http://journal.rmutp.ac.th/

การวิเคราะห์โครงการผลิตหมึกพิมพ์รองพื้นสีขาวฐานตัวทำละลายสำหรับผลิตบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว

พิชิต ขจรเดชะ[1]* และ อนันต์ ตันวิไลศิริ[2]

[1]คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
[2]คณะเทคโนโลยีสื่อสารมวลชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[1]126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140
[2]39 หมู่ที่ 1 ตำบลคลองหก อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12110

รับบทความ 6 มิถุนายน 2563 แก้ไขบทความ 21 มีนาคม 2564 ตอบรับบทความ 5 พฤษภาคม 2564

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์โครงการผลิตหมึกพิมพ์รองพื้นสีขาวฐานตัวทำละลายสำหรับการผลิตบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว มีวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตหมึกพิมพ์สีขาวทดแทนของเดิมที่ใช้งานในปัจจุบัน โดยทำการศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติและคุณภาพทางการพิมพ์ของหมึกพิมพ์สีขาวที่สร้างขึ้นสำหรับการพิมพ์บนบรรจุภัณฑ์ประเภทฟิล์มพลาสติก มีวิธีการดำเนินการได้แก่ การหาผสมอัตราส่วนของหมึกพิมพ์สีขาวของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 7 กลุ่ม ทำการทดสอบคุณสมบัติของหมึกพิมพ์ในด้านค่าปริมาณของแข็งในหมึกพิมพ์ (Solid Content) ค่าความละเอียดของอนุภาคหมึกพิมพ์ (Grinding) แล้วนำหมึกพิมพ์ตัวอย่างไปพิมพ์แล้วทำการทดสอบคุณภาพงานพิมพ์ โดยตรวจสอบคุณภาพด้านค่าความแตกต่างสี (ΔE^*_{ab}) ค่าความทึบแสง (Opacity) บนฟิล์มพลาสติกชนิดพอลีเอทิลีนเทเรฟธาเรต (PET) และฟิล์มพลาสติกชนิดโอเร็นเทต โพลีโลพีลีน (OPP) แล้วนำไปทำการตรวจสอบค่าการยึดติด (Bond Strength) โดยการนำไปทำการเคลือบแบบรีดร่วม (Extrusion) ผลการศึกษาพบว่า คุณสมบัติของหมึกพิมพ์และคุณภาพงานพิมพ์ของหมึกตัวอย่างที่ 5 ได้ผลการทดลองผ่านมาตรฐานในทุกด้าน หลังจากนั้น ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงินและผลตอบแทนการลงทุน ผลการศึกษาพบว่า หมึกพิมพ์ที่ได้จากการทดลองจะสามารถลดต้นทุนของการซื้อหมึกพิมพ์ได้ 25 บาทต่อกิโลกรัม โครงการนี้มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลตอบแทน (NPV) เท่ากับ 5,053,593 บาท อัตราผลตอบแทน (IRR) เท่ากับร้อยละ 54.79 ระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 1 ปี 8 เดือน อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C ratio) เท่ากับ 1.25 จากผลการศึกษาทั้งหมด สรุปได้ว่าโครงการผลิตหมึกพิมพ์รองพื้นสีขาวฐานตัวทำละลายสำหรับการผลิตบรรจุภัณฑ์ สามารถผลิตหมึกพิมพ์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการใช้งาน และมีความเหมาะสมต่อการลงทุน

คำสำคัญ : การผลิตหมึกพิมพ์รองพื้นสีขาว; คุณภาพหมึกพิมพ์; การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ

**** ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +669 5252 4799, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: phichit.kaj@kmutt.ac.th***

http://journal.rmutp.ac.th/

The Feasibility Study for Solvent Based White Ink for Flexible Packaging

Phichit Kajondecha[1]* and Anan Tanwilaisiri[2]

[1]Faculty of Industrial Education and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi
[2]Faculty of Mass Communication Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi
[1]126 Pracha Uthit Rd., Bang Mod, Thung Khru, Bangkok 10140 Thailand
[2]39 Moo. 1, Klong 6 Klong luang Pathum Thani 12110 Thailand

Received 6 June 2020; Revised 21 March 2021; Accepted 5 May 2021

Abstract

The research proposes to find an optimum ratio of solvent based white ink for flexible package development by studying and comparing the qualification of white ink on plastic film. The process consists of separating the white ink ratio into 5 sampling group ratios and then examining ink quality by its' solid content and grinding. The viscosity is controlled in 16 second and then measured by Zahn's cup no. 3. The sampling ink is printed and inspected printing quality by (1) ΔE^*_{ab} and opacity on polyethylene terephthalate (PET) plastic film and oriented polypropylene (OPP) and (2) bond strength by extrusion. The result shows that sampling ink with hardener substances and ink and varnish ratio is at 90:10 certifies in all aspects compare with other sample. Indicators are the net present value (NPV), Benefit/Cost Ratio: B/C Ratio, Pay Back Period and internal rate of return of investment (IRR). The Feasibility Study found that the projects are the net present value (NPV) of 5,053,593 baht, payback period of 1 year 8 month and rate of return on investment (IRR) was 54.79 %. B/C ratio = 1.25

Keywords : Solvent Based Ink; Ink Development; Feasibility Analysis

** Corresponding Author. Tel.: +669 5252 4799, E-mail Address: phichit.kaj@kmutt.ac.th*

1. บทนำ

อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ในประเทศไทยได้มีการเติบโตต่อเนื่อง ข้อมูลจากกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม พบว่ามีอัตราการเติบโตโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 3-4 ต่อปี ในปี 2559 [1] มีมูลค่าอุตสาหกรรมประมาณ 3.85 แสนล้านบาท ผู้ผลิตสินค้าจึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาคุณภาพของสินค้าเพื่อให้ตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภค จากสถานการณ์ที่ผ่านมา พบว่ามีการแข่งขันทางธุรกิจที่รุนแรงขึ้น ผู้ประกอบการจำเป็นต้องปรับตัว เพื่อสร้างขีดความสามารถในการแข่งขัน ไม่ว่าจะเป็นด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์ การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต การส่งเสริมการตลาดในรูปแบบต่างๆ ผู้ผลิตแต่ละรายก็ได้สร้างกลยุทธ์ต่าง ๆ ให้เหมาะสมและเข้ากับสถานการณ์ของบริษัทนั้น ๆ [2], [3] แต่วิธีการที่เป็นที่นิยมและมีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ การเพิ่มยอดขายและการลดต้นทุน

การลดต้นทุนการผลิตภายในโรงงานเป็นเรื่องที่ผู้ผลิตมีความคิดที่จะพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในการลดต้นทุนนั้นจะต้องไม่ส่งผลต่อคุณภาพของสินค้า ภาพแบบของการลดต้นทุนสามารถทำได้หลายภาพแบบทั้ง

ในด้านลดเวลาการสูญเสีย (Down Time) การเพิ่มความเร็วในการทำงาน (Speed) การลดเวลาการตั้งเครื่อง (Set Up) การเพิ่มกำลังการผลิต (Productivity) การลดของเสีย (Waste) [4] รวมถึงการผลิตวัตถุดิบขึ้นใช้เองก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ผู้ผลิตเลือกใช้ บริษัทผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก A มีความต้องการใช้หมึกพิมพ์สีขาว ทั้งในการพิมพ์บนฟิล์ม (Surface Printing) หรือการพิมพ์สีขาวเพื่อทับสำหรับการพิมพ์ด้านล่างฟิล์ม (Reverse Printing) ในการผลิตบรรจุภัณฑ์ประเภทพลาสติก เช่น ซอง ถุง บรรจุภัณฑ์อ่อนตัวต่าง ๆ ในขั้นตอนการผลิตมีการใช้หมึกพิมพ์สีขาวเป็นจำนวนมาก ซึ่งปกติผู้ผลิตจะต้องทำการสั่งซื้อหมึกพิมพ์จากผู้จัดจำหน่ายวัตถุดิบส่งผลให้มีต้นทุนในการผลิตที่สูง อีกทั้งในขั้นตอนการขนส่งหมึกพิมพ์จะต้องใช้ระยะเวลาในการทำงานซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาความล่าช้า หรือไม่ทันต่อความต้องการทำให้เกิดปัญหาในการผลิต

ผู้วิจัยจึงมีความคิดที่จะหาแนวทางในการลดต้นทุนโดยการผลิตหมึกพิมพ์สีขาวฐานตัวทำละลายสำหรับพิมพ์บนบรรจุภัณฑ์พลาสติกขึ้นใช้เอง ทดแทนการใช้หมึกพิมพ์สำเร็จที่ต้องสั่งซื้อจากผู้จัดจำหน่ายวัตถุดิบ และลดปัญหาความล่าช้าในการขนส่ง รวมถึงยังเป็นการควบคุมบริหารจัดการปริมาณหมึกพิมพ์ในคลังจัดเก็บวัตถุดิบให้เพียงพอต่อความต้องการในการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ หมึกพิมพ์สีขาวที่ผลิตขึ้นจะมีการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพ โดยเปรียบเทียบคุณภาพกับหมึกพิมพ์สำเร็จที่ใช้ในปัจจุบัน เพื่อให้ได้หมึกพิมพ์สีขาวที่มีคุณสมบัติที่ดีกว่าหรือเทียบเท่ากับหมึกพิมพ์สำเร็จ รวมถึงการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ โดยวิเคราะห์จาก มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) อัตราส่วนผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate of Return: IRR) อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C ratio) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) [5] โดยมีเป้าหมายเพื่อสร้างแนวทางในการพัฒนาหมึกพิมพ์ของกลุ่มอุตสาหกรรมการพิมพ์บรรจุภัณฑ์พลาสติกภายในประเทศ อีกทั้งยังเป็นการลดต้นทุนในการผลิต การสร้างนวัตกรรมและสามารถพึ่งพาตนเองได้ต่อไปในอนาคต

2. ระเบียบวิธีวิจัย

การวิเคราะห์โครงการผลิตหมึกพิมพ์รองพื้นสีขาวฐานตัวทำละลายสำหรับผลิตบรรจุภัณฑ์ จะมีการศึกษาหลักอยู่ 3 ขั้นตอน คือ การผลิตหมึกพิมพ์สีขาว การทดสอบสมบัติของหมึกพิมพ์ และการศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงินและผลตอบแทนการลงทุน โดยมีขั้นตอนและวิธีการวิจัยดังต่อไปนี้

2.1 เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

แสดงข้อมูลตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้

เครื่องมือและอุปกรณ์
1. เครื่องจำลองการพิมพ์ (gravo mini proof)
2. เครื่องลูกกลิ้งจำลองการพิมพ์ (cylinder proof) ยี่ห้อ J.M. Heaford Limited
3. เครื่องเคลือบแบบรีดร่วม (extrusion machine) ยี่ห้อ Sumitomo
4. เครื่องเคลือบแบบประกบแห้ง (dry lamination machine) ยี่ห้อ SUNG AN MACHINERY
5. เครื่องวัดค่าความเปรียบต่างสี (spectrophotometer) ยี่ห้อ x-rite
6. เครื่องวัดค่าความละเอียดอนุภาคหมึกพิมพ์ (grind-o-meter)
7. เครื่องวัดค่าความทึบแสง (optical density)
8. ตู้อบ ยี่ห้อ ecocell
9. เครื่องวัดค่าความหนืดของหมึกพิมพ์ เบอร์ 3 (Zahn's cup)
10. เครื่องวัดค่าการยืดติดของชั้นฟิล์ม (tensile strength)
11. เครื่องชั่งน้ำหนัก
12. ปากกาตรวจการระเบิดผิว เบอร์ 38
13. เทปทดสอบการยึดติด 3M เบอร์ 500
วัสดุ
1. ฟิล์มพลาสติก โอเร็นเทต โพลีโพรพิลีน (OPP) 20 ไมครอน
2. ฟิล์มพลาสติก โพลิเอทิลีน เทเรฟทาเลต (PET) 10 ไมครอน
สารเคมีที่ใช้

1. สารให้สี
2. วาร์นิช
3. ตัวทำละลาย Nontol
4. เมทธิล เอททิล คีโทน (MEK)
5. เอทธิลอะซีเตท (EA)
6. เอ็น-โพรพิล อาซิเตท (NPAC)

2.2 การผลิตหมึกพิมพ์

การผลิตหมึกพิมพ์จะแบ่งขั้นตอนการผลิตออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการเตรียมตัวทำละลายและขั้นตอนการผลิตหมึกพิมพ์ โดยจะมีการผลิตหมึกพิมพ์สีขาวทั้งหมด 7 ตัวอย่าง โดยใช้สารให้สีจาก 3 บริษัท ได้แก่ บริษัท A, B, C โดยกำหนดเป็นหมึกพิมพ์ตัวอย่างที่ 1, 2, 3 คือ หมึกพิมพ์ที่ใช้สารให้สีจากบริษัท A หมึกพิมพ์ตัวอย่างที่ 4, 5 คือ หมึกที่ใช้สารให้สีจากบริษัท B หมึกพิมพ์ตัวอย่างที่ 6, 7 คือหมึกที่ใช้สารให้สีจากบริษัท C

ตารางที่ 2 แสดงอัตราส่วนตัวทำละลาย

ตัวทำละลาย / หมึกพิมพ์ตัวอย่าง	ร้อยละของอัตราส่วนตัวทำละลายแต่ละตัวอย่าง						
	A			B		C	
	1	2	3	4	5	6	7
IPA	-	10	-	-	-	-	-
NPAC	-	40	-	20	20	-	-
NPA	-	20	-	-	-	-	-
MEK	-	-	30	30	30	-	-
EA	-	30	20	50	50	-	-
Toluene	-	-	50	-	-	-	-
solvent PV 184 no.2	-	-	-	-	-	100	100
solvent smart - NT no.2	100	-	-	-	-	-	-
ทั้งหมด	100	100	100	100	100	100	100

2.2.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวทำละลาย

เนื่องจากตัวทำละลายที่ใช้สำหรับหมึกพิมพ์ในแต่ละตัวอย่างมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับ ต้นทุน ข้อจำกัดของวัสดุและประเภทของบรรจุภัณฑ์ที่จะผลิต ส่งผลให้อัตราส่วนตัวของสารประกอบมีความหลายหลาก และจากการศึกษาถึงอัตราส่วนตัวของสารประกอบที่ส่งผลต่อคุณภาพงานพิมพ์ [6], [7] ได้นำข้อมูลดังกล่าวมาเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการผสมตัวทำละลายของหมึกพิมพ์สีขาว โดยทำการชั่งส่วนประกอบของตัวทำละลายแต่ละตัวอย่างด้วยเครื่องชั่ง ทำการผสมตัวทำละลายภายในภาชนะแล้วทำการปั่นให้เข้ากัน จากนั้นนำไปเก็บไว้ในภาชนะปิด โดยอัตราส่วนตัวของสารประกอบมีอัตราส่วนที่กำหนดดังตารางที่ 2

2.2.2 ขั้นตอนการผลิตหมึกพิมพ์

ในขั้นตอนการผลิตหมึกพิมพ์ การเตรียมหมึกพิมพ์สีขาวแต่ละตัวอย่างจะต้องทำการผสม สารให้สี, วาร์นิช, สารช่วยการยึดติดและตัวทำละลายเข้าด้วยกัน นำส่วนประกอบตามอัตราส่วนที่เหมาะสมของหมึกพิมพ์ตัวอย่างมาผสมให้เข้ากัน สังเกตเนื้อหมึกไม่จับตัวเป็นก้อน มีความเป็นเนื้อเดียวกันแล้วนำไปเก็บไว้ในภาชนะปิด [7] โดยส่วนประกอบสำหรับหมึกพิมพ์สีขาวแต่ละตัวอย่างมีอัตราส่วนดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงอัตราส่วนประกอบสำหรับผลิตหมึกพิมพ์

ส่วนประกอบ / หมึกพิมพ์ตัวอย่าง	ร้อยละของอัตราของส่วนประกอบสำหรับหมึกพิมพ์แต่ละตัวอย่าง						
	A			B		C	
	1	2	3	4	5	6	7
สารให้สี	50	50	50	90	87	50	50
วาร์นิช	50	50	50	10	10	40	40
EA	0	0	0	0	0	10	10
สารช่วยการยึดติด	0	0	0	0	3	0	0
ทั้งหมด	100	100	100	100	100	100	100

2.2.3 การปรับความหนืดของหมึกพิมพ์

ทำการปรับค่าความหนืด ให้มีความความหนืดเท่ากับ 16 วินาที วัดโดย Zahn’s cup เบอร์ 3 (ASTM D4212) เมื่อได้ความหนืดที่ต้องการ จึงนำไปทำการ

จำลองการพิมพ์โดยเครื่องจำลองการพิมพ์ (Gravo Mini Proof) ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยใช้ความเร็ว 80 เมตรต่อนาที พิมพ์ลงบนฟิล์มพลาสติกทั้ง 2 ชนิด หลังจากนั้นทำการเคลือบฟิล์มตัวอย่าง โดยการเคลือบแบบรีดร่วม (Extrusion) ด้วยเครื่องเคลือบแบบรีดร่วม (Extrusion Machine) ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยใช้โครงสร้าง PE/ALU

รูปที่ 1 เครื่องจำลองการพิมพ์ (Gravo Mini Proof)

รูปที่ 2 เครื่องเคลือบแบบรีดร่วม (Extrusion Machine)

2.3 ทดสอบคุณภาพของหมึกพิมพ์ตัวอย่าง

2.3.1 ทดสอบคุณสมบัติของหมึกพิมพ์สีขาว

(1) วัดค่า ค่าปริมาณของแข็ง (Solid Content) นำหมึกพิมพ์สีขาวตัวอย่างที่ผลิต และหมึกพิมพ์สีขาวที่ใช้อยู่ปัจจุบัน ปริมาตร 10 กรัม มาใส่ในภาชนะที่ทำนำไปเข้าตู้อบ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที (TP-N01302) จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักและจดบันทึก นำค่าน้ำหนักที่ชั่งได้มาหักลบกับน้ำหนักของภาชนะจะได้ค่าน้ำหนักของแข็งที่เหลืออยู่

(2) วัดค่าความละเอียดอนุภาคหมึกพิมพ์ (Grinding) นำหมึกพิมพ์สีขาวตัวอย่างที่ผลิตและหมึกพิมพ์ที่ใช้อยู่ปัจจุบันมาวัดค่าความละเอียดอนุภาคหมึกพิมพ์ ด้วยเครื่องวัดค่าความละเอียดอนุภาคหมึกพิมพ์ (Grind-o-meter) (ASTM STP 234)

2.3.2 ทดสอบคุณภาพทางการพิมพ์

(1) วัดค่าความทึบ (Opacity) นำฟิล์มพลาสติกที่ผ่านการจำลองการพิมพ์ด้วยเครื่องจำลองการพิมพ์ ไปวัดค่าความทึบด้วย เครื่องวัดค่าความทึบแสง (Optical Density) (TAPPIT425)

(2) ทดสอบการยึดติดของหมึกพิมพ์บนฟิล์ม (Adhesion) นำฟิล์มพลาสติกที่ผ่านการจำลองการพิมพ์ด้วยเครื่องจำลองการพิมพ์ ไปทดสอบการยึดติดโดยใช้เทป 3M เบอร์ 500 (ASTM D3359-90) การหลุดลอก

(3) วัดค่าความแตกต่างสี (ΔE^*_{ab}) นำฟิล์มพลาสติกที่ผ่านการจำลองการพิมพ์ด้วยเครื่องจำลองการพิมพ์ มาวัดค่าความแตกต่างสี (ΔE^*_{ab}) โดยวัดค่าบริเวณที่มีการพิมพ์ไล่ระดับ 0 ถึง 100 ด้วยเครื่องวัดค่าสี (Spectrophotometer) (ASTM D2244)

(4) วัดค่าการยึดติดของชั้นฟิล์มแบบการเคลือบรีดร่วม (Bond Strength Extrusion) นำฟิล์มพลาสติกที่ผ่านการเคลือบแบบรีดร่วม มาทำการลอกชั้นให้ได้ชั้นหมึกและนำไปทดสอบด้วยเครื่องวัดค่าการยึดติดของชั้นฟิล์ม (Tensile Strength) (ASTM F904 - 98)

2.4 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการ

ทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการโดยใช้ข้อมูล ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) อัตราส่วนผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate of Return: IRR) อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C ratio) และระยะเวลาคืนทุน [8]-[11] โดยมีวิธีการศึกษาดังต่อไปนี้

2.4.1 การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผล ตอบแทน (Net Present Value: NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลตอบแทน (Net Present Value: NPV) คือ หลักการตัดสินใจที่แสดงว่าโครงการมีความเหมาะสมทางการเงินหรือไม่นั้น ให้ดูที่ค่า NPV กล่าวคือ เมื่อค่า NPV มากกว่าศูนย์หรือมีค่า

เป็นบวกแสดงว่ากิจการนั้น ๆ มีความเหมาะสมที่จะลงทุนได้แสดงดังสมการที่ (1)

$$NPV = \sum_{t=0}^{n} \frac{CF_t}{(1+k)^t} - I \quad (1)$$

โดยที่

I = เงินสดจ่ายลงทุนของโครงการ

CF_t = กระแสเงินสดสุทธิในปีที่ t

k = ต้นทุนของเงินทุนของโครงการ (ใช้เป็นอัตราส่วน)

t = ระยะเวลาโครงการ (0, 1,..., n)

n = อายุของโครงการเป็นปี

2.4.2 การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return: IRR)

อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return: IRR) คือ ผลตอบแทนเฉลี่ยต่อปีเป็นร้อยละ ของโครงการแสดงดังสมการที่ (2)

$$IRR = \sum_{t=0}^{n} \frac{CF_t}{(1-IRR)^t} \quad (2)$$

โดยที่

CF_t = กระแสเงินสดสุทธิในปีที่ t

IRR = อัตราผลตอบแทน

t = ระยะเวลาโครงการ (0, 1,..., n)

n = อายุของโครงการเป็นปี

2.4.3 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลาคืนทุน คือ ระยะเวลา (จำนวนปี) ที่ใช้ในการรอคอยให้ได้เงินลงทุนกลับคืนมา แสดงดังสมการที่ (3)

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินสดที่ใช้ในการลงทุน}}{\text{กระแสเงินสดรับสุทธิรายปี}} \quad (3)$$

2.4.4 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C ratio)

อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน คือ อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนกับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายตลอดอายุของโครงการ ค่าใช้จ่ายคือค่าใช้จ่ายทางด้านทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษา แสดงดังสมการที่ (4)

$$B/C\ ratio = \frac{\text{มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมด}}{\text{มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายทั้งหมด}} \quad (4)$$

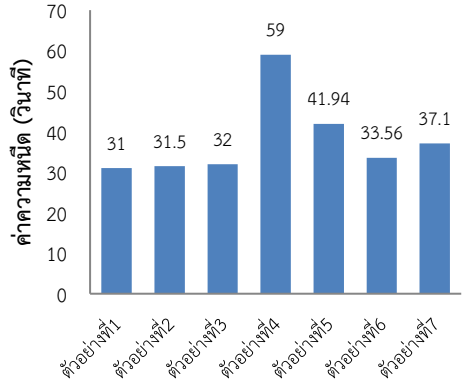
3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การวิเคราะห์โครงการผลิตหมึกพิมพ์รองพื้นสีขาวฐานตัวทำละลายสำหรับผลิตบรรจุภัณฑ์ ได้ผลการวิจัยดังต่อไปนี้

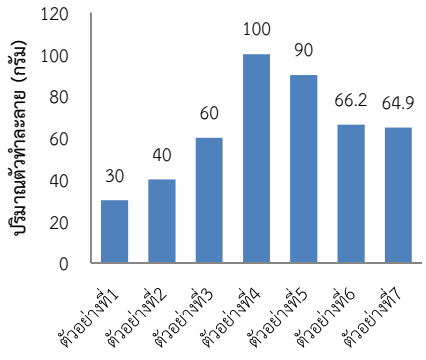
3.1 ผลการศึกษาจากการผลิตหมึกพิมพ์

พบว่าจากการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของหมึกพิมพ์ฐานตัวทำละลายจากกลุ่มตัวอย่างต่าง ๆ แล้วนำมาทำการทดสอบคุณสมบัติของหมึกพิมพ์ในด้านต่าง ๆ ได้แก่ การทดลองหาค่าปริมาณของแข็งในหมึกพิมพ์ (Solid Content) ค่าความละเอียดของอนุภาคหมึกพิมพ์ (Grinding) ซึ่งในการทดสอบคุณภาพหมึกพิมพ์นั้น จะทำการควบคุม ค่าความหนืด (Viscosity) ให้เหมาะสมสำหรับงานพิมพ์ จากการทดลองได้ค่าความหนืดดังรูปที่ 3

จากข้อมูลค่าความหนืดเริ่มต้น เมื่อทำการปรับค่าความหนืดโดยการเติมตัวทำละลายพบว่าปริมาณของตัวทำละลายที่เติมเพื่อปรับค่าความหนืดให้ได้ตามมาตรฐาน แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 แสดงค่าความหนืดเริ่มต้นของหมึกพิมพ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4 แสดงน้ำหนักตัวทำละลายที่ใช้เติมเพื่อปรับความหนืดเท่ากับ16 วินาที เมื่อวัดด้วย Zahn's cup เบอร์ 3

ค่าความหนืดเป็นคุณสมบัติที่สำคัญเป็นอย่างมากของหมึกพิมพ์ ค่าความหนืดที่ไม่เหมาะสมตามมาตรฐาน จะทำให้สมบัติการไหลของหมึกพิมพ์เปลี่ยนไป และทำให้เกิดปัญหาทางการพิมพ์ ในการผสมตัวทำละลายในหมึกพิมพ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการกำหนดค่าความหนืดของหมึกพิมพ์ จากรูปที่ 4 จะสามารถสังเกตได้ว่า ปริมาณของตัวทำละลายที่นำมาผสมให้กับหมึกพิมพ์แต่ละตัวอย่าง จะมีค่ามากน้อยแตกต่างกัน เนื่องจากสารให้สี วารนิช และสารยึดติดมีความหนืดที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อปริมาณของตัวทำละลายที่นำมาผสม เพื่อให้ได้ค่าความหนืดที่ 16 วินาที มีปริมาณที่แตกต่างกัน

3.2 ผลของการทดสอบสมบัติหมึกพิมพ์ตัวอย่าง

ทำการทดสอบสมบัติหมึกพิมพ์ด้าน ปริมาณของแข็งในหมึกพิมพ์ และค่าความละเอียดของอนุภาคผงสี ซึ่งผลจากการทดสอบหาค่าปริมาณของแข็งในหมึกพิมพ์ [10] แสดงข้อมูลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การหาค่าปริมาณของแข็งในหมึกพิมพ์

หมึกพิมพ์ตัวอย่าง	ร้อยละค่าปริมาณของแข็งในหมึกพิมพ์		ค่าความแตกต่างสีเทียบกับหมึกมาตรฐาน	
	หมึกพิมพ์เริ่มต้น	หมึกพิมพ์ที่ควบคุมค่าความหนืด	หมึกพิมพ์เริ่มต้น	หมึกพิมพ์ที่ควบคุมค่าความหนืด
หมึกพิมพ์มาตรฐาน	56.93	35.95	0	0
ตัวอย่างที่ 1	52.34	33.77	-4.59	-2.18
ตัวอย่างที่ 2	52.34	33.87	-4.59	-2.08
ตัวอย่างที่ 3	52.34	32.74	-4.59	-3.12
ตัวอย่างที่ 4	51.31	36.18	-5.62	-0.23
ตัวอย่างที่ 5	46.52	35.09	-11.34	-0.86
ตัวอย่างที่ 6	51.97	31.75	-4.96	-4.20
ตัวอย่างที่ 7	48.38	32.03	-8.55	-3.92

หมึกพิมพ์มีค่าปริมาณของแข็งมากหรือน้อยนั้นจะมีผลต่อคุณภาพงานพิมพ์ โดยหมึกที่ค่าปริมาณของแข็งในหมึกพิมพ์ มากแสดงว่ามีปริมาณของผงสีมาก ผลพบว่าตัวอย่างที่ 4 ได้ค่าใกล้เคียงกับหมึกพิมพ์ตัวอย่างมากที่สุดผลการทดสอบค่าความละเอียดของอนุภาคหมึกพิมพ์ พบว่าทั้ง 7 ตัวอย่างมีค่าความละเอียดผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ตั้งขึ้น (มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 3 ไมครอน) เนื่องจากค่าความละเอียดของหมึกพิมพ์มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพราะมีผลต่อการถ่ายทอดหมึกพิมพ์ลงสู่วัสดุพิมพ์

3.3 ผลการทดสอบคุณภาพงานพิมพ์ของหมึกพิมพ์ตัวอย่าง

ทำการตรวจสอบคุณภาพงานพิมพ์ ด้านค่าการยึดติด (Adhesion) ค่าความเปรียบต่างสี (ΔE_{ab}) ค่าความทึบแสง (Opacity) การยึดติดของชั้นฟิล์มแบบรีดร่วม (Bond Strength Extrusion) และค่าการยึดติดของชั้นฟิล์มแบบการประกบแห้ง (Bond Strength Dry Lamination)

3.3.1 ผลการทดสอบการยึดติด

ใช้แถบทดสอบการยึดติด ทำการทดสอบค่าการยึดติดของหมึกพิมพ์ ผลพบว่าหมึกพิมพ์ตัวอย่างทุกชนิด มีระดับการยึดติดบนพลาสติกชนิดพอลีเอทิลีนเทเรฟธาเรต (PET) อยู่ในช่วง 4-5 แสดงว่าสามารถนำมาใช้พิมพ์ลงบนพลาสติกชนิดนั้นได้จริง แต่การยึดติดของหมึกพิมพ์บนพลาสติกชนิดโอเร็นเทตโพลีโลพีลีน (OPP) มีหมึกพิมพ์ตัวอย่างที่ 2 และ 3 ที่ไม่ผ่านค่ามาตรฐานการยึดติด ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ระดับการยึดติด (Adhesion) ของหมึกพิมพ์ตัวอย่างบนพลาสติกชนิด พอลีเอทิลีนเทเรฟธา

เรต (PET) และฟิล์มพลาสติกชนิดโอเร็นเทต โพลีโลพีลีน (OPP)

หมึกพิมพ์ตัวอย่าง	ระดับการยึดติดของหมึกพิมพ์บนพลาสติก	
	OPP	PET
หมึกพิมพ์มาตรฐาน	5	5
ตัวอย่างที่ 1	4	5
ตัวอย่างที่ 2	2	5
ตัวอย่างที่ 3	1	5
ตัวอย่างที่ 4	5	5

ตารางที่ 5 ระดับการยึดติด (Adhesion) ของหมึกพิมพ์ตัวอย่างบนพลาสติกชนิด พอลีเอทิลีนเทเรฟธาเรต (PET) และฟิล์มพลาสติกชนิดโอเร็นเทต โพลีโลพีลีน (OPP) (ต่อ)

หมึกพิมพ์ตัวอย่าง	ระดับการยึดติดของหมึกพิมพ์บนพลาสติก	
	OPP	PET
ตัวอย่างที่ 5	5	5
ตัวอย่างที่ 6	4	4
ตัวอย่างที่ 7	-	4

หมายเหตุ :

5 คือ หมึกพิมพ์ยึดติดดีมากไม่มีหมึกพิมพ์ติดแถบทดสอบการยึดติดขึ้นมา

4 คือ หมึกพิมพ์ยึดติดดีมีหมึกพิมพ์ติดแถบทดสอบการยึดติดขึ้นมาไม่เกินร้อยละ 5

3 คือ หมึกพิมพ์ยึดติดปานกลางมีหมึกพิมพ์ติดแถบทดสอบการยึดติดขึ้นมาไม่เกินร้อยละ 15

2 คือ หมึกพิมพ์ยึดติดพอใช้ มีหมึกพิมพ์ติดแถบทดสอบการยึดติดขึ้นมาไม่เกินร้อยละ 35

1 คือ หมึกพิมพ์ยึดติดไม่ดี มีหมึกพิมพ์ติดแถบทดสอบการยึดติดขึ้นมาไม่เกินร้อยละ 65

0 คือ หมึกพิมพ์ยึดติดไม่ดีมาก มีหมึกพิมพ์ติดแถบทดสอบการยึดติดขึ้นมาเกินร้อยละ 65

- คือ ไม่มีการทดลองเนื่องจากหมึกพิมพ์ตัวอย่างที่ 7 เหมาะสำหรับพิมพ์บนฟิล์ม PET

3.3.2 ผลการทดสอบความทึบแสง

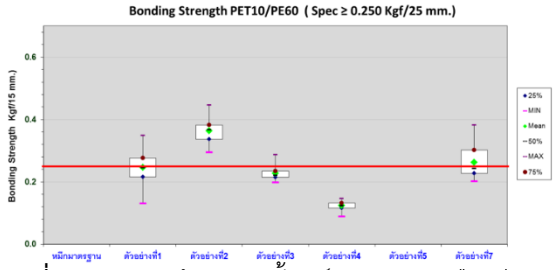
การทดสอบความทึบแสง พบว่า หมึกพิมพ์ตัวอย่างทุกกลุ่มตัวอย่าง มีค่าความทึบแสง (Opacity) อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน สามารถนำไปใช้งานได้จริง

3.3.3 ผลการทดสอบค่าความแตกต่างสี

ค่าความแตกต่างสี (ΔE^*_{ab}) คือ การนำตัวอย่างสี 2 ตัวอย่างมาเปรียบเทียบกัน จะมีการกำหนดค่าความแตกต่างสีมาตรฐานที่ไม่เกิน 1 ซึ่งเป็นค่าความแตกต่างสีที่สายตาของมนุษย์ไม่สามารถแยกได้ (12) ค่าความแตกต่างสีที่ได้จากการเปรียบเทียบสีของหมึกพิมพ์ 7 ตัวอย่าง ที่พิมพ์บนพลาสติกชนิด PET และบนพลาสติกชนิด OPP จะพบว่าหมึกพิมพ์ทั้ง 7 ตัวอย่างมีค่าความแตกต่างสี อยู่ที่ 0.17 – 0.98 ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐาน

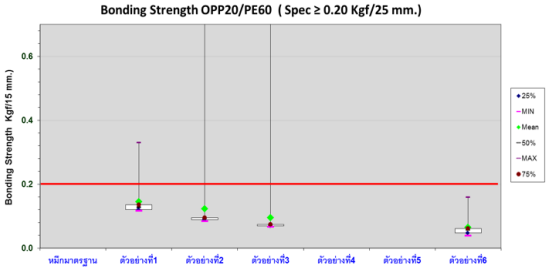
3.3.4 ผลการทดสอบการยึดติด

ค่าการยึดติดของชั้นฟิล์มแบบการเคลือบรีดร่วมจากผลการทดสอบพบว่า หมึกมาตรฐานมีค่าการยึดติดที่ดีมากเพราะเมื่อทำการทดสอบแล้วฟิล์มขาดทำให้ไม่ได้ค่าที่แท้จริง ซึ่งหมึกตัวอย่างที่ 5 ก็เป็นเช่นเดียวกัน ส่วนหมึก ตัวอย่างที่ 2, 6 และ 7 มีค่าผ่านมาตรฐานซึ่งอยู่ที่ 0.25 กิโลกรัมในหน่วยของแรง (kilogram-force) มีหมึกตัวอย่างที่ 1, 3 และ 4 ที่ไม่ผ่านการทดสอบ แสดงข้อมูลดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงการยึดติดของชั้นฟิล์มแบบการเคลือบรีดร่วมของหมึกตัวอย่างที่พิมพ์ลงบนพลาสติกชนิดพอลีเอทิลีน เทเรฟธาเรต (PET)

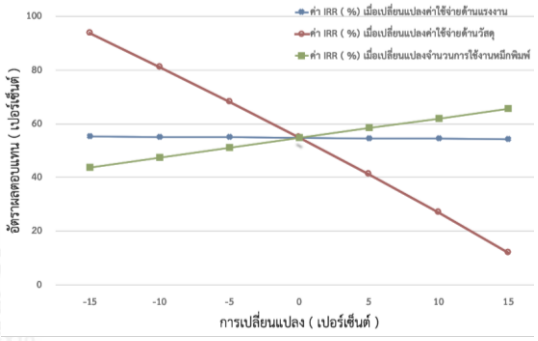
เมื่อทดสอบการยึดติดของชั้นฟิล์มแบบการเคลือบรีดร่วม ของหมึกตัวอย่างที่พิมพ์ลงบนพลาสติกชนิดโอเร็นเทต โพลีโลพีลีน (OPP) จะพบว่าหมึกตัวอย่างที่ 4 และ 5 มีค่าการยึดติดที่ดีมากเพราะเมื่อทำการทดสอบแล้วฟิล์มขาดทำให้ไม่ได้ค่าที่แท้จริง ส่วนหมึกตัวอย่างที่ 1, 2, 3 และ 6 มีค่าไม่ผ่านมาตรฐานซึ่งอยู่ที่ 0.20 กิโลกรัมในหน่วยของแรง (kilogram-force) แสดงดังรูปที่ 6



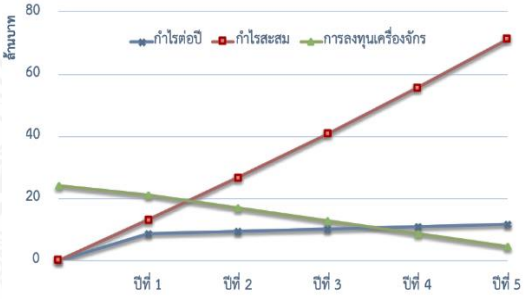
รูปที่ 6 แสดงการยึดติดของชั้นฟิล์มแบบการเคลือบรีดร่วมของหมึกตัวอย่างที่พิมพ์ลงบนพลาสติกชนิดโอเร็นเทต โพลีโลพีลีน (OPP)

3.4 ผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการ

โดยทำการพิจารณาจากหมึกตัวอย่างที่ผ่านค่าการทดสอบด้านสมบัติ และคุณภาพงานพิมพ์บนพลาสติกชนิดพอลีเอทิลีน เทเรฟธาเรต (PET) และพลาสติกชนิดโอเร็นเทตโพลีโลพีลีน (OPP) คือ หมึกตัวอย่างที่ 5 มาทำการวิเคราะห์ โดยการประมาณการลงทุนของโครงการมีมูลค่าการลงทุนแรกเริ่มอยู่ที่ 21,000,000 บาท (เครื่องจักรในการผลิตหมึก 20,000,000 บาท และการปรับปรุงสถานที่ 1,000,000 บาท) อายุโครงการ 5 ปี มีต้นทุนได้แก่ เงินเดือน ค่าสาธารณูปโภค ค่าซ่อมบำรุง ฯลฯ เฉลี่ยอยู่ที่เดือนละ 50,000 บาท และมีต้นทุนผันแปรได้แก่ ค่าวัตถุดิบในการผลิตหมึก ค่าไฟ อยู่ที่ 93 บาทต่อกิโลกรัม กำหนดให้มีค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรร้อยละ 20 ต่อปี ไม่มีมูลค่าซาก โดยมีการกำหนดให้อัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่ยอมรับได้ (Minimum Attractive Rate of Return) เท่ากับร้อยละ 10 จากเดิมโรงงานได้ซื้อหมึกราคากิโลกรัมละ 118 บาท สามารถช่วยลดต้นทุนของหมึกลงได้ กิโลกรัมละ 25 บาท ในแต่ละเดือนใช้หมึก 45,000 กิโลกรัม โดยมีผลการศึกษาดังนี้ (1) มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลตอบแทน (NPV) เท่ากับ 5,053,593 บาท (2) อัตราผลตอบแทน (IRR) เท่ากับร้อยละ 54.79 ยังมีค่ามากกว่าค่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่ยอมรับได้ (MARR) ของโครงการที่ได้กำหนดเอาไว้ (3) ระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 1 ปี 8 เดือน (4) อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C ratio) เท่ากับ 1.25 (5) ผลการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity) ของเปอร์เซ็นต์อัตราผลตอบแทน (IRR) ของตัวแปรด้านค่าใช้จ่ายแรงงาน, ค่าใช้จ่ายด้านวัสดุ และการเปลี่ยนแปลงจำนวนการใช้งาน ในช่วง +/- ร้อยละ 15 (ต่อปี) ยังให้อัตราผลตอบแทนยังมีค่าเป็นบวกและมีค่าเกินกว่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่ยอมรับได้ของโครงการที่ได้กำหนดเอาไว้แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงผลการศึกษา Sensitivity ของเปอร์เซ็นต์อัตราผลตอบแทน (IRR) เทียบกับตัวแปรต่าง ๆ



รูปที่ 8 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าการลงทุน รายได้ และกำไรสะสม เทียบกับระยะเวลาที่ดำเนินการ

โดยตัวแปรด้านค่าใช้จ่ายด้านวัสดุที่สูงเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้อัตราผลตอบแทนลดลง เนื่องจากเป็นค่าใช้จ่ายทางด้านต้นทุนที่สำคัญในการผลิตหมึกและส่งผลกระทบต่อความเป็นไปได้ของโครงการ จึงควรให้ความสำคัญเป็นพิเศษกับต้นทุนด้านนี้ และได้มีการแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าการลงทุน รายได้ และกำไรสะสม เทียบกับระยะเวลาที่ดำเนินการ ตลอดอายุการลงทุน แสดงดังรูปที่ 8 พบว่าเมื่อโครงการได้ดำเนินการผลิตอย่างต่อเนื่องจะมีกำไรสะสมเพิ่มสูงขึ้นตลอดอายุโครงการ เนื่องจากการคิดค่าเสื่อมราคาของ

เครื่องจักร และมีจุดคุ้มทุนของโครงการ (กำไรสะสม/การลงทุน) ตรงตามที่ได้คำนวณเอาไว้ จากผลการศึกษาต่าง ๆ ที่ได้ดำเนินการมา สรุปได้ว่าโครงการนี้มีความคุ้มค่าในการลงทุน

4. สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่า หมึกสีขาวที่ถูกสร้างขึ้นในแต่ละสูตรจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน จากการวิเคราะห์ค่าความหนืด วัดค่าปริมาณของแข็งในหมึกพิมพ์ ค่าความละเอียดของอนุภาค การทดสอบการยึดติด ค่าความทึบแสง ค่าความเปรียบต่างสี ค่าการยึดติดของชั้นฟิล์มแบบการประกบแห้ง จากผลการศึกษาทั้งหมดพบว่าหมึกพิมพ์ตัวอย่างที่ 5 มีคุณสมบัติที่เหมาะสมและผ่านตามมาตรฐานของโรงงานที่ได้ตั้งเอาไว้ และผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการพบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลตอบแทน (NPV) เท่ากับ 5,053,593 บาท อัตราผลตอบแทน (IRR) เท่ากับร้อยละ 54.79 ยังมีค่ามากกว่าค่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่ยอมรับได้ (MARR) ของโครงการที่ได้กำหนดเอาไว้ (ร้อยละ 10) ระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 1 ปี 8 เดือน อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C ratio) เท่ากับ 1.25 การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity) ของเปอร์เซ็นต์อัตราผลตอบแทน (IRR) ของตัวแปรด้านค่าใช้จ่ายแรงงาน, ค่าใช้จ่ายด้านวัสดุ และการเปลี่ยนแปลงจำนวนการใช้งาน ในช่วง +/- ร้อยละ 15 ยังให้อัตราผลตอบแทนยังมีค่าเป็นบวกและมีค่าเกินกว่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่ยอมรับได้ของโครงการ จากผลดังกล่าวแปลผลว่าโครงการมีความคุ้มค่าในการลงทุน และจากข้อมูลทั้งเรื่องคุณภาพและคุณสมบัติของหมึก จึงสรุปได้ว่าหมึกตัวอย่างที่ 5 สามารถนำมาผลิตและใช้งานได้ในบริษัทโดยมีคุณสมบัติเทียบเท่าหมึกพิมพ์สำเร็จรูปที่ใช้ในปัจจุบัน มีความคุ้มค่าและช่วยลดต้นทุนการผลิต อีกทั้งยังช่วยสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันของบริษัทได้

5. เอกสารอ้างอิง

[1] T. Srithongterm (2019, June 8) Plastic packaging industry. [Online] . Available: https://www.lhbank.co.th/

[2] A. Hansuebsia, Advances in printing technology, 1st ed. Bangkok. Chulalongkorn University Press, 1999.

[3] M. Paklamjeak, CONSUMER PACKAGING, 1st ed. Bangkok. E Hing Printing Press, 2013.

[4] P. Amornpinit, Recess screen and non-impact printing processes, 1st ed. Nonthaburi. University Press Sukhothai Thammathirat Open University ,1994 pp. 22.

[5] D. Khamraksa and A. Themmathurapoj, “ Studying about a Payback Period of Using the Automatic Offset Printing Ink Pumps Instead of the Traditional Offset Printing Ink Cans, ” Project, Dept. Printing Tech., King Mongkut’s Univ Thonburi, Bangkok, Thailand, 2011.

[6] W. Janjomsuke, “Modification of a single-solvent- based gravure ink for enhance wettability and substrate adhesion,” Thesis. Rochester Institute of Technology, New York, USA , 2005.

[7] T. Ongwong and P. Lhongsomboon, “ Mixing of Gravure Printing Ink to Improve Color Matching between Proof and Actual Print, ” Project, Dept. Printing Tech., King Mongkut’s Univ Thonburi., Bangkok, Thailand, 2008.

[8] T. Nantarat and C. Papusson, “ Economic Feasibility Evaluation of Government Investment Project by Using Cost Benefit Analysis: A Case Study of Domestic Port Port A) ,” in *Procedia Economics and Finance Laem- Chabang Port, Chonburi Province*, 2012, pp. 307-314.

[9] C. Piputsitee, Economics of project analysis, 3st ed . Bangkok. Office of Promotion and Training Kasetsart University, 1997

[10] C. Chantaro and S. Thongprasert, Engineering Statistics, 1st ed. Bangkok. Chulalongkorn University Press, 1993.

[11] A. E. Boardman, D.H. Greenberg, A. R. Vining and D. L. Weimer, Cost-Benefit analysis: Concepts and practice (2nd ed.). UpperSaddle River, NJ: Prentice-Hall., 2001.

[12] R. Xu, A. Pekarovicova, P. D. Fleming, Y. J. Wu and M. X. Wang, " A method for evaluating ink mileage in gravure printing," *Tappi* Journal, vol. 6, no. 12, pp. 27-32, Dec. 2007.