



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

การปรับปรุงสูตรสีในงานพิมพ์อุตสาหกรรม โดยวิธีการออกแบบการทดลองแบบผสม

Improvement of color formulations in industrial printing by mixture design of experiments

ศุภัตรา กฤษวัฒนากรณ์*

สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ 10120

Suphatra Kritwattanakorn*

Department of Industrial Technology, Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Krungthep Bangkok 10120

*Corresponding author.

E-mail: suphatra.k@mail.rmutk.ac.th; Telephone: 0 2287 9600

วันที่รับบทความ 31 มกราคม 2566; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 8 เมษายน 2566; วันที่ตอบรับบทความ 4 พฤษภาคม 2566

บทคัดย่อ

งานพิมพ์บนบรรจุภัณฑ์สีตามความต้องการของลูกค้าของบริษัทกรณีศึกษา พบปัญหาการในขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของตัวอย่างงานก่อนผลิตจริง ซึ่งความผิดพลาดที่แผนกพิมพ์ระบบแผ่นแม่พิมพ์ใช้เวลา วัสดุดิบ และส่วนผสมการผลิตสีเป็นจำนวนมากเกินความจำเป็น ทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงไม่มีการบันทึกข้อมูลและการปรับโทนสีให้เป็นมาตรฐานของบริษัท บทความวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงสูตรสีในงานพิมพ์อุตสาหกรรม โดยวิธีการออกแบบการทดลองแบบผสมกำหนดปัจจัยที่ทำการศึกษาคือสีใหม่ทั้งหมด 2 สูตรสี ได้แก่ สูตรสีที่ 1 สีชมพู มีส่วนผสมของสีทั้งหมด 9 อย่าง และสูตรสีที่ 2 สีม่วง มีส่วนผสมทั้งหมด 3 อย่าง ได้ทำการทดลองแต่ละสูตรสีทั้งหมดเป็นปริมาณของส่วนผสม 3 สูตร จากนั้นวิเคราะห์ผลด้วยวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยพิจารณาปริมาณของส่วนผสม 3 สูตร พบว่าการลดปริมาณของส่วนผสมไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโทนสี ผลการปรับปรุงพบว่าสูตรสีที่ 1 สีชมพู มีปริมาณรวมของสี 69.60 กิโลกรัม สามารถลดปริมาณลงได้ 48.60 กิโลกรัม ราคาต้นทุนที่ลดลง 7,346 บาทคิดเป็นร้อยละ 42.30 และสูตรสีที่ 2 สีม่วง มีปริมาณรวมของสี 29 กิโลกรัม สามารถลดปริมาณลงได้ 17 กิโลกรัม ราคาต้นทุนที่ลดลง 3,498 บาทคิดเป็นร้อยละ 39.13 นอกจากนี้ยังสามารถนำค่าที่ได้จากการปรับปรุงสูตรสีเหล่านั้นบันทึกเป็นค่ามาตรฐานของบริษัท สำหรับการพิมพ์บรรจุภัณฑ์ในครั้งต่อไปได้ในอนาคต

คำสำคัญ

สูตรสี งานพิมพ์ การทดลองแบบผสม

Abstract

Printing on packages as per customer need in the case study revealed the problems at the stage of prototype inspection before production. The error was caused by the printing department, of which the printing plate system took too many materials and color production ingredients as not necessary. This resulted in high production cost. Also, there was neither data recording nor color adjustment to be in accordance with the company standard. Thus, this research aimed to improve color formations in industrial printing by mixture design. The factors to be studied were 2 new color formulations, i.e., Formulation 1: Pink, which included 9 ingredients; and Formulation 2: Purple, which included 3 ingredients. The experiment of each particular formulation was implemented as the amounts of ingredients for 3 formulations. Then, the results were analyzed by one-way ANOVA, with the significance level of 0.05. The ingredients of the 3 formulations were considered. It was found that the reduction of ingredients did not affect tone change. More

specifically, the results of improvement revealed that the total amount of Formulation 1: Pink was 69.60 kg, which could reduce to 48.60 kg; with the cost reducing to 7,346 baht (42.30%). The total amount of Formulation 2: Purple was 29 kg, which could reduce to 17 kg; with the cost reducing to 3,498 (39.13%). Besides, the values obtained from these improved color formulations could be recorded as the standard values of the company for package printing in the future.

Keywords

color formulations; printing; mixture design

1. บทนำ

ปัจจุบันโรงพิมพ์บรรจุภัณฑ์เป็นธุรกิจโรงพิมพ์ที่ให้บริการพิมพ์และผลิตสิ่งพิมพ์บรรจุภัณฑ์ตามที่อยู่อาศัยสินค้าต้องการเพื่อสร้างความแตกต่างระหว่างสินค้าโดยการพิมพ์ภาพหรือข้อความต่างๆ บนบรรจุภัณฑ์ ซึ่งช่วยให้ผู้บริโภคสินค้าสามารถเลือกซื้อสินค้าที่ต้องการได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น บรรจุภัณฑ์สามารถจำแนกเป็นประเภทต่างๆ ได้หลายประเภทขึ้นกับเกณฑ์ที่ใช้จำแนกตามวัสดุที่ใช้แบ่งได้เป็นบรรจุภัณฑ์กระดาษ บรรจุภัณฑ์พลาสติก บรรจุภัณฑ์โลหะ และบรรจุภัณฑ์แก้ว หรือจำแนกตามลักษณะการใช้งาน แบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ คือ บรรจุภัณฑ์หลักหรือบรรจุภัณฑ์ชั้นแรกที่สัมผัสกับสินค้าโดยตรง บรรจุภัณฑ์รองหรือบรรจุภัณฑ์ชั้นที่สอง และบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่ง บรรจุอยู่ในกล่องกระดาษลูกฟูกเป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่ง แต่ธุรกิจการพิมพ์บรรจุภัณฑ์ส่วนมากจำแนกตามประเภทของบรรจุภัณฑ์ที่ผลิต เช่น ธุรกิจโรงพิมพ์กล่องกระดาษ ซึ่งมีทั้งกล่องขึ้นรูปสำเร็จและกล่องพับได้ ธุรกิจโรงพิมพ์กระป๋องโลหะ ธุรกิจโรงพิมพ์กระป๋องกระดาษ ธุรกิจโรงพิมพ์ฝาจับ ธุรกิจโรงพิมพ์หลอดบีบ ธุรกิจโรงพิมพ์ ขง ถูง หรือบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภทจะมีความแตกต่างกันค่อนข้างมากตามความต้องการของลูกค้า [1]

เนื่องจากธุรกิจโรงพิมพ์บรรจุภัณฑ์เป็นธุรกิจสำคัญที่สนับสนุนอุตสาหกรรมต่าง ๆ จึงสร้างรายได้ให้กับประเทศ โรงพิมพ์บรรจุภัณฑ์ในปัจจุบัน จึงยังคงมีช่องทางอยู่มากทั้งตลาดในประเทศและตลาดต่างประเทศ จุดแข็งของธุรกิจพิมพ์บรรจุภัณฑ์ คือ การที่ประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศผู้ผลิตและส่งออกอาหารที่สำคัญของโลกซึ่งทำให้ความต้องการอย่างต่อเนื่อง แต่ปัจจัยหนึ่งซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาคือการพิมพ์บรรจุภัณฑ์ให้ได้สีตามความต้องการของลูกค้า เมื่อศึกษาและเก็บข้อมูลจากบริษัทกรณีศึกษา พบปัญหาในขั้นตอนการตรวจสอบ

ความถูกต้องของตัวอย่างงานก่อนผลิตจริง เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่แผนกพิมพ์ระบบแผ่นแม่พิมพ์ (Gravure) ซึ่งใช้เวลา วัตถุดิบ และส่วนผสมการผลิตสีเป็นจำนวนมากเกินความจำเป็น ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตสูง ไม่มีการบันทึกข้อมูลและการปรับโทนสี (color Tones) ซึ่งมีผลทำให้การผลิตครั้งต่อไปเมื่อมีคำสั่งผลิตซ้ำ จึงเกิดปัญหาสูญเสียต่อเนื่องกับการผลิตและไม่สามารถควบคุมคุณภาพและไม่มีมาตรฐานสำหรับทำสูตรสีการผลิตในครั้งต่อไป

งานวิจัยนี้ทำการพัฒนาสูตรสีในงานพิมพ์อุตสาหกรรมนี้เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และลดต้นทุนในการหาปริมาณสัดส่วนของสูตรสีใหม่ให้ตรงตามความต้องการของลูกค้า ในขณะเดียวกันเพื่อช่วยเพิ่มมาตรฐานและศักยภาพทางการผลิตควบคู่กันไป โดยอาศัยเทคนิคการออกแบบการทดลองแบบผสม (Mixture Design) [2,3] โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนทางการผลิต และหาสูตรสีที่เป็นที่เป็นสูตรสำเร็จรูปและเป็นมาตรฐานให้กับบริษัทกรณีศึกษาสามารถนำไปใช้ในการผลิตและเพิ่มมูลค่าทางการผลิตในอนาคตได้อีกด้วย

2. การออกแบบการทดลอง

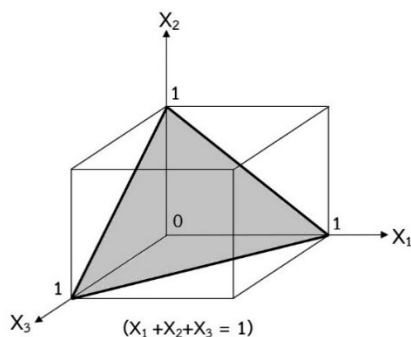
2.1 หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลอง

หลักการพื้นฐานการออกแบบการทดลอง (Experimental Design or Design of Experiments) เป็นการทดสอบครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า (Input Variables) ในระบบหรือกระบวนการที่สนใจศึกษา เพื่อที่จะทำให้สามารถสังเกตและชี้ถึงสาเหตุต่างๆ ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ (Outputs or Responses) จากกระบวนการหรือระบบนั้น [4] โดยตัวแปรนำเข้าจะถูกจัดแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ควบคุมได้ เรียกว่า ตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่ควบคุมได้ (Controllable Variables

or Factors) หรือตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่สามารถออกแบบได้ (Design Variables or Factors) และกลุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้ เรียกว่าตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่รบกวนระบบ (Uncontrollable or Noise Variables (Factors))

2.2 การออกแบบการทดลองแบบผสม

การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture Design) [5] เป็นการออกแบบการทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของปัจจัยเชิงปริมาณตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป โดยยึดหลักว่าผลรวมค่าสัดส่วนของปัจจัยทั้งหมดจะต้องเป็น 1.0 (หรือ 100%) เสมอกล่าวคือ เมื่อปัจจัยหนึ่งมีปริมาณที่เพิ่มขึ้น ย่อมทำให้ปัจจัยอื่นๆ มีสัดส่วนลดลง ซึ่งแตกต่างจากการทดลองที่ไม่ใช่แบบผสม (Mixture) ที่ตัวแปรแต่ละตัวเป็นอิสระจากกัน [6] โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ของแต่ละปัจจัยที่จะทำให้ผลตอบมีค่าที่ดีที่สุด หรือเป็นไปตามที่ผู้วิจัยต้องการตัวอย่างเช่น ถ้าปัจจัยของส่วนผสมที่จะทำการทดลองประกอบไปด้วย 3 ส่วนผสม ซึ่งแต่ละส่วนผสมจะถูกใช้เป็นสัดส่วนตั้งแต่ 0 จนถึง 100% และผลรวมของแต่ละส่วนผสมจะต้องเท่ากับ 100% จะรวมเอาค่าทั้งหมดของทั้งสามส่วนผสม ที่อยู่บนส่วนของเส้นตรง $x_1 + x_2 + x_3 = 1$ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ช่องว่างที่ถูกจำกัดของปัจจัยของส่วนผสมที่มี 3 ส่วนผสม

เมื่อมี 3 ปัจจัยบริเวณของการทดลองที่ถูกจำกัดสามารถเขียนอยู่บนกราฟแกนสามเส้น แต่ละด้านของทั้งสามด้านจะไม่มีส่วนผสมของทั้งสามส่วนประกอบนี้ และจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ถึง 100%

การออกแบบโครงตาข่ายอย่างง่าย (Simplex Lattice Design) ในการเลือกสูตรจากสูตรทั้งหมดที่เป็นไปได้จริง [7] เมื่อ p คือส่วนผสม สามารถกำหนดได้ด้วยพิกัด (Coordinate) ดังนี้

$$x_i = 0, \frac{1}{m}, \frac{2}{m}, \dots, 1 \quad (1)$$

เมื่อ x_i = สัดส่วนของส่วนผสมที่ i

m = ส่วนแบ่งที่เท่ากันของส่วนผสมที่ i

p = จำนวนส่วนผสม

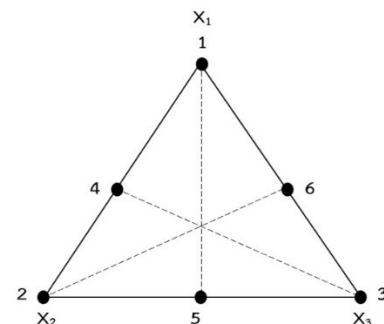
$i = 1, 2, 3, \dots, p$

$m = 1, 2, 3, \dots, p$

จำนวนสูตรผสมที่ผู้ทดลองต้องผสมทั้งหมด คำนวณได้จาก

$$N = \frac{(p+m-1)_i}{(m!(p-1)!)} \quad (2)$$

ตัวอย่างเช่น จำนวนสูตรที่ผสมจาก 3 อย่าง กำหนดให้ $m = 2$ จะได้ 6 สูตรที่ระบุบนโครงตาข่ายอย่างง่าย ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ระบบโคออร์ดิเนตแกนสามเส้น

หลักการทดลองปัจจัยที่ทำการศึกษารวมกันเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่จำเป็นที่ต้องนำทุกปัจจัยมาศึกษาพร้อมกัน เพราะส่วนผสมของการทดลองอาจมีปัจจัยจำนวนมาก แต่สามารถเลือกปัจจัยที่สนใจนำมาใช้แผนการทดลองแบบผสมได้ ตัวอย่างเช่น ส่วนผสมของผลิตภัณฑ์มีจำนวน 10 ปัจจัย

กล่าวคือเอถึงเจ (A – J) แต่สนใจเฉพาะเอ (A) บี (B) และซี (C) ซึ่งทั้ง 3 ปัจจัย มีสัดส่วนคิดเป็น 20 เปอร์เซ็นต์ ของส่วนผสมทั้งหมด สามารถนำส่วนผสมทั้ง 3 มากำหนดเป็นปัจจัยการทดลองได้ ส่วนอีก 80 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือกำหนดให้ใช้ในปริมาณคงที่หรือเป็นปัจจัยคงที่ (Fixed variables) ในทุกการทดลอง

3. วิธีการดำเนินงาน

การทำงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาสภาพการทำงานจริงที่เกิดขึ้นในปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษา ในการพัฒนาสูตรสีใหม่สำหรับงานพิมพ์ของบริษัท ซึ่งคำสั่งผลิตสูตรสีใหม่นั้นเป็นไปตามความต้องการของลูกค้า (Customization) ได้แก่ สูตรสีที่ 1 สีชมพู และสูตรสีที่ 2 สีม่วง โดยการหาสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของแต่ละเฉด (color matte) เพื่อทำการเก็บตัวอย่างสีที่ได้จากการปรับปรุงสูตรสีใหม่ และทำการบันทึกข้อมูลเพื่อเก็บเป็นมาตรฐานสูตรสี (standard) ของบริษัท

3.1 การศึกษาสูตรสีพื้นฐาน

การศึกษาสูตรสีพื้นฐาน เริ่มจากการศึกษาตัวอย่างเฉดสีและหาเปอร์เซ็นต์ของแต่ละเฉด (color matte) โดยสูตรสีที่ 1 สีชมพู มีส่วนผสมทั้งหมด 9 ส่วนผสม ได้แก่ Blue Medium Geranium (No.355) Warm red White Hardener Black Yellow และ Geranium (No.350) โดยแต่ละส่วนผสมจะมีอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 1 และสูตรที่ 2 สีม่วงมีส่วนผสมทั้งหมด 3 อย่าง ได้แก่ Blue Violet และ Geranium (No.350) ส่วนผสมทั้งสามมีอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2

3.2 การออกแบบการทดลองเพื่อหาปริมาณของสีที่เหมาะสม

การออกแบบการทดลองเพื่อหาปริมาณสีที่เหมาะสมสามารถทำได้โดยการกำหนดอัตราส่วนปริมาณสีที่เหมาะสมของสูตรสีที่ 1 สีชมพู ทั้งหมด 9 ส่วนผสม และสูตรสีที่ 2 สีม่วง ทั้งหมด 3 ส่วนผสม และนำไปดำเนินการหาจำนวนการทดลองโดยการทดลองแบบผสม (Mixture Design of Experiments) [8,9]

ตารางที่ 1 ส่วนผสมและราคาต้นทุนก่อนการปรับปรุงของสูตรสีพื้นฐาน สูตรที่ 1 สีชมพู

ลำดับ	รายละเอียดส่วนผสม	ราคา/กิโลกรัม	ผลรวมปริมาณ (กิโลกรัม)	ผลรวมปริมาณ (%)	ราคาต้นทุน (บาท)
1	Blue	162	10.00	8.46%	1,620
2	Medium	99	16.00	13.54%	1,584
3	Geranium (No.355)	250	12.00	10.15%	3,000
4	Warm red	180	4.00	3.38%	720
5	White	124	40.00	33.84%	4,960
6	Hardener	320	1.20	1.02%	384
7	Black	137	12.00	10.15%	1,644
8	Yellow	145	16.00	13.54%	2,320
9	Geranium (No.350)	162	7.00	5.92%	1,134
ผลรวม			118.20	100%	17,366

ตารางที่ 2 ส่วนผสมและราคาต้นทุนก่อนการปรับปรุงของสูตรสีพื้นฐาน สูตรที่ 2 สีม่วง

ลำดับ	รายละเอียดส่วนผสม	ราคา/กิโลกรัม	ผลรวมปริมาณ (กิโลกรัม)	ผลรวมปริมาณ (%)	ราคาต้นทุน (บาท)
1	Blue	162.00	20.00	43.48%	3,240
2	Violet	255.00	16.00	34.78%	4,080
3	Geranium (No.350)	162.00	10.00	21.74%	1,620
ผลรวม			46.00	100%	8,940

การกำหนดปัจจัยที่ทำการทดลองสูตรสีมาจากการระดมความคิดของผู้เชี่ยวชาญ พนักงาน และการเก็บข้อมูล โดยสูตรสีที่ 1 สีชมพู โดยเลือกส่วนผสม 3 ส่วนผสมที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโทนสีมากที่สุด รวมทั้งยังมีผลรวมต้นทุนสูงสุด กำหนดปัจจัยประกอบด้วย Geranium (No.355) ร้อยละ 8-10 White ร้อยละ 43-46 และ Yellow ร้อยละ 10-15 มาทำการทดลองและส่วนผสมอื่นๆ กำหนดเป็นปัจจัยคงที่ ซึ่งได้จำนวนการทดลองได้สูตรการทดลองทั้งหมด 3 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 3 และสูตรสีที่ 2 สีม่วง กำหนดปัจจัยทั้งหมดเพราะมีส่วนผสมส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโทนสี ได้แก่ Blue

ร้อยละ 46-52 Violet ร้อยละ 27-32 และ Geranium (No.350) ร้อยละ 20-24 ได้สูตรการทดลองทั้งหมด 3 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 การออกแบบปริมาณสีของสูตรสีที่ 1 สีชมพู

รายละเอียด ส่วนผสม	ตัวอย่างที่ 1 (กิโลกรัม)	ตัวอย่างที่ 2 (กิโลกรัม)	ตัวอย่างที่ 3 (กิโลกรัม)
Blue	5.00	5.00	5.00
Medium	8.00	8.00	8.00
Geranium (No.355)	6.00	6.20	6.40
Warm red	2.00	2.00	2.00
White	30.00	28.00	32.00
Hardener	0.60	0.60	0.60
Black	4.00	4.00	4.00
Yellow	10.00	12.00	8.00
Geranium (No.350)	4.00	4.00	4.00
Total	69.60	69.80	70.00

ตารางที่ 4 การออกแบบปริมาณสีของสูตรสีที่ 2 สีม่วง

รายละเอียด ส่วนผสม	ปริมาณที่ 1 (กิโลกรัม)	ปริมาณที่ 2 (กิโลกรัม)	ปริมาณที่ 3 (กิโลกรัม)
Blue	15.00	14.00	15.00
Violet	8.00	9.00	10.00
Geranium (No.350)	6.00	7.00	7.00
Total	29.00	30.00	32.00

3.3 ขั้นตอนการทดลองปรับปรุงสูตรสี

การทดลองปรับปรุงสูตรสีใหม่ที่ไม่ได้อยู่ใน Pantone หรือ Pantone Matching System (PMS) ดังรูปที่ 2 ซึ่งแพนโทน เป็นมาตรฐานของระบบสีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ผู้วิจัยเริ่มจากการออกแบบสูตรสีเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมนำมาทำการทดลองผสม โดยการชั่งน้ำหนักของส่วนผสมตามที่ได้ออกแบบไว้ ดังรูปที่ 3

ทำการทดสอบสีโดยการพิมพ์ลงบนฟิล์มพลาสติก โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) ความหนา 12 ไมครอน ดังรูปที่ 4 และรูปที่ 5 ตามลำดับ จากนั้นบันทึกข้อมูลและเปอร์เซ็นต์ของแต่ละเฉด (color matte) ส่งให้แผนกพิมพ์ทำการผลิตและเก็บเป็นมาตรฐานของสีในการผลิตครั้งต่อไป



รูปที่ 2 แพนโทน (Pantone)



รูปที่ 3 การทดลองผสมสีตามสัดส่วนที่ออกแบบ



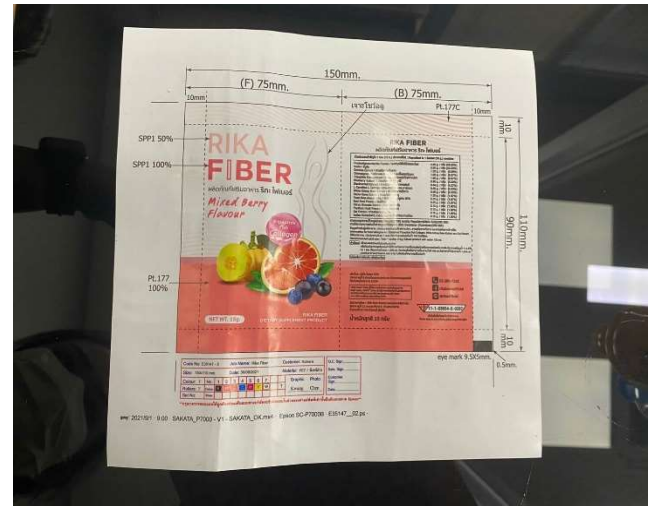
รูปที่ 4 ขั้นตอนการพิมพ์สีม่วงสูตรใหม่ใส่แผ่นฟิล์ม



รูปที่ 5 ขั้นตอนหลังจากพิมพ์สีม่วงใหม่ใส่แผ่นฟิล์มเสร็จ



รูปที่ 6 ตัวอย่างงานพิมพ์สูตรใหม่สูตรที่ 2 สีม่วง



รูปที่ 7 ตัวอย่างงานพิมพ์สูตรใหม่สูตรที่ 1 สีชมพู (ตัวอักษร FIBER)

4. ผลการวิจัย

4.1 การวิเคราะห์หาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสูตรสีด้วยความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว

การวิเคราะห์หาอัตราส่วนที่เหมาะสมสูตรสี ด้วยความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว (One-Way ANOVA) [10] เพื่อลดต้นทุนในการผลิตได้ โดยที่ส่วนผสมจะต้องมีคุณสมบัติอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ในงานวิจัยนี้จะหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของสูตรพิมพ์ทั้ง 2 สูตร ได้แก่สูตรที่ 1 สีชมพู และสูตรที่ 2 สีม่วง โดยใช้โปรแกรม Microsoft excel และแปลงค่าข้อมูลเพื่อกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์เพื่อหาอัตราส่วนผสมตามความต้องการของลูกค้า โดยทำการทดลองสัดส่วนที่ได้และวัดค่าจากเครื่องวัดค่าความละเอียดอนุภาคหมีก (grind-o-meter)

สมมติฐาน: ปริมาณของตัวอย่างส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโทสนสีหรือไม่

H_0 : ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลง

H_1 : ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลง

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_0$$

$$H_1: \mu_0 \neq 0 \text{ อย่างน้อยที่สุด 1 กลุ่มที่ต่างจากกลุ่มอื่น } \alpha$$

ทดสอบที่ 5% ($\alpha=0.05$)

การวิเคราะห์หาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสูตรสีด้วยความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวของสูตรที่ 1 สีชมพู พบว่าค่า $F = 0.0001 < F_{\text{critical}} = 3.4028$ ซึ่งสอดคล้องกับค่า $P_{\text{Value}} 0.9999 > \alpha=0.05$ แสดงดังตารางที่ 5 เช่นเดียวกัน

กับการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวของ สูตรที่ 2 สีม่วง ที่พบว่า $F = 0.0452 < F_{\text{critical}} = 5.1433$ และ ค่า $P_{\text{value}} 0.9562 > \alpha = 0.05$ แสดงดังตารางที่ 6

ดังนั้นผลสรุปการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวจึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) หมายความว่า

ว่าชนิดของสูตรสีทั้ง 2 สี ปริมาณของส่วนผสมแต่ละตัวอย่าง ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีทั้ง 2 สี จึงสามารถเลือกใช้ ตัวอย่างที่ 1 ซึ่งมีปริมาณของสีน้อยที่สุดในทดลอง

ตารางที่ 5 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว (One-way ANOVA) สูตรที่ 1 สีมชมพู

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
ตัวอย่างที่ 1	9	69.6000	7.7333	77.8900
ตัวอย่างที่ 2	9	69.8000	7.7556	68.5378
ตัวอย่างที่ 3	9	70.0000	7.7778	88.1944

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0.0089	2	0.0044	0.0001	0.9999	3.4028
Within Groups	1876.9778	24	78.2074			
Total	1876.9867	26				

ตารางที่ 6 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว (One-way ANOVA) สูตรที่ 2 สีม่วง

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
ตัวอย่างที่ 1	3	29	9.6667	22.3333
ตัวอย่างที่ 2	3	30	10.0000	13.0000
ตัวอย่างที่ 3	3	32	10.6667	16.3333

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1.5556	2	0.7778	0.0452	0.9562	5.1433
Within Groups	103.3333	6	17.2222			
Total	104.8889	8				

4.2 ผลการปรับปรุงปริมาณของส่วนผสมที่เหมาะสมของ สูตรสี

จากการศึกษาการผสมสูตรสีเป็นการศึกษากระบวนการทำงานและองค์ประกอบต่างๆ เพื่อลดค่าใช้จ่าย ใช้ประโยชน์ ด้านการพัฒนามาตรฐานของการทำงานและเวลาทำงาน

นำไปสู่การเพิ่มผลผลิตและการศึกษาวิธีการทำงานจากการ บันทึกและวิเคราะห์วิธีการทำงานของบริษัทกรณีศึกษา เพื่อนำเสนอวิธีการทำงานแบบใหม่อย่างมีระบบ พบว่าใน หน่วยงานของผลิตบางหน่วยงานมีความสูญเสียที่ยังสามารถที่จะปรับปรุงได้ ซึ่งผู้วิจัยพบปัญหาของขั้นตอนการตรวจสอบ

งานที่แผนกพิมพ์กราเวียร์ (Gravure) ที่ใช้เวลาและวัตถุดิบเป็นจำนวนมากเกินความจำเป็น ส่งผลให้เกิดเป็นต้นทุนที่สูงขึ้นเกินความจำเป็น

จากการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นทั้งเรื่องของเวลาและวัตถุดิบจึงมีแนวความคิดที่จะพัฒนางานส่วนนี้เพื่อช่วยให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุด ในขณะเดียวกันเพื่อช่วยเพิ่มมาตรฐานและศักยภาพทางการผลิตควบคู่กันไป ผู้วิจัยจึงได้ทำการคำนวณน้ำหนักออกมาเป็นตารางเปอร์เซ็นต์โดยอาศัยการออกแบบการทดลองแบบผสม เป็นการออกแบบการทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของปัจจัยเชิงปริมาณตั้งแต่ 2 ส่วนผสมขึ้นไป โดยผลรวมค่าสัดส่วนของส่วนผสมทั้งหมดจะต้องเป็น 1.0 (หรือ 100%) ทำให้สัดส่วนของส่วนผสมแต่ละสูตรที่สามารถเปรียบเทียบต้นทุน ปริมาณของส่วนผสมสีก่อนและหลังการปรับปรุงได้อย่างชัดเจน ซึ่งพบว่าสามารถลดปริมาณสีต่อการผลิตในแต่ละครั้ง (Batch Production) และต้นทุนได้ทั้ง 2 สูตรสี ซึ่งสูตรสีที่ 1 เป็นลักษณะของสีเป็นชมพูบานเย็น และสูตรสีที่ 2 เป็นสีม่วงอ่อนที่ไม่มีในแพนโทน (Pantone) เป็นสีที่ทำการผสมสูตรขึ้นมาใหม่ให้ได้ใกล้เคียงตามที่ลูกค้าสั่งมากที่สุด จากนั้นทำการบันทึกเป็นมาตรฐานในการผลิตครั้งต่อไป ซึ่งผลการปรับปรุงปริมาณของส่วนผสมที่เหมาะสมของสูตรสี ดังตารางที่ 7 และ ตารางที่ 8

ตารางที่ 7 ส่วนผสมและราคาต้นทุนหลังการปรับปรุงของสูตรสีพื้นฐาน สูตรที่ 1 สีชมพู

ลำดับ	รายละเอียดส่วนผสม	ราคา/กิโลกรัม	ผลรวมปริมาณ (กิโลกรัม)	ผลรวมปริมาณ (%)	ราคาต้นทุน (บาท)
1	Blue	162	5.00	7.18%	810.00
2	Medium	99	8.00	11.49%	792.00
3	Geranium (No.355)	250	6.00	8.62%	1500.00
4	Warm red	180	2.00	2.87%	360.00
5	White	124	30.00	43.10%	3720.00
6	Hardener	320	0.60	0.86%	192.00
7	Black	137	4.00	5.75%	548.00
8	Yellow	145	10.00	14.37%	1450.00
9	Geranium (No.350)	162	4.00	5.75%	648.00
ผลรวม			69.60	100%	10,020.00

ตารางที่ 8 ส่วนผสมและราคาต้นทุนหลังการปรับปรุงของสูตรสีพื้นฐาน สูตรที่ 2 สีม่วง

ลำดับ	รายละเอียดส่วนผสม	ราคา/กิโลกรัม	ผลรวมปริมาณ (กิโลกรัม)	ผลรวมปริมาณ (%)	ราคาต้นทุน (บาท)
1	Blue	162.00	15.00	51.72%	2,430.00
2	Violet	255.00	8.00	27.59%	2,040.00
3	Geranium (No.350)	162.00	6.00	20.69%	972.00
ผลรวม			29.00	100%	5,442.00

5. การสรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 การสรุปผล

จากการปรับปรุงสูตรสีในงานพิมพ์อุตสาหกรรม โดยวิธีการออกแบบการทดลองแบบผสม ซึ่งการทำสูตรสีในงานพิมพ์เพื่อการแก้ปัญหาต้นทุนในการผสมสูตรสี แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุง พบว่าสูตรสีที่ 1 สีชมพู มีปริมาณรวมของสีที่ใช้ก่อนการปรับปรุง 118.20 กิโลกรัม หลังการปรับปรุงใช้ปริมาณรวมของสี 69.60 กิโลกรัม สามารถลดปริมาณลงได้ 48.60 กิโลกรัม และสูตรสีที่ 2 สีม่วง มีปริมาณรวมของสีที่ใช้ก่อนการปรับปรุง 46 กิโลกรัม หลังการปรับปรุงใช้ปริมาณของสี 29 กิโลกรัม สามารถลดปริมาณลงได้ 17 กิโลกรัมต่อการผลิตในแต่ละครั้ง

ต้นทุนรวมของสูตรสีทั้ง 2 สูตร ก็สามารถลดต้นทุนได้เช่นเดียวกัน สูตรสีที่ 1 สีชมพู ก่อนการปรับปรุง 17,366 บาท หลังการปรับปรุง 10,020 บาท ราคาต้นทุนที่ลดลง 7,346 บาทคิดเป็นร้อยละ 42.30 และสูตรสีที่ 2 สีม่วง ก่อนการปรับปรุง 8,940 บาท หลังการปรับปรุง 5,442 บาท ราคาต้นทุนที่ลดลง 3,498 บาทคิดเป็นร้อยละ 39.13 ดังตารางที่ 9

นอกจากนี้ยังเป็นประโยชน์กับบริษัทกรณีศึกษาสามารถจำแนกได้ดังนี้

1) สามารถประหยัดวัตถุดิบในการผสมสูตรสีใหม่ได้อย่างมีนัยสำคัญ ช่วยลดการสูญเสียทางการผลิตได้เป็นเป้าหมายหลัก

2) สามารถลดเวลาในการเตรียมการทางการผลิต ในครั้งต่อไป และสามารถปรับปรุงลดการสูญเสียได้อย่างต่อเนื่อง หากลูกค้าไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรืออาจกล่าวได้ว่ามีประโยชน์กับคำสั่งผลิตซ้ำ

ตารางที่ 9 ผลการปรับปรุงปริมาณสีที่ใช้และต้นทุนที่ลดลง

ปริมาณที่ใช้ (กิโลกรัม)	สูตรสีที่ 1 สีชมพู	สูตรสีที่ 2 สีม่วง
ก่อนการปรับปรุง	118.20	46.00
หลังการปรับปรุง	69.60	29.00
ราคาค้นทุน (บาท)		
ก่อนการปรับปรุง	17,366.00	8,940.00
หลังการปรับปรุง	10,020.00	5,442.00
ราคาค้นที่ลดลง (บาท)	7,346.00	3,498.00
คิดเป็นร้อยละ	42.30%	39.13%

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการประยุกต์การออกแบบการทดลองในการปรับปรุงนี้เพื่อกำหนดรูปแบบของการผสมสี หากทำการปรับปรุงสีสูตรใหม่อื่น ๆ เพิ่มเติมได้ก็จะสามารถช่วยแก้ไขปัญหาค่าผสมสีลดปัญหาวัตถุดิบสิ้นเปลืองลงได้

แนวทางการพัฒนาในอนาคตควรมีการปรับปรุงกระบวนการผสมสีทั้งกระบวนการ จะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนได้ นอกจากนั้นยังสามารถใช้เป็นโครงการนำร่องในการลดการสูญเสียที่นำหลักการนี้ไปใช้ในแผนกอื่น ๆ ขององค์กร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตในอนาคตได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทกรณีศึกษาในจังหวัดจังหวัดสมุทรสาคร และขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา คณะครูศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ไกรพ เจริญโสภา, วีระ โชติธรรมภรณ์. รายงานการวิจัยเรื่องสถานการณ์ปัญหาผู้ประกอบการกิจการพิมพ์ในจังหวัดสมุทรสงคราม. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา: กรุงเทพฯ; 2554
- [2] Creswell J. W. *A concise Introduction to Mixed Method Research*. Los Angeles: Sage; 2015.

- [3] Montgomery DC. *Design and Analysis of Experiments, 6th ed.* John Wiley&Son Inc., New York; 2000.
- [4] Choomrit N. *Engineering statistics*. Bangkok: Se-education; 2013.
- [5] Sahin YB, Demirtaş EA, Burnak N. Mixture design: A review of recent applications in the food industry. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*. 2016; 22:297-304.
- [6] ปิยะนุช รสเครือ, มะลิวรรณ กิจชัยเจริญ. การพัฒนาสูตรที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์มะไฟจีนแผ่น. *วารสารบัณฑิตศึกษา*. 2563; 14(1): 235-256.
- [7] Myers RH, Montgomery DC. *Response Surface Methodology Process and Product Optimization Using Designed Experiments. 2nd ed.* John Wiley and Son, Inc., New York; 2002.
- [8] Grazielle S, Thais C, Willian R, Eduardo B, Patricia DR, Ernandes P. Enzymatic hydrolysis of waste cooking oil by lipase catalysis: simplex mixture design optimization. *Catalysis Letters*. 2023;153: 689-697.
- [9] สมศักดิ์ แก้วพลอย. การพัฒนาสูตรที่เหมาะสมสำหรับลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้านโดยวิธีการออกแบบการทดลอง. ใน *การประชุมวิชาการการพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน ครั้งที่ 4*. นครราชสีมา; 2557. หน้า 357-363.
- [10] ฉัตรณณิ สนนุช, ธนธร ทองสัมฤทธิ์. การพัฒนาหมึกสีข้าวฐานตัวทำละลายโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบผสม. ใน *การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 15 ปี. มหาวิทยาลัยรังสิต*. กรุงเทพฯ; 2563. หน้า 2285 – 2292.