มากขึ้น ดังนั้นหากต้องการใช้เยื่อปาล์มน้ำมันแทนที่เยื่อกล่องกระดาษลูกฟูกเก่าในการผลิตกระดาษผิวกล่อง อาจจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณของสารกันซึมมากกว่าปกติ เพื่อให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ซึ่งอาจต้องพิจารณาความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐกิจควบคู่ไปด้วย

สรุปผลการทดลองส่วนที่ 4: การทดสอบสมบัติเชิงบรรจุกัญท์ของกระดาษผิวกล่องลูกฟูกที่ผลิตได้จากเยื่อเชิงพาณิชย์ผสมกับเยื่อปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบดเยื่อแล้วในสัดส่วนต่าง ๆ

การแทนที่เยื่อกล่องกระดาษลูกฟูกเก่าด้วยเยื่อปาล์มน้ำมันในการผลิตกระดาษผิวกล่องส่งผลให้ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษลูกฟูกเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม เยื่อปาล์มน้ำมันยังมีคุณภาพด้อย

กว่าเยื่อใยสั้น จึงส่งผลให้ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษลูกฟูกลดลง เมื่อนำเยื่อปาล์มน้ำมันไปแทนที่เยื่อใยสั้น นอกจากนี้การนำเยื่อปาล์มน้ำมันไปแทนที่เยื่อกล่องกระดาษลูกฟูกเก่าและเยื่อใยสั้นในการผลิตกระดาษผิวกล่องนั้น ไม่ส่งผลต่อความต้านทานแรงกดของกระดาษลูกฟูกตามแนวนอน หากแต่ส่งผลให้ความแข็งแรงต่อแรงกดของกระดาษลูกฟูกในแนวตั้งกลับมีค่าลดลง

สรุปผลการทดลองส่วนที่ 5: การวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์หลังจากที่ได้นำกระดาษผิวกล่องลูกฟูกที่ผลิตจากเยื่อเชิงพาณิชย์ผสมกับเยื่อปาล์มน้ำมันมาทดลองพิมพ์ด้วยหมึกเชิงพาณิชย์

1. คุณภาพงานพิมพ์: กรณีพิมพ์ภาพพื้นตาย

ความดำ (Print Density)

เมื่อเทียบกระดาษผิวกล่องที่มีการใช้เยื่อจากปาล์มน้ำมันทดแทนเยื่อเชิงพาณิชย์ทั้ง 4 สูตรในแง่คุณภาพงานพิมพ์พื้นตายแล้ว พบว่า กระดาษสูตร 3 ซึ่งผลิตโดยผสมเยื่อปาล์มมากที่สุดถึง 75% นั้นสามารถให้งานพิมพ์พื้นตายที่มีค่าความดำสูงสุดและมีค่าความดำคงที่ที่สุด แม้จะใช้ปริมาตรหมึกพิมพ์แตกต่างกัน และสำหรับกระดาษผิวกล่องสูตร 4 ซึ่งมีการผสมเยื่อปาล์มน้ำมัน 35% ให้ค่าความดำใกล้เคียงกับกระดาษสูตร 3 แต่ก็ยังมากกว่ากระดาษสูตร 1 และสูตร 2 แสดงว่าการผสมเยื่อปาล์มน้ำมันในปริมาณสูงขึ้นทำให้ได้งานพิมพ์พื้นตายที่มีค่าความดำมากขึ้นตามไปด้วย

ความเรียบสม่ำเสมอ (Evenness)

กระดาษผิวกล่องสูตร 4 ให้ความเรียบสม่ำเสมอของภาพพิมพ์พื้นตายดีที่สุด โดยใกล้เคียงกับกระดาษสูตร 3 และดีกว่ากระดาษสูตร 2 และสูตร 1 ตามลำดับ โดยที่กระดาษสูตร 1 และสูตร 2 มีความเรียบสม่ำเสมอของภาพพิมพ์พื้นตายใกล้เคียงกัน แสดงว่าการใช้เยื่อปาล์มน้ำมันทดแทนเยื่อเชิงพาณิชย์ในปริมาณที่เหมาะสม สามารถทำให้ได้กระดาษที่นำไปพิมพ์พื้นตายแล้วให้ความเรียบสม่ำเสมอของงานพิมพ์ดีกว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อเชิงพาณิชย์ล้วนได้

2. คุณภาพงานพิมพ์: กรณีพิมพ์ภาพฮาล์ฟโทน

ความดำช่วงฮาล์ฟโทน (Density of halftone)

- กระดาษผิวกล่องทั้ง 4 สูตรให้ค่าความดำช่วงฮาล์ฟโทนใกล้เคียงกันแม้พิมพ์ด้วยความละเอียดการพิมพ์แตกต่างกัน
- เมื่อพิมพ์โดยใช้ปริมาตรหมึกพิมพ์แตกต่างกัน ในช่วงเปอร์เซ็นต์เม็ดสกรีนต่ำๆ (0-50 %) กระดาษผิวกล่องทั้ง 4 สูตรให้ค่าความดำช่วงฮาล์ฟโทนไม่แตกต่างกัน แต่ในช่วงเปอร์เซ็นต์เม็ดสกรีนตั้งแต่ 60-100% นั้น กลับให้ค่าความดำแตกต่างกัน โดยเมื่อใช้หมึกพิมพ์ลดลง ค่าความดำก็ต่ำลงไปด้วย

- กระดาษผิวกล่องทั้ง 4 สูตรให้งานพิมพ์ที่มีการกระโดดของโทนในช่วงเปอร์เซ็นต์เม็ดสกรีนเท่ากับ 10 และมีการกระโดดของโทนลดลงเมื่อใช้ความละเอียดในการพิมพ์และปริมาตรหมึกพิมพ์ลดลง
- สำหรับในด้านความต่างของค่าความดำแต่ละโทน ไม่ว่าจะพิมพ์ด้วยความละเอียดการพิมพ์เท่าใด กรณีที่พิมพ์โดยใช้ปริมาณหมึกมากกว่า กระดาษผิวกล่องสูตร 1 และสูตร 2 มีความต่างของค่าความดำในแต่ละโทนสูงกว่า กระดาษสูตร 3 และสูตร 4 แต่เมื่อใช้ปริมาณหมึกน้อยลง ความแตกต่างของความดำในแต่ละโทนของงานพิมพ์ฮาล์ฟโทนบนกระดาษผิวกล่องทุกสูตรกลับมีค่าเท่าๆ กัน เนื่องจากกระดาษสูตร 3 และสูตร 4 มีส่วนผสมของเยื่อปาล์มที่ไม่ได้ผ่านการฟอก จึงทำให้ความขาวสว่างต่ำกว่ากระดาษสูตร 1 และสูตร 2 ทำให้ความเปรียบต่างของงานพิมพ์ฮาล์ฟโทนต่ำกว่าไปด้วย (กรณีใช้ปริมาณหมึกพิมพ์มากกว่า) ดังนั้นหากมีการนำเยื่อปาล์มไปฟอกก่อนนำมาผสม ก็น่าจะสามารถปรับปรุงคุณภาพงานพิมพ์ภาพฮาล์ฟโทนบนกระดาษสูตร 3 และสูตร 4 ได้

ความเปรียบต่าง (Contrast)

- เปอร์เซ็นต์ความเปรียบต่างของงานพิมพ์ฮาล์ฟโทนบนกระดาษผิวกล่องสูตร 1 และสูตร 2 มีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่ามากกว่ากระดาษสูตร 4 และสูตร 3 ตามลำดับ
- แต่เมื่อพิมพ์ด้วยความละเอียดการพิมพ์ 85 lpi และใช้ความละเอียดลูกกลิ้งหมึกเดียวกัน กระดาษทั้ง 4 สูตรมีค่าความเปรียบต่างใกล้เคียงกัน ยกเว้นเมื่อใช้ความละเอียดลูกกลิ้งหมึก 250 lpi กระดาษสูตร 1 กลับมีเปอร์เซ็นต์ความเปรียบต่างสูงกว่ากระดาษสูตรอื่น
- หากเปรียบเทียบระหว่างความละเอียดการพิมพ์ เมื่อพิมพ์ด้วยความละเอียดการพิมพ์ 30 lpi จะได้งานพิมพ์ฮาล์ฟโทนที่มีความเปรียบต่างอยู่ในช่วงสูงสุด ในขณะที่ความละเอียดการพิมพ์สูงขึ้นกว่านี้ ความเปรียบต่างมีค่าอยู่ในช่วงต่ำกว่าและไม่ต่างกันมากนัก
- นั่นคือ หากต้องการงานพิมพ์ภาพฮาล์ฟโทนที่มีความเปรียบต่างสูงควรพิมพ์บนกระดาษผิวกล่องสูตร 1 หรือสูตร 2 โดยใช้ความละเอียดในการพิมพ์ต่ำ เช่น 30 lpi และใช้ปริมาตรหมึกพิมพ์ค่อนข้างมาก เช่น 150 หรือ 200 lpi แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาคุณภาพงานพิมพ์ลักษณะอื่นๆ ประกอบด้วย

ค่าเม็ดสกรีนบวม (Dot gain)

- การพิมพ์ภาพฮาล์ฟโทนบนกระดาษผิวกล่องทั้ง 4 สูตร โดยสภาวะการพิมพ์ทั้ง 16 สภาวะ ให้ค่าเม็ดสกรีนบวมสูงสุดอยู่ในช่วงโทนประมาณ 10%
- เปอร์เซ็นต์การบวมของเม็ดสกรีนแปรผันตามปริมาตรหมึกพิมพ์และความละเอียดการพิมพ์

- กระดาษสูตร 3 มีเปอร์เซ็นต์การบวมของเม็ดสกรีนน้อยที่สุด คือ มีเปอร์เซ็นต์เม็ดสกรีนบวมต่ำกว่ากระดาษสูตรอื่นๆ 13 สภาวะจากทั้งหมด 16 สภาวะ
- สำหรับกระดาษสูตรอื่น จากการทดลองนี้ไม่สามารถบอกแนวโน้มลำดับการบวมของเม็ดสกรีนได้แน่นอน เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์เม็ดสกรีนบวมมากบ้าง น้อยบ้าง สลับลำดับกันในแต่ละสภาวะการพิมพ์

กล่าวโดยสรุป คือ

1. กระดาษผิวกล่องที่มีการผสมเยื่อจากปาล์มน้ำมันทดแทนเยื่อเชิงพาณิชย์ในเปอร์เซ็นต์สูง เช่น กระดาษสูตร 3 และสูตร 4 นั้น สามารถให้งานพิมพ์พื้นตายที่มีคุณภาพงานพิมพ์ในด้านความดำสูงสุดและความเรียบลื่นสม่ำเสมอดีกว่า รวมถึงให้คุณภาพงานพิมพ์ฮาล์ฟโทนที่มีเปอร์เซ็นต์การบวมของเม็ดสกรีนต่ำกว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อเชิงพาณิชย์ล้วน (สูตร 1) หรือผสมเยื่อปาล์มน้ำมันเพียงเล็กน้อย (สูตร 2)
2. แต่สำหรับคุณภาพงานพิมพ์ฮาล์ฟโทนในด้านความดำช่วงฮาล์ฟโทนและความแปรปรวนต่างของงานพิมพ์ฮาล์ฟโทนนั้น กระดาษผิวกล่องที่มีการผสมเยื่อจากปาล์มน้ำมันทดแทนเยื่อเชิงพาณิชย์ในเปอร์เซ็นต์สูงไม่สามารถให้คุณภาพงานพิมพ์ที่ดีกว่าได้ เนื่องจากมีความขาวสว่างต่ำกว่า หากมีการพัฒนาปรับปรุงคุณสมบัติของกระดาษให้มีความขาวสว่างเพิ่มขึ้น ก็น่าจะสามารถให้งานพิมพ์ที่มีคุณภาพในด้านดังกล่าวสูงขึ้นได้

อุปสรรคในการดำเนินงานที่พบและแนวทางแก้ไข

1. เยื่อปาล์มน้ำมันที่นำมาใช้ผสมกับเยื่อเชิงพาณิชย์เพื่อผลิตเป็นกระดาษผิวกล่องลูกฟูกนั้น ต้องผลิตขึ้นมาใหม่ เนื่องจากเยื่อที่ผลิตได้แต่เดิมในช่วงการทดลองในปีงบประมาณ พ.ศ. 2551 ได้ใช้หมดลง ทำให้ต้องนำปาล์มน้ำมันในส่วนของโคนกาบใบมาต้มเยื่อใหม่ ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมที่หาได้จากการทดลองในปีงบประมาณ พ.ศ. 2552 นี้ไม่ตรงกับผลการทดลองที่ได้ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2551 เนื่องจากโคนกาบใบของปาล์มน้ำมันที่นำมาใช้นั้นมีระยะเวลาที่ผ่านการเก็บเกี่ยวไม่เหมือนกัน ทำให้มีค่าความชื้นต่างกัน เมื่อนำไปเตรียมเป็นชิ้นไม้จึงมีขนาดต่างไปจากการทดลองในปีงบประมาณ พ.ศ. 2551 ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองหาสภาวะการต้มเยื่อที่เหมาะสมใหม่ โดยมีการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการต้มเยื่อและเวลาในการต้มเยื่อต่างๆ กัน และทำการหาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการต้มเยื่อและเวลาในการต้มเยื่อที่เหมาะสมที่ให้สมบัติของเยื่อและกระดาษจากปาล์มน้ำมันที่ดีที่สุด
2. ในการผลิตกระดาษผิวกล่องลูกฟูกในระดับอุตสาหกรรมนั้น จะใช้เครื่องมือในระดับอุตสาหกรรมที่ซับซ้อนทำการขึ้นแผ่นเป็นกระดาษหลายชั้น ก่อนจะสำเร็จรูปออกมาเป็นกระดาษผิวกล่องลูกฟูกชั้นเดียว ซึ่งไม่สามารถทำได้ในห้องปฏิบัติการ ในโครงการวิจัยนี้จึงไม่ได้นำกระดาษที่ผลิตได้ไปเปรียบเทียบกับกระดาษผิวกล่องลูกฟูกเชิงพาณิชย์ แต่ได้นำเยื่อเชิงพาณิชย์มาขึ้นแผ่นในห้องปฏิบัติการแทน
3. อุปกรณ์ในการทดสอบสมบัติของกระดาษและสิ่งพิมพ์บางชิ้นมีการชำรุด (แนวทางแก้ไข: ซ่อมแซมให้ใช้งานได้ แต่ถ้าหากมีความจำเป็นอย่างเร่งด่วน อาจต้องส่งตัวอย่างออกไปทดสอบที่ห้องปฏิบัติการนอกภาควิชาฯ) รวมถึงอุปกรณ์ทดสอบบางอย่างไม่มีในห้องปฏิบัติการของภาควิชาฯ จึงต้องส่งตัวอย่างออกไปทดสอบที่ห้องปฏิบัติการนอกภาควิชาฯ ซึ่งอาจทำให้มีความล่าช้า เนื่องจากมีผู้ใช้บริการมาก (แนวทางแก้ไข: ส่งตัวอย่างให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ และวางแผนงานการทดลองล่วงหน้าให้ดี)
4. ความล่าช้าของการได้รับเงินทุนวิจัยแต่ละงวด ทำให้การดำเนินงานวิจัยบางส่วนเป็นไปได้อย่างล่าช้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการสั่งซื้อวัตถุดิบที่มีราคาแพง เพราะคณะนักวิจัยไม่มีเงินมากพอที่จะสำรองจ่ายล่วงหน้าไปก่อนได้ (แนวทางแก้ไข: มหาวิทยาลัยและคณะจ่ายงวดเงินสนับสนุนการวิจัยให้ตรงเวลา)
5. วัตถุดิบบางชนิดจำเป็นต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ ทำให้เกิดความล่าช้าในการทดลอง (แนวทางแก้ไข: วางแผนการทดลองล่วงหน้าให้ดีและสัมพันธ์กับเงินสนับสนุนวิจัยที่ได้รับในแต่ละงวด)
6. เหตุการณ์ไม่สงบที่เกิดขึ้นในกรุงเทพมหานคร ส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการปิดการทดลอง การวิเคราะห์ข้อมูล และการรวบรวมข้อมูลเพื่อเขียนเล่มรายงานโครงการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Food and Agriculture Organization, "Outlook for Pulp and Paper to 2010", FAO Report, FAO, Rome, 1988.
2. พรรณนีย์ วิชชาชู, "ปาล์มน้ำมัน...จากน้ำมันพืชถึงไบโอดีเซล", [http:// www.kasetcity.com/Thaibioenergy/Plam/QAview.asp?id=49](http://www.kasetcity.com/Thaibioenergy/Plam/QAview.asp?id=49), Accessed date: March 17, 2009.
3. "ความเป็นมาและความสำคัญของปาล์มน้ำมัน", <http://aomamm777.multiply.com/journal/item/4>, Accessed date: March 17, 2009.
4. Supaphol, P., Polylactide: A Review., วิศวกรรมสาร มก., (2543) ฉบับที่ 40, หน้า 94 -114.
5. Smook, G.A., Handbook for Pulp and Paper Technologists, 2nd ed., Angus Wilde Publication, Vancouver, BC, 1996, p.11.
6. Sjostrom, E., Wood Chemistry: Fundamentals and Applications, 2nd ed., Academic Press, San Diego, CA, 1993, p.13.
7. "องค์ความรู้ด้านปาล์มน้ำมัน", <http://203.151.46.10/anda/krabi/km-palm/index.asp>, Accessed date: March 17, 2009.
8. วารีย์ ช้วนรักธรรม, "นวัตกรรม "น้ำมันปาล์ม" จากอุตสาหกรรมอาหารสู่แหล่งพลังงานทดแทนของไทย", <http://teenet.tei.or.th/Knowledge/palmoil.html>, Accessed date: March 17, 2009.
9. Law, K.N., Daud, W.R.W., Ghazali, A., "Morphological and Chemical Nature of Fiber Strands of Oil Palm Empty-Fruit Bunch (OPEFB)", Bio Resources, Vol. 2 (3), 2007, pp.351-362.
10. Wanrosli, W.D., Zainuddin, Z., Law, K.N., and Asro, R., "Pulp from Oil Palm Fronds by Chemical Processes", Industrial Crops and Products, Vol. 25, 2007, pp.89-94.
11. Khalil, H.P.S.A., Alwani, M.S., and Omar, A.K.M., "Chemical Composition, Anatomy, Lignin Distribution, and Cell Wall Structure of Malaysian Plant Waste Fibers", Bio Resources, Vol. 1 (2), 2006, pp.220-232.
12. Wanrosli, W.D., Zainuddin, Z., and Roslan, S., "Upgrading of Recycled Paper with Oil Palm Fiber Soda Pulp", Industrial Crops and Products, Vol. 21, 2005, pp. 325-329.
13. Scott, W.E. and Trosset, S., Properties of Paper: an Introduction, 2nd ed., TAPPI Press, Atlanta, GA, 1995, pp.2-5.

14. สมาคมผู้ผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกแห่งประเทศไทย (ThaiCPA), "กระดาษกล่องลูกฟูกมีกี่ชนิด", <http://www.thaicorrugated.com/th/knowledge.php?cid=22>, Accessed date: May 24, 2009.
15. "ประเภทของกระดาษ", http://www.mew6.com/composer/package/package_19.php, Accessed date: May 24, 2009.
16. Pulp and Paper Dictionary, <http://www.paperonweb.com/dict11.htm>, Accessed date: March 24, 2009.
17. "ความรู้เกี่ยวกับกระดาษลูกฟูก", http://www.kwanghua.co.th/ps_1.html, Accessed date: March 24, 2009.
18. Coyle Fulte Types, <http://www.coylecor.com/index.cfm?ID=8>, Accessed date: March 24, 2009.
19. "Types of Corrugated Board", http://www.tis-gdv.de/tis_e/verpack/papier/wp_arten/wp_arten.htm, Accessed date: March 24, 2009.
20. Foundation of Flexographic Technical Association, Flexography Principles and Practices, 4th ed., Foundation of Flexographic Technical Association, Inc., New York, NY, 1991, pp. 4-31.
21. อรัญ หาญสืบสาย, ระบบพิมพ์แบบต่างๆ และการนำไปใช้, สมาคมแยกสีแม่พิมพ์เพื่ออุตสาหกรรมกราฟิกไทย, โรงพิมพ์ตะวันออก, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย, 2548, หน้า 69-85.
22. "Laser Engraved Ceramic Anilox Roll", <http://www.devonintl.com/packaging-solutions/Printing.html>, Accessed date: March 23, 2009.
23. "Laser Engraving >> Laser engraved ceramic anilox roll", <http://www.shlasergroup.com/en/ProductShow.asp?ID=93>, Accessed date: March 23, 2009.
24. "Sumei's Flexo Photo-Polymer Plate Will Be Displayed at Site", <http://www.sino-corrugated.com/EN/Detail.asp?id=728>, Accessed date: March 23, 2009.
25. Leach, R.H., Pierce, R.J., Hickman, E.P., Mackenzie, M.J., and Smith, H.G., The Printing Ink Manual 5th ed., TJ Press, Cornwall, UK, 1993, 435-460.
26. Rentzhog, M., Fogden, A., "Print Quality and Resistance for Water-Based Flexography on Polymer-Coated Board: Dependence on Ink Formulation and Substrate Pretreatment", *Progress in Organic Coating*, Vol. 57, 2006, 183-194.

27. Olsson, R., Yang, L., and Lestelius, M., "Water Retention of Flexographic Inks and Its Influence on Final Print Gloss", Nordic Pulp and Paper Research Journal, Vol. 22, 2007, 287-292.
28. Shah, A., Hasan, F., Hameed, A., and Ahmed, S., "Biological Degradation of Plastic: A Comprehensive Review", Biotechnology Advances, Vol. 26, 2008, 246-265.
29. Lunt, J., "Large-Scale Production, Properties and Commercial Applications of Poly(lactic acid) Polymer", Polymer Degradation and Stability, Vol. 59, 1998, 145-152.
30. Oda, Y., Yonetsu, A., Urakami, T., and Tonomura, K. "Degradation of Polylactide by Commercial Proteases" Journal of Polymers and the Environment, Vol. 8, 2000, pp. 29-32.
31. Thellen C., Orroth, C., Froio, D., Ziegler, D., Lucciarni, J., Farrell, R., D'Souza, N. A., and Ratto, J. A., "Influence of Montmorillonite Layered Silicate on Plasticized Poly(L-lactide) Blown Films" Polymer, Vol. 46, 2005, pp. 11716-11727.
32. Ouchi T., Kontani T., and Ohya, Y., "Modification of Polylactide upon Physical Properties by Solution-Cast Blends from Polylactide and Polylactide-Grafted Dextran" Polymer, Vol. 44, 2003, pp. 3927-3933.
33. Roland M., "The Tone System", http://www.thetonesystem.com/inkjet_basics.html, Accessed date: March 23, 2009.
34. Kipphan, H., Handbook of Print Media: Technologies and Production Methods, Springer, Heidelberg, Germany, 2001, pp.14-116.
35. พรทิวี พึ่งรัศมี และ อรุณ หาญสืบสาย, สารานุกรมเรื่องกระดาษพิมพ์, พิมพ์ครั้งที่ 2, บริษัทด้านอุตสาหกรรมพิมพ์ จำกัด, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย, 2537, หน้า 81-87.
36. "IGT F1 Printability Tester for Flexo and Gravure Inks", <http://www.igt.nl/gb/awm/bestanden/products/f1-uk.pdf>, Accessed date: March 23, 2009.
37. "R730, R730P Color Reflection Densitometers", http://www.ihara-us.com/products/prod_densitometer_r730.html, Accessed date: March 17, 2009.
38. "Canon CanonScan LiDE 60 Flatbed Scanner", http://www.canon-europe.com/ForHome/Product_Finder/Scanners/Flatbed/canonscan_lide60/index.asp, Accessed date: March 17, 2009.
39. "มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระดาษเหนียว", มอก2519-170 ., สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

ประวัติคณະนักวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. นางสาวสมพร ชัยอารีภักดิ์
Miss Somporn Chairrekij
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 31009-00073-73-3
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. ภาควิชาภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท กรุงเทพฯ 10330
โทร (02) 218-5572, 218-5581-2
โทรสาร (02) 255-3021
5. ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2549	PhD candidate (Paper Science and Engineering) State University of New York (SUNY), College of Environmental Science and Forestry (ESF)
พ.ศ. 2544	M.S. (Paper Science and Engineering) Western Michigan University, USA
พ.ศ. 2533	B.S. (Photographic Science and Printing Technology) Chulalongkorn University, Thailand
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิมการศึกษ) ระบุสาขาวิชาการ
Wastepaper recycling
Deinking technology
Conventional and non-impact printing
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
 - งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว
 - 1) ผลของภาวะการเก็บกระดาษต่อการดึงหมึกพิมพ์ออกจากกระดาษหนังสือพิมพ์ในประเทศไทย, 2549-2551, สถานภาพวิจัย: หัวหน้าโครงการวิจัย, ทุนวิจัย: "ทุนนักวิจัยใหม่" จากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
 - 2) การใช้ประโยชน์จากกากของมันสำปะหลังในการผลิตกระดาษลูกฟูก, 2550-2551, สถานภาพวิจัย: ผู้ร่วมโครงการวิจัย, ทุนวิจัย: บริษัท เยนเนอรัล สตาร์ช จำกัด

- 3) การใช้ไคโตซานร่วมกับเซลล์ในการดิ่งหมักพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำออกจากกระดาษ, 2550-2551, สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
- 4) การผลิตเยื่อกระดาษจากนุ่น, 2549-2550, สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
- 5) การผลิตเยื่อกระดาษจากกากเหลือของมันเส้น, พฤษจิกายน-ธันวาคม 2549, ร่วมกับภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาฯ, สถานภาพวิจัย: ผู้ร่วมวิจัย
- 6) Deinking of Office Paper Under Neutral Conditions, August-September 2006, ร่วมกับ Professor Dr. Akira Isogai จาก University of Tokyo, สถานภาพวิจัย: ผู้ทำวิจัยหลัก
- 7) การผลิตเยื่อกระดาษจากกล้วย, 2548-2549, สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
- 8) ผลกระทบของกระดาษนิตยสารเก่าที่มีต่อการดิ่งหมักพิมพ์จากกระดาษหนังสือพิมพ์โดยวิธีลอยหมักพิมพ์, 2547-2548, สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
- 9) การผลิตกระดาษคราฟต์จากเยื่อเปลือกทุเรียน, 2547-2548, สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
- 10) Optimizing De-inking Potential of Local Old Newspaper, 2546-2547, ร่วมกับ Associate professor Dr. Mousa M. Nazhad จากสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) สถานภาพวิจัย: ผู้ร่วมวิจัย
- 11) การหาวิธีที่เหมาะสมในการดิ่งหมักออกจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์ท้องถิ่น, 2546-2547, สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
- 12) การใช้เอ็นไซม์ไคลาเนสช่วยในการฟอกเยื่อจากขาน้อย, 2546-2547, สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
- 13) การผลิตเยื่อกระดาษจากผักสามดาว, 2546-2547, สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
- 14) อิทธิพลของสารกันซึมที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของกระดาษพิมพ์อิงก์เจ็ตชนิดไม่เคลือบผิว, 2546-2547, สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
- 15) ผลของจำนวนรอบการแห้งตัวและการตีเยื่อที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของกระดาษรีไซเคิล, 2546-2547, สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
- 16) การผลิตเยื่อกระดาษจากเปลือกทุเรียน, 2545-2546, สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
- 17) การผลิตเยื่อกระดาษจากไม้มะม่วง, 2545-2546, สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย

18) การแยกหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ตรูปร่างน้ำออกจากกระดาษ, 2545-2546, สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย

● งานวิจัยที่กำลังทำ

1) การผลิตเยื่อกระดาษจากข้าวโพดและพืชเศรษฐกิจของจังหวัดน่าน (เริ่มทำวิจัยเมื่อเดือนตุลาคม 2551 โดยโครงการนี้เป็นโครงการย่อยและได้รับทุนวิจัยจากโครงการวิทยาเพื่อพื้นที่ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีงบประมาณ 2551-2554, สถานภาพวิจัย: หัวหน้าโครงการวิจัย)

2) การใช้เส้นใยุ่นช่วยเพิ่มสมบัติทางกายภาพของกระดาษ (เริ่มทำวิจัยเมื่อเดือนพฤษภาคม 2550 และได้ทำสำเร็จแล้วประมาณ 50% โดยโครงการนี้เป็นโครงการย่อยในส่วนของเมธีวิจัยอาวุโส ศ.ดร. สุดา เกียรติกำจรวงศ์ สถานภาพวิจัย: หัวหน้าโครงการวิจัย)

● ผลงานทางวิชาการ

1. สุพิตา สุขจำเริญ, กุณฑินี สุวรรณกิจ, และ สมพร ชัยอารีย์กิจ, การผลิตเยื่อและกระดาษจากข้าวโพด, 12th National Graduate research Conference, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, วันที่ 12-13 กุมภาพันธ์ 2552.

2. สุธิตา มุลาลินน์, สมพร ชัยอารีย์กิจ, หรรษา ปุณณะพยัคฆ์ และสีหนาท ประสงค์สุข, การผลิตเยื่อและกระดาษจากหญ้าคาและหญ้าแฝก, 12th National Graduate research Conference, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, วันที่ 12-13 กุมภาพันธ์ 2552.

3. Chairrekij, S., and Sukjamroen, S., "Papermaking of Various Cornstalk Stem Parts", 4th Mathematics and Physical Sciences Graduate Congress, Faculty of Science, National University of Singapore, Singapore (December 17-19, 2008).

4. Prasongsuk, S., Chairrekij, S., and Mulalin, S., "Use of Cogon and Vetiver Grasses for Pulping and Papermaking", 4th Mathematics and Physical Sciences Graduate Congress, Faculty of Science, National University of Singapore, Singapore (December 17-19, 2008).

5. อภิพร อภิรักษ์ชัยสกุล, กุณฑินี สุวรรณกิจ, สมพร ชัยอารีย์กิจ และ สุดา เกียรติกำจรวงศ์, การใช้เส้นใยุ่นในการปรับปรุงสมบัติกระดาษ, การประชุมวิชาการ "นเรศวรวิจัย" ครั้งที่ 4, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, วันที่ 28-29 กรกฎาคม 2551.

6. ปณิตดา กลิ่นบัว, ณัฐธยาน์ พงศ์สถาปตี และ สมพร ชัยอารีย์กิจ, การใช้ไคโตซานร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลสในการกำจัดหมึกจากกระดาษที่พิมพ์ด้วยโทนเนอร์ด้วยวิธีลอยฟองอากาศ, การประชุมวิชาการ "นเรศวรวิจัย" ครั้งที่ 4, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, วันที่ 28-29 กรกฎาคม 2551.
7. อุทุมพร วงศ์สายสุวรรณ, สุณีย์ วัฒนชนะกิจ และสมพร ชัยอารีย์กิจ, อนุสิทธิบัตร เรื่องการผลิตกระดาษจากเส้นใยุ่นุ่่น ได้รับการจดสิทธิบัตร วันที่ 13 มิถุนายน 2551 เลขที่จดทะเบียน 4279 โดยจดสิทธิบัตรผ่านทางสถาบันทรัพย์สินทางปัญญาแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
8. วรณนภา คุณวุฒิพร, สุนทรี พงศ์ถาวรภิญโญ และสมพร ชัยอารีย์กิจ, การใช้ไคโตซานร่วมกับเซลลูเลสในการดึงหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำออกจากกระดาษ, การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 16, คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 13-14 มีนาคม 2551.
9. พิรุฬห์ โพธิ์ทอง, อิทธิพัทธ์ สฐิติกุลไพศาล และสมพร ชัยอารีย์กิจ, การผลิตกระดาษจากปาล์มน้ำมัน, การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 16, คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 13-14 มีนาคม 2551.
10. Yooto, S., Phutatham, P., Kanokanan, J., and Chairrekij, S., "Effects of Aging Conditions on Deinking of Newsprints", Oral Presentation at Technology and Innovation for Sustainable Development (TISD conference), Khon Kaen, Thailand (January 28-29, 2008).
11. อุทุมพร วงศ์สายสุวรรณ, สุณีย์ วัฒนชนะกิจ และสมพร ชัยอารีย์กิจ, การผลิตเยื่อกระดาษจากุ่นุ่่น, การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 15, คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 15-16 มีนาคม 2550.
12. ปัญญาวุฒิ ผุฏฐธรรม, จักรพันธ์ กนกอนันต์ และสมพร ชัยอารีย์กิจ, ผลของภาวะการเก็บกระดาษแบบกลางแจ้งที่มีต่อการดึงหมึกพิมพ์ออกจากกระดาษหนังสือพิมพ์ในประเทศ, การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 15, คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 15-16 มีนาคม 2550.
13. เมทินี ปิงสว่างวงศ์, ดิณฑัย ทองประดับ และ สมพร ชัยอารีย์กิจ, การผลิตเยื่อกระดาษจากกล้วย, การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 14, คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 16-17 มีนาคม 2549.
14. Chairrekij, S., and Ramarao, B.V., "The Use of Flotation Column in Deinking of Recycled Pulp", Oral Presentation at Technology and Innovation for

- Sustainable Development (TISD conference), Khon Kaen, Thailand (January 25-26, 2006).
15. Nazhad, M.M., and Chairrekij, S., "Optimising De-inking Potential of Local Old Newspaper" Oral Presentation at Seminars on RTG Joint Research Projects, Pathumthani, Thailand (August 8, 2005).
 16. Chairrekij, S., and Ramarao, B.V., "Kinetics of De-inking of Waste Paper in Batch and Continuous Modes by Column Flotation" Oral Presentation at AIChE Annual Meeting 2004, Austin, TX (November 7-12, 2004).
 17. สัญญา จงเสถียร, นัฐวุฒิ ลี้วิบูลย์ศิลป์, สมพร ชัยอารีย์กิจ และ กุณทีนี สุวรรณกิจ, ผลกระทบของกระดาษนิตยสารเก่า ต่อการดั่งหมึกพิมพ์จากกระดาษหนังสือพิมพ์ โดยวิธีลอยหมึกพิมพ์, การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 13, คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 16-17 มีนาคม 2548.
 18. ชฎารัตน์ อิศระมโนรส, สมพร ชัยอารีย์กิจ และ กุณทีนี สุวรรณกิจ, การผลิตกระดาษคราฟต์จากเยื่อเปลือกทุเรียน, การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 13, คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 16-17 มีนาคม 2548.
 19. ชรัฐ ตามไท, กัลยาณี ตันทวารวณะ, กัญญารัตน์ วรรณอาภา และ สมพร ชัยอารีย์กิจ, การหาวิธีที่เหมาะสมในการดั่งหมึกออกจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์ท้องถิ่น, การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 12, คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 18-19 มีนาคม 2547.
 20. แสงชัย เตชะวรรณพงษ์ และ สมพร ชัยอารีย์กิจ, การใช้เอนไซม์ไซลาลเนสช่วยในการฟอกเยื่อจากขานอ้อย, การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 12, คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 18-19 มีนาคม 2547.
 21. สุนันท์ อุดมสุด, การผลิตเยื่อกระดาษจากผักสามดาว, การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 12, คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 18-19 มีนาคม 2547.
 22. ณัฐธยาน์ วงษ์อัยรา, กุณทีนี สุวรรณกิจ และ สมพร ชัยอารีย์กิจ, อิทธิพลของสารกันซึมที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของกระดาษพิมพ์อิงค์เจ็ทชนิดไม่เคลือบผิว, การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 12, คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 18-19 มีนาคม 2547.
 23. ฉันทพล แสงธีรกิจ และสมพร ชัยอารีย์กิจ, ผลของจำนวนรอบการแห้งตัวและการตีเยื่อที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของกระดาษรีไซเคิล, การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 12, คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 18-19 มีนาคม 2547.

24. Francis, R.C., Chairrekij, S., and Ramarao, B.V., "Preliminary Results on Hydrogen Peroxide Addition to Chlorine Dioxide Bleaching Stages", *Journal of Wood Chemistry and Technology*, Volume 23, Issue 2, 2003.
25. นพวรรณ รักฝึกฝน และสมพร ชัยอารีย์กิจ, การผลิตเยื่อกระดาษจากเปลือกทุเรียน, การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 11 ประจำปี 2546 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, วันที่ 18-19 มีนาคม 2546.
26. ธงชัย วุฒิจันทร์, การผลิตเยื่อกระดาษจากไม้มะม่วง, การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 11 ประจำปี 2546 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, วันที่ 18-19 มีนาคม 2546.
27. ชูสิทธิ์ สุขป้อม และสมพร ชัยอารีย์กิจ, การแยกหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ดฐานน้ำออกจากกระดาษ, การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 11 ประจำปี 2546 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, วันที่ 18-19 มีนาคม 2546.
28. สมพร ชัยอารีย์กิจ, "สงวนป่าด้วยการรีไซเคิลกระดาษ", โปสเตอร์งานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในส่วนของคณะวิทยาศาสตร์ เดือนธันวาคม 2545.
29. สมพร ชัยอารีย์กิจ, "การเอาหมึกออกของหมึกเฟลกโซฐานน้ำด้วยเอ็นไซม์", โปสเตอร์งานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในส่วนของคณะวิทยาศาสตร์ เดือนธันวาคม 2545.
30. Chairrekij, S., and Aravamuthan, R., "Enzymatic Deinking of Flexographic Water-Based Inks", Oral Presentation at 28th Congress of Science and Technology of Thailand, Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok, Thailand (October 24-26, 2002).
31. Chairrekij, S., and Ramarao, B.V., "Kinetics of Deinking of Recycled Fibers by Column Flotation" Oral Presentation at AIChE Annual Meeting 2001, Reno, NV (November 4-9, 2001).
32. Chairrekij, S., and Aravamuthan, R., "Enzymatic Deinking of Flexographic Water-Based Inks", Poster Presentation at 2001 TAPPI Pulping Conference, Sheraton Seattle Hotel & Towers, Seattle, WA (November 4-7, 2001).
33. Chairrekij, S., Dhingra, H., and Ramarao, B.V., "Deinking of Recycled Pulps Using Column Flotation: Energy and Environmental Benefits", *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 28, No. 3, p. 219-226 (2000).

34. Chairrekij, S., Gupta, H., Amato, W.S., Bandyopadhyay, A., and Ramarao, B.V., "Deinking of Recycled Pulps Using Column Flotation", Chapter 7, ESPRA Research Report # 112 (June 2000).
35. Chairrekij, S., Gupta, H., Amato, W.S., and Ramarao, B.V., "Experimental Results on Deinking of Recycled Fibers by Column Flotation", Wood and Cellulose Conference, Sheraton Hotel, Syracuse, NY (April 9-11, 2000).
36. Chairrekij, S., Gupta, H., Amato, W.S., and Ramarao, B.V., "Deinking of Recycled Pulp Using Column Flotation", Poster Presentation at Wood and Cellulose Conference, Sheraton Hotel, Syracuse, NY (April 2000).
37. Chairrekij, S., Dhingra, H., and Ramarao, B.V., "Deinking of Recycled Pulps Using Column Flotation: Energy and Environmental Benefits", 3rd ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry 'Industry and Innovation in the 21st Century' (1999).

ผู้ร่วมวิจัย 1

1. นางสาวกุนทีนี้ สุวรรณกิจ

Miss Kuntinee Suvarnakich

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 31009-00156-53-1

3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

4. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทร (02) 218-5587, 218-5581-2

โทรสาร (02) 255-3021

5. ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2546 Ph.D. (Paper Science and Engineering)

University of Washington, U.S.A.

พ.ศ. 2538 B.S. (Photographic Science and Printing Technology)

Chulalongkorn University, Thailand

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

สมบัติของเส้นใย

สมบัติของกระดาษ และการทดสอบ

ปัญหาการพิมพ์

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

● งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

1. การใช้เส้นใยหนูช่วยเพิ่มสมบัติทางกายภาพของกระดาษ, 2550-2551, สถานภาพวิจัย: ผู้ร่วมวิจัย
2. การใช้ประโยชน์จากกากของมันสำปะหลังในการผลิตกระดาษลูกฟูก, 2550-2551 สถานภาพวิจัย: ผู้ร่วมวิจัย
3. ผลของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีต่อความคงทนของกระดาษที่ใส่สารเพิ่มความขาวสว่าง, 2550-2551, สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
4. สมบัติทางกายภาพของกระดาษฐานที่ส่งผลต่อการรับสารเคลือบและคุณภาพทางการพิมพ์อิงก์เจ็ต, 2550-2551, สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
5. ผลของสารเพิ่มความขาวสว่างต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงแสงของกระดาษที่ผ่านการเร่งอายุการเก็บ, 2550-2551, สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
6. การใช้ไคโตซานเป็นสารเพิ่มความฟ้ามในกระดาษ, 2550-2551, สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
7. ผลกระทบของสารเพิ่มความขาวสว่างเชิงแสงที่มีต่อความคงทนของกระดาษ, 2549-2550, สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
8. การผลิตเยื่อกระดาษจากกากเหลือของมันเส้น, พฤศจิกายน-ธันวาคม 2549, ร่วมกับภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาฯ, สถานภาพวิจัย: ผู้ร่วมวิจัย
9. Relationships Between Macroscopic Paper Structure and Water-Absorption Behavior of Paper, July-August 2006, ร่วมกับ Professor Dr. Akira Isogai จาก University of Tokyo, สถานภาพวิจัย: ผู้ทำวิจัยหลัก
10. การผลิตเยื่อจากลำต้นมันสำปะหลังด้วยกระบวนการโซดา, 2548-2549, สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
11. การหาลักษณะเฉพาะของกระดาษพิมพ์เขียนด้วยเทคนิค FFT, 2548-2549, สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
12. ผลกระทบของกระดาษนิตยสารเก่าที่มีต่อการดิ่งหมึกพิมพ์จากกระดาษหนังสือพิมพ์โดยวิธีลอยหมึกพิมพ์, 2547-2548, สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย

13. การผลิตกระดาษคราฟต์จากเยื่อเปลือกทุเรียน, 2547-2548, สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
 14. การประเมินคุณภาพของเส้นใยในการพิมพ์อิงค์เจ็ทด้วย Virtual Microdensitometer, 2547-2548, สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
 15. อิทธิพลของสารกันซึมที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของกระดาษพิมพ์อิงค์เจ็ทชนิดไม่เคลือบผิว, 2546-2547, สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
 16. Measurement of Single Fiber Profiles and Their Effects on Paper Sheet Properties, 2000-2003, ร่วมกับ Professor Dr. Richard Gustafson จาก University of Washington, สถานภาพวิจัย: ผู้ทำวิจัยหลัก
 17. A New Fiber Analyzer for Research and Industrial Applications, 1998-2000, ร่วมกับ Professor Dr. Richard Gustafson จาก University of Washington, สถานภาพวิจัย: ผู้ร่วมวิจัย
 18. การจัดการสีในระบบ Desktop Publishing, 2537-2538, สถานภาพวิจัย: ผู้ทำวิจัยหลัก
- งานวิจัยที่กำลังทำ
 1. การผลิตเยื่อและกระดาษจากส่วนต่างๆ ของข้าวโพดและพืชท้องถิ่นอื่นๆ (เริ่มทำวิจัยเมื่อเดือนมีนาคม 2551 และได้ทำสำเร็จแล้วประมาณ 30% โดยโครงการนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากโครงการวิทยาเพื่อพื้นที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถานภาพวิจัย: ผู้ร่วมวิจัย)
 2. การปรับปรุงสมบัติของกระดาษด้วยไคโตซาน สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
 - ผลงานทางวิชาการ
 1. Poonpon, P., Pattanaruedee, S., Pongstabodee, S., and Suvarnakich, K., The Use of Natural Additives as Bulking Agent in Paper. 9th National Grad Research Conference, Burapha University, Chonburi, Thailand, March 14-15, 2008.
 2. Osatanon, S., Chairrekij, S., and Suvarnakich, K., The Use of Cassava Residue to Substitute Hardwood Pulp in Paper, 9th National Grad Research Conference, Burapha University, Chonburi, Thailand, March 14-15, 2008.

3. Piboonhirunthumrong, P., Chairrekij, S., and Suvarnakich, K., The Use of Cassava Residue as a Dry Strength Agent in Paper, 9th National Grad Research Conference, Burapha University, Chonburi, Thailand, March 14-15, 2008.
4. Poonpon, P., Pongstabodee, S., Pattanaruedee, S. and Suvarnakich, K., Influence of Chitosan on Physical Properties of Paper, 3rd Mathematics and Physical Sciences Graduate Congress, University of Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia, December 12-14, 2007.
5. Suvarnakich, K., Enomae, T. and Isogai, A., Relationship Between Macroscopic Paper Structure and Water Absorption Behavior, Japan Tappi Journal, Vol. 62 (3), 325-332.
6. Puangart, R. and Suvarnakich, K., Effect of Calcium Carbonate on the Performance of Paper with an Optical Brightening Agent, 16th Academic Conference Arranged by Faculty of Science, Chulalongkorn University, 13-14 March 2008.
7. Jaroenpanyapary, W., Kanjanathanalert, T. and Suvarnakich, K., Base Paper Properties Affecting Coating Receptivity and Ink-Jet Printing Quality, 16th Academic Conference Arranged by Faculty of Science, Chulalongkorn University, 13-14 March 2008.
8. Kridpitayadecha, C. and Suvarnakich, K., Soda Pulping of Cassava Stems, 14th Academic Conference Arranged by Faculty of Science, Chulalongkorn University, 16-17 March 2006.
9. Danulaks, C. and Suvarnakich, K., Characterization of Printing/Writing Paper Using Fast Fourier Transform Technique, Proc. 14th Academic Conference Arranged by Faculty of Science, Chulalongkorn University, 16-17 March 2006.
10. Jongsatian, S., Leeviboonsin, N., Chairrekij, S. and Suvarnakich, K., The Effects of Old Magazines on Deinking of Newsprint by Flotation, Proc. 13th Academic Conference Arranged by Faculty of Science, Chulalongkorn University, 16-17 March 2005.

11. Pathomchalwal, A., Suvarnakich, K., Cherdhirunkorn, K., and Koopipat, C., Evaluation of Line Quality of Inkjet Printing with a Virtual Microdensitometer, Proc. 13th Academic Conference Arranged by Faculty of Science, Chulalongkorn University, 16-17 March 2005.
12. Itsaramanoros, C., Chairrekij, S., and Suvarnakich, K., Making Kraft Paper from Durian Peel Pulp, Proc. 13th Academic Conference Arranged by Faculty of Science, Chulalongkorn University, 16-17 March 2005.
13. Wongaiyara, N., Suvarnakich, K., and Chairrekij, S., Effects of Sizing on Physical Properties of Uncoated Inkjet Paper, Proc. 12th Academic Conference Arranged by Faculty of Science, Chulalongkorn University, 18-19 March 2004.
14. Udomsud, S., Suvarnakich, K. and Chairrekij, S., Pulping of *Monchoria Hasta Solms.*, Proc. 12th Academic Conference Arranged by Faculty of Science, Chulalongkorn University, 18-19 March 2004.
15. Gustafson, R., Callis, J., Mathews, J., Bruckner, C., Robinson, J., Suvarnakich, K. (Inventors). Method and Apparatus for Assaying Wood Pulp Fibers, Patent Application CA2555968 A1, September 10, 2004; WO2004076740 A2, September 10, 2004; WO2004076740 A3, December 16, 2004; US2005019948 A1, January 27, 2005; EP1639347 A2 March 29, 2006.
16. Suvarnakich, K., Measurement of Single Fiber Properties and Their Effects on Paper Sheet Properties [PhD Dissertation], Seattle (WA): University of Washington, 2003.
17. Mathews J, Robinson J, Bruckner C, Suvarnakich K, Callis JB, Liu Y, Gustafson R., A New Fiber Analyzer For Research and Industrial Applications. Pulp Digester Modeling and Control Workshop, Annapolis, MD, June 28, 2001.
18. Bruckner C, Suvarnakich K, Robinson J, Gustafson R, Callis J., Single-Fiber Kappa Number Analyzer, NORM'99, Symposium on Process Analytical Chemistry I, 54th Northwest Regional Meeting of the American Chemical Society, Portland, OR, June 20-23, 1999.

19. Suvarnakich, K., Tarasanit, T., and Vacheeravothan, V., Color Management in Desktop Publishing System [Senior Project], Bangkok: Chulalongkorn University (in Thai), Bangkok, Thailand, 1995.

ผู้ร่วมวิจัย 2

1. นางสาวสิริวรรณ พัฒนาคูดี
Miss Siriwan Phattananarudee
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3-1008-00741-70-0
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท กรุงเทพฯ 10330
โทร (02) 218-5568, (02) 218-5581-2
โทรสาร (02) 254-6530
5. ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2546	Ph.D. (Polymer Science and Engineering) Lehigh University, USA
พ.ศ. 2540	M.S. (Polymer Science and Engineering) Lehigh University, USA
พ.ศ. 2535	B.S. (Material Science/Polymers) Chulalongkorn University, Thailand
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
อิมัลชันพอลิเมอร์
คอลลอยด์
วัสดุทางการพิมพ์
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
 - งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว
 1. การปรับสภาพผิวด้วยสารกลุ่มอะมิโนบนผ้าไหมสำหรับการพิมพ์อิงก์เจ็ต
สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาร่วมและผู้ร่วมวิจัย
 2. การสังเคราะห์ซูเปอร์แอบซอร์บเบนท์อะครีเลตโคอิทาโคนิกคอมโพสิต
สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาร่วมและผู้ร่วมวิจัย

3. งานของ การยึดติดระหว่างหมึกพิมพ์ ฐานตัวทำละลายและพอลิโพรพิลีนปรับผิว ด้วยคอโรนาดีสชาร์จโดยวิธีของเหลว 3 ชนิด
สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
 4. ผลการจัดเรียงตัวของโครงสร้างพอลิเอทิลีนต่อการปรับสภาพผิวด้วยอาร์กอน พลาสมา
สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
 5. การปรับผิวพอลิแลกไทด์ด้วยวิธีคอโรนาดีสชาร์จและอาร์กอนพลาสมา
สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
 6. หมึกพิมพ์ชนิดสีย้อมสำหรับผ้าไหมเคลือบไคโตซาน
สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
 7. ผลของสารก่อผลึกต่อสมบัติทางกายภาพของพอลิแลกไทด์ผสมพอลิโพรพิลีน
สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
 8. ผลของการดูดซึมไอระเหยอินทรีย์ต่อบรรจุภัณฑ์พลาสติก
สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาร่วมและผู้ร่วมวิจัย
 9. ผลของน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเอทิลีนต่อความเข้ากันได้กับพอลิแลกไทด์
สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาร่วมและผู้ร่วมวิจัย
 10. สารยึดขนาดนาโนเมตรในหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตชนิดสารสีสำหรับการพิมพ์อิงก์เจ็ต บนผ้าไหม
สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาร่วมและผู้ร่วมวิจัย
 11. สารเคลือบผิวกระดาษจากพอลิแลกไทด์ผสมมอนต์โมริลโลไนต์
สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
- งานวิจัยที่กำลังทำ
 1. การเตรียมอนุภาคของบิวทิลอะคริเลตโคเมทิลเมทาคริเลตห่อหุ้มด้วยไคโตซาน
สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
 2. การเตรียมหมึกพิมพ์ชีวภาพสำหรับการพิมพ์ด้วยระบบพิมพ์เฟล็กโซกราฟีบนกระดาษบรรจุภัณฑ์
สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
 - ผลงานทางวิชาการ
ผลงานวิจัย
 1. Phattanarudee S., El-Aasser M.S., and Silebi C.A., "Aggregation of Polystyrene Latexes Stabilized with Conventional, Reactive, and

- Polymeric Surfactants", Proceedings of the 8th Pacific Polymer Conference, Polymer Society (Thailand), Bangkok, November 24-27 (2003).
2. Phattanarudee S., Pathomwattanakul P., Moontongsong C., Noppakundilograt S., and Kiatkarmjornwong S., "Improvement of Surface Energy of Polypropylene by Corona Discharge and Argon Plasma Treatments", Proceedings of the 10th International Conference on Radiation Curing, RadTech Asia 2005, Shanghai, China, May 24-26, p. 635-638.
 3. Kiatkamjornwong S., Phattanarudee S., Jiratumnikul N. "Status of Radiation Curing in Thailand", Proceedings of the 10th International Conference on Radiation Curing, 23-26 May 2005, Shanhai Exhibition Hall, Shanghai, PR. China, pp. 34-39.
 4. Noppakundilograt S, Phattanarudee S., Kiatkamjornwong S, Kumekawa R, Ogura M, Hoshino Y. Imaging Parameters Influencing the Rewritable Process of Titanium Dioxide Electrophoresis, Journal of Imaging Science and Technology 2007; 51:190-195. (TJTTP)
 5. Phattanarudee S., Chakvattanatham K., and Kiatkamjornwong S., Pretreatment of Silk Fabric Surface with Amino Compounds for Ink Jet Printing, Progress in Organic Coatings 64 (2009) 405-418.
 6. Noreewon P. and Phattanarudee S, "Preparation of Polylactide/Montmorillonite Nanocoating for Paper", Proceedings of the 9th National Graduate Research Conference, Burapa University, March, 14-15 (2008).
 7. Taweerat V. and Phattanarudee S., "Synthesis of Butyl acrylate and Methyl methacrylate Copolymer Encapsulated with Chitosan", Proceedings of the 10th National Graduate Research Conference, Sukhothai Thammathirat Open University, September, 11-12 (2008).
 8. Varapaskul T., Phattanarudee S., "Preparation of Bio Flexo-ink Using Polylactide Binder for Kraft Paper Printing", Proceedings of the 12th

- National Graduation Research Conference, Khon Kaen University, February, 12-13 (2009).
9. กลองทอง จักรวัฒน์ธรรม **สิริวรรณ พัฒนาฤติ** สุดา เกียรติกำจรวงศ์ "การปรับสภาพผิวด้วยสารกลุ่มอะมิโนบนผ้าไหมสำหรับการพิมพ์อิงค์เจ็ต" วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี 2550 (แหล่งทุน:ทุนเมธีวิจัยอาวุโส สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.))
 10. ดวงตะวัน เพ็ญพุ่ม **สิริวรรณ พัฒนาฤติ** สุดา เกียรติกำจรวงศ์ "การสังเคราะห์ซูเปอร์แอบซอร์บเบนท์อะคริเลตโคอิทาโคนิกคอมโพสิต" วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี 2550 (แหล่งทุน:ทุนเมธีวิจัยอาวุโส สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.))
 11. สุวรรณีย์ สุขเมธวาทินกุล **สิริวรรณ พัฒนาฤติ** สุดา เกียรติกำจรวงศ์ "ผลของการดูดซึมไอสารอินทรีย์ต่อบรรจุภัณฑ์พลาสติก" วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี 2550
 12. อรอนงค์ ปิ่นมงคล **สิริวรรณ พัฒนาฤติ** สุดา เกียรติกำจรวงศ์ "ความเข้ากันได้และการย่อยสลายของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/พอลิแลกติกแอซิดเบลนด์" วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี 2550
 13. ชูติมา ศรีตระกร พงษ์ศักดิ์ วิริยะบัณฑิตกุล สุดา เกียรติกำจรวงศ์ **สิริวรรณ พัฒนาฤติ** "งานของ การยึดติดระหว่างหมึกพิมพ์ ฐานตัวทำละลายและพอลิโพรพิลีนปรับผิวด้วยคอโรนาดีสชาร์จโดยวิธีของเหลว 3 ชนิด" โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมสร้างประสบการณ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี 2547 (แหล่งทุน: ทุนโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมสร้างประสบการณ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
 14. ดวงกมล ถนอมศักดิ์ศรี อัญชลี ตีรังคะวิบูลย์ สุดา เกียรติกำจรวงศ์ **สิริวรรณ พัฒนาฤติ** "ผลการจัดเรียงตัวของโครงสร้างพอลิเอทิลีนต่อการปรับสภาพผิวด้วยอาร์กอนพลาสมา" โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมสร้างประสบการณ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี 2548 (แหล่งทุน: ทุนโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมสร้างประสบการณ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
 15. พรทิพย์ ตั้งจิตมานะกุล พนิตพิชา รุติพัฒนะกุล รัชชาติ มงคลนาวัน สุดา เกียรติกำจรวงศ์ **สิริวรรณ พัฒนาฤติ** "การปรับผิวพอลิแลกไทด์ด้วยวิธีคอโรนา

- ดิษฐ์และอาร์กอนพลาสมา" โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมสร้างประสบการณ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี 2549 (แหล่งทุน: ทุนโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมสร้างประสบการณ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
16. อธิษฐ์ วรภาสกุล สุดา เกียรติกำจรวงศ์ สิริวรรณ พัฒนาฤดี "หมึกพิมพ์ชนิดสี ย้อมสำหรับผ้าไหมเคลือบไคโตซาน" โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมสร้างประสบการณ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี 2549 (แหล่งทุน: ทุนโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมสร้างประสบการณ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
17. อัญจิรา บุญญาพิพรรณ พรอุมา หงษ์โกคาพันธ์ สุดา เกียรติกำจรวงศ์ สิริวรรณ พัฒนาฤดี "ผลของสารเชื่อมขวางในสารเคลือบผิวไคโตซานสำหรับผ้าไหมพิมพ์ด้วยระบบอิงค์เจ็ต" โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมสร้างประสบการณ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี 2550 (แหล่งทุน: ทุนโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมสร้างประสบการณ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
18. กมลทิพย์ เจริญศิริ นลินี เอี่ยมละออ สิริวรรณ พัฒนาฤดี "การปรับผิวพอลิโพรพิลีนด้วยวิธี คอโรนาดิษฐ์ร่วมกับกรดอะคริลิก" โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมสร้างประสบการณ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี 2550 (แหล่งทุน: ทุนโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมสร้างประสบการณ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

การนำเสนอผลงานวิชาการ

19. Phattanarudee S., Lloyd T.B., and Pearson R.A., "On the Use of the Thermodynamic Work of Adhesion to Predict Adhesive Strength", Poster presentation at Techcon Conference, Arizona, August (1996).
20. Phattanarudee S., El-Aasser M.S., and Silebi C.A., "Aggregation of Polystyrene Latexes Stabilized with Conventional, Reactive, and Polymeric Surfactants", Oral presentation at the 8th Pacific Polymer Conference, Polymer Society (Thailand), Bangkok, November 24-27 (2003).
21. Kumekawa T., Ogura M., Hasegawa T., Kiatkamjornwong S., Noppakundilograt S., Phattanarudee S., Hoshino Y., "Study on the

- Electrophoretic Property of TiO_2 Particle from the Reflection Change by Voltage Application", Japan Hard Copy (Fall) November 25-27, at Paruru Plaza Kyoto, Kyoto, Japan, pp. 65-68 (2004).
22. Phattanarudee S., Pathomwattanakul P., Moontongsong C., Noppakundilokrat S., and Kiatkarmjornwong S., "Improvement of Surface Energy of Polypropylene by Corona Discharge and Argon Plasma Treatments", Oral presentation at the 10th International Conference on Radiation Curing, RadTech Asia, Shanghai, China, May 24-26 (2005).
 23. Noreewon P. and Phattanarudee S., "Preparation of Polylactide/Montmorillonite Nanocoating for Paper", Poster Presentation at the 9th National Graduate Research Conference, Burapa University, March, 14-15 (2008).
 24. Taweerat V. and Phattanarudee S., "Synthesis of Butyl acrylate and Methyl methacrylate Copolymer Encapsulated with Chitosan", Poster Presentation at the 10th National Graduate Research Conference, Sukhothai Thammathirat Open University, September, 11-12 (2008).
 25. Varapaskul T., Phattanarudee S., "Preparation of Bio Flexo-ink Using Polylactide Binder for Kraft Paper Printing", Poster Presentation at the 12th National Graduation Research Conference, Khon Kaen University, February, 12-13 (2009).
 26. ชูติมา ศรีตระกร พงษ์ศักดิ์ วิริยะบัณฑิตกุล สุดา เกียรติกำจรวงศ์ **สิริวรรณ พัฒนาฤดี** "งานของการยึดติดระหว่างหมึกพิมพ์ ฐานตัวทำละลายและพอลิโพรพิลีนปรับผิวด้วยคอโรนาดีสชาร์จโดยวิธีของเหลว 3 ชนิด" การนำเสนอแบบโปสเตอร์ การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 13 ประจำปี 2548 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ฯ 16-17 มีนาคม 2548
 27. ดวงกมล ถนอมศักดิ์ศรี อัญชลี ตีรังคะวิบูลย์ สุดา เกียรติกำจรวงศ์ **สิริวรรณ พัฒนาฤดี** "ผลการจัดเรียงตัวของโครงสร้างพอลิเอทิลีนต่อการปรับสภาพผิวด้วยอาร์กอนพลาสมา" การนำเสนอแบบโปสเตอร์ การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 14 ประจำปี 2549 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ฯ 16-17 มีนาคม 2549
 28. พรทิพย์ ตั้งจิตมานะกุล พนิตพิชา รุติพัฒนะกุล รัชชาติ มงคลนาวัน สุดา เกียรติกำจรวงศ์ **สิริวรรณ พัฒนาฤดี** "การปรับผิวพอลิแลกไทด์ด้วยวิธีคอโรนา

- ติสชาจรและอาร์กอนพลาสมา" การนำเสนอแบบโปสเตอร์ การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 15 ประจำปี 2550 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ฯ 16-17 มีนาคม 2550
29. ธีศิษฐ์ วราภาสกุล สุดา เกียรติกำจรวงศ์ **สิริวรรณ พัฒนาฤดี** "หมึกพิมพ์ชนิดสี ย้อมสำหรับผ้าไหมเคลือบโคโคซาน" การนำเสนอแบบโปสเตอร์ การประชุม วิชาการ ครั้งที่ 15 ประจำปี 2550 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ฯ 16-17 มีนาคม 2550
30. กลองทอง จักรวัฒน์ธรรม **สิริวรรณ พัฒนาฤดี** สุดา เกียรติกำจรวงศ์ "การปรับ สภาพผิวด้วยสารเซมิคอนดักเตอร์สำหรับหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ท" งานประชุม วิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย (วทท.) ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ ปี 2549
31. ดวงตะวัน เพ็ญพุ่ม **สิริวรรณ พัฒนาฤดี** สุดา เกียรติกำจรวงศ์ "การสังเคราะห์ ซูเปอร์แอบซอร์บენტอะคริเลตโคอิทาโคนิคคอมโพสิต" งานประชุมวิทยาศาสตร์ แห่งประเทศไทย (วทท.) ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ ปี 2549
32. กลองทอง จักรวัฒน์ธรรม **สิริวรรณ พัฒนาฤดี** สุดา เกียรติกำจรวงศ์ "การปรับ สภาพผิวด้วยสารกลุ่มอะมิโนบนผ้าไหมสำหรับการพิมพ์อิงค์เจ็ท" การนำเสนอ แบบโปสเตอร์ การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 15 ประจำปี 2550 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ฯ 16-17 มีนาคม 2550
33. ดวงตะวัน เพ็ญพุ่ม **สิริวรรณ พัฒนาฤดี** สุดา เกียรติกำจรวงศ์ "การสังเคราะห์ ซูเปอร์แอบซอร์บენტอะคริเลตโคอิทาโคนิคคอมโพสิต" การนำเสนอแบบ โปสเตอร์ การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 15 ประจำปี 2550 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ฯ 16-17 มีนาคม 2550
34. ธัญจิรา บุญญาพิพรรณณ์ พรอมา หงษ์โกคาพันธ์ สุดา เกียรติกำจรวงศ์ **สิริวรรณ พัฒนาฤดี** "ผลของสารเชื่อมขวางในสารเคลือบผิวโคโคซานสำหรับผ้าไหมพิมพ์ ด้วยระบบอิงค์เจ็ท" การนำเสนอแบบโปสเตอร์ การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 16 ประจำปี 2551 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ฯ 13-14 มีนาคม 2551
35. กมลทิพย์ เจริญศิริ นลินี เขียมละออ **สิริวรรณ พัฒนาฤดี** "การปรับผิวพอลิโพรพิลีนด้วยวิธีโครโมนาติสชาจร่วมกับกรดอะคริลิก" การนำเสนอแบบโปสเตอร์ การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 16 ประจำปี 2551 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ฯ 13-14 มีนาคม 2551
36. ปรัชญา เคียงประคอง พนิดา ปานเคลือบทอง **สิริวรรณ พัฒนาฤดี** "การ ตรวจสอบพลังงานผิวของพลาสติกที่สามารถเสื่อมสลายได้ทางชีวภาพปรับผิว

- ด้วยวิธีคอปอโรนาติสซาร์จ" การนำเสนอแบบโปสเตอร์ การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 17 ประจำปี 2552 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ฯ 12-13 มีนาคม 2552
37. ชัยยุทธ จันทร ศุภวัจกร ธรรมารร สิริวรรณ พัฒนาฤดี "ผลของชนิดของสารเชื่อมขวางในสารเคลือบไคโตซานสำหรับผ้าไหมพิมพ์ด้วยระบบอิงก์เจ็ต" การนำเสนอแบบโปสเตอร์ การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 17 ประจำปี 2552 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ฯ 12-13 มีนาคม 2552
38. กิตติยา โมงขุนทด สวรรยา จรุงวัฒนา สิริวรรณ พัฒนาฤดี "สารเคลือบกระดาษจากพอลิแลกไทด์ผสมนาโนเคลย์" การนำเสนอแบบโปสเตอร์ การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 17 ประจำปี 2552 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ฯ 12-13 มีนาคม 2552

ผู้ร่วมวิจัย 3

1. นางสาวกัลยา เชิดหิรัญกร
Miss Kunlaya Cherdhirunkorn
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 31001-00270-39-9
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. ภาควิชาภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท กรุงเทพฯ 10330
โทร (02) 218-5576, 218-5581-2
โทรสาร (02) 255-3021
5. ประวัติการศึกษา
พ.ศ. 2547 M.E. (Applied Computer Science)
Chiba University, Japan
พ.ศ. 2540 B.Sc. (second class honours) (Photographic Science and
Printing Technology) Chulalongkorn University, Thailand
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิมัธยมศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
Spectral Imaging
Spectral based color reproduction
Conventional and non-impact printing

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

● งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

1. การประเมินคุณภาพเส้นของการพิมพ์อิงค์เจ็ตด้วย Virtual Microdensitometer, 2004-2005, สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาร่วมและผู้ร่วมวิจัย
2. พิสูจน์เอกลักษณ์ของกระดาษพิมพ์เขียนด้วยวิธี Fourier Transform, 2005-2006, สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาร่วมและผู้ร่วมวิจัย
3. สูตรการผสมแม่สีอะคริลิกโดยเทคนิคการเทียบสเปกตรัมสีสำหรับการระบายสีเขียนหน้าหัวโขนไทย, 2006-2007, สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
4. สูตรการผสมสีไทยจากแม่สีอะคริลิกโดยใช้ทฤษฎีคูเบลคา-มันด์, 2007-2008, สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาและผู้ร่วมวิจัย
5. ผลของ OBA ที่มีต่อความคงทนของกระดาษ, 2007-2008, สถานภาพวิจัย: ที่ปรึกษาร่วมและผู้ร่วมวิจัย

● งานวิจัยที่กำลังทำ

สูตรการผสมสีโดยเทคนิคการเทียบสเปกตรัมสีสำหรับการระบายสีเขียนหน้าหัวโขนไทย (ทุนนักวิจัยใหม่จากสวทช): สถานภาพวิจัย: หัวหน้าโครงการ

● ผลงานทางวิชาการ

1. Cherdhirunkorn, K. 2004. Color Correction Method for RGB Images under Different Color Temperature of Illumination Based on Spectral Information.
2. Tsumura, N., Cherdhirunkorn, K., Miyake, Y. Spectral Based Colors Reproduction for E-commerce with High Compatible with High Compatibility. Proceedings of the Color Forum Japan 2002 at Tokyo, Japan, 2002, pp. 67-70.
3. Tsumura, N., Cherdhirunkorn, K., Ikeda, T., Nakao, D., Miyake, Y. Spectral Based Colors Reproduction for E-commerce with High Compatible with High Compatibility. Proceedings of the 10th Color Imaging Conference at Scottsdale, Arizona, November 12-15, 2002, pp. 246-249.
4. Cherdhirunkorn, K., Norimichi, T., and Miyake, Y. Spectral Based Color Reproduction Compatible with Standard System for Mixed

Illumination Conditions. Proceedings of AIC 2003, Bangkok, Thailand, August 4 – 6, 2003, pp. 44 – 48.

5. Cherdhirunkorn, K., Norimichi, T., and Miyake, Y. 2003. Spectral Based Color Reproduction Compatible with sRGB System under Mixed Illumination Conditions for E-commerce. Proceedings of the 5th International Symposium on Multispectral Color Science at Rochester, New York, USA, May 13 – 16, 2003, pp. 264 – 269.
6. The International Congress of Imaging Science (ICIS'02), Arcadia-Ichigaya, Tokyo, May 12-17, 2002.
7. กัลยา เชิดหิรัญกร และ พรศักดิ์ โกศลชื่นวิจิตร. 2549. หน่วยที่ 4 เทคโนโลยีการจับภาพ ใน เอกสารการสอนชุดวิชา เทคโนโลยีก่อนพิมพ์ หน่วยที่1-7 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1, สุदारัตน์ บัวศรี บรรณาธิการ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช