

# การพัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์รอยต่างของงานพิมพ์ด้วยภาพถ่าย โดยใช้การวิเคราะห์ภาพ เพื่อประเมินคุณภาพงานพิมพ์อย่างแม่นยำ ในอุตสาหกรรมกระดาษ

## Development of an image analysis-based technique for precise evaluation of print mottle in the paper industry

ศิริลักษณ์ บ้องเกียรติชัย<sup>1</sup>, โกสินทร์ หาชะวี<sup>1</sup>, วโรตม์ พรหมบุญ<sup>2</sup>

Siriluk Pongkeatchai<sup>1</sup>, Kosin Hachawee<sup>1</sup>, Warot Promboon<sup>2</sup>

รับบทความ 19 พฤษภาคม 2568 แก้ไขบทความ 10 พฤศจิกายน 2568 ยอมรับตีพิมพ์ 11 พฤศจิกายน 2568

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาเทคนิคการประเมินรอยต่างของงานพิมพ์ (Print mottle) ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่กระทบต่อคุณภาพงานพิมพ์ โดยเฉพาะบริเวณที่พิมพ์พื้นทึบ เทคนิคที่นำเสนอใช้การประมวลผลภาพถ่ายร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สอดคล้องกับการรับรู้ของสายตามนุษย์ (Human visual system) เพื่อให้การประเมินมีความแม่นยำและสม่ำเสมอกว่าการตรวจด้วยสายตา การทดลองประกอบด้วย (1) การสร้างภาพจำลอง และ (2) การใช้ตัวอย่างงานพิมพ์จริงจากโรงพิมพ์ นำภาพพิมพ์ตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยหลายเทคนิคแล้วเปรียบเทียบค่าความสัมพันธ์ (Correlation) กับการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ ผลการวิเคราะห์ด้วยหลายเทคนิคพบว่าเทคนิคตัวกรองแบนด์พาส (Bandpass filtering) และเทคนิคมอดิไฟด์สัมประสิทธิ์การแปรผัน (Modified coefficient of variation) ให้ค่าความสัมพันธ์กับการประเมินของผู้เชี่ยวชาญต่ำกว่า 0.8 ขณะที่เทคนิคไทล์เซลล์ (Tile cell method) ให้ค่า 0.8-0.9 แต่เทคนิคอินทิเกรชันโมเดลแบบง่าย (Integration simple model) ให้ค่าสูงมากกว่า 0.9 ซึ่งแสดงถึงค่ามีความใกล้เคียงกับการประเมินด้วยสายตามนุษย์มากที่สุด อีกทั้งเทคนิคที่พัฒนาขึ้นยังสามารถใช้งานได้กับอุปกรณ์ทั่วไป เช่น เครื่องสแกนเนอร์และซอฟต์แวร์วิเคราะห์ภาพ จึงเหมาะสำหรับการควบคุมคุณภาพงานพิมพ์ในกระบวนการผลิตกระดาษและบรรจุภัณฑ์

**คำสำคัญ:** รอยต่างของงานพิมพ์, ดัชนีความไม่สม่ำเสมอของงานพิมพ์, รีเฟลกแดนซ์, คุณภาพงานพิมพ์

<sup>1</sup>หน่วยงานวิจัยบรรจุภัณฑ์ ศูนย์พัฒนานวัตกรรมและเทคโนโลยี บริษัท เอสซีจี แพคเกจจิ้ง จำกัด (มหาชน) จังหวัดราชบุรี 70110 ประเทศไทย

<sup>2</sup>นักวิจัยอิสระ

## Abstract

This research aims to develop a technique for evaluating print mottle, a critical defect that affects print quality, particularly in solid-printed areas. The proposed method combines image processing with a mathematical model aligned with the human visual system (HVS) to achieve greater accuracy and consistency than visual inspection alone. The experimental work comprised (1) the creation of simulated images and (2) the use of actual printed samples obtained from commercial printing facilities. These samples were analyzed using multiple techniques, and the resulting measurements were compared with expert visual assessments to determine correlation values. The results indicate that bandpass filtering and the modified coefficient of variation yielded correlations below 0.8, while the tile cell method achieved correlations in the range of 0.8-0.9. In contrast, an integration model in the form of a simple model achieved the higher correlation values of more than 0.9, indicating the closest alignment with human visual assessment. Furthermore, the proposed approach can be implemented using common equipment such as flatbed scanners and image-analysis software, making it highly suitable for quality control in paper and packaging production processes.

**Keywords:** Print mottling, Mottle index, Reflectance, Print quality

---

<sup>1</sup>Packaging Research, Innovation and Product Development Center, SCG Packaging PLC, Ratchaburi 70110, Thailand

<sup>2</sup>Independent Researcher

\*Corresponding author e-mail address: sirilukp@scg.com

## 1. บทนำ (Introduction)

ในอุตสาหกรรมภาพพิมพ์เชิงพาณิชย์ที่มีการแข่งขันสูง ความสมบูรณ์ของภาพพิมพ์และความคมชัดของสีเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ส่งผลต่อการรับรู้คุณภาพโดยผู้บริโภค ความผิดปกติของภาพพิมพ์ที่พบได้บ่อยคือ “รอยด่าง (Print mottle)” ซึ่งเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของการกระจายหมึกบนพื้นผิวกระดาษ ปัญหานี้ไม่ได้เป็นเพียงข้อจำกัดทางเทคนิค แต่ยังส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของแบรนด์และมูลค่าสินค้า ที่ผ่านมามีผลงานวิจัยที่ศึกษาปัญหาการรอยด่างของงานพิมพ์ (Print mottle) หลากหลายประเภท ทั้งรอยด่างจากพรินเตอร์ (Printer mottle), รอยด่างจากร่องดักหมึก (Ink trap mottle), รอยด่างจากแบคแทรพ (Back-trap mottle), รอยด่างจากวอเตอร์อินเทอร์เฟียร์เรนซ์ (Water interference mottle) และรอยด่างจากเพลนเพเปอร์ (Plain paper mottle) หรือรอยด่างจากความมันวาว (Gloss mottle) [1-6] ซึ่งสาเหตุของปัญหาดังกล่าวเกี่ยวข้องกับชนิดหมึกพิมพ์ ชนิดกระดาษ และสภาวะการพิมพ์ ที่ไม่เหมาะสม

การประเมินรอยด่างจากงานพิมพ์ส่วนใหญ่อาศัยการตรวจสอบด้วยสายตามนุษย์ ซึ่งมีความแปรปรวนสูงเนื่องจากอคติส่วนบุคคลและความล่าช้าในการประเมิน ด้วยเหตุนี้จึงมีการศึกษาและพัฒนาวิธีการประเมินรอยด่างจากงานพิมพ์ที่ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพถ่าย (Image-based assessment) ร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สะท้อนลักษณะการรับรู้ของสายตามนุษย์

เริ่มจากปี ค.ศ. 2000-2009 มีการประเมินเกรนินเนส (Graininess) และรอยด่าง (Mottle) โดยการใช้ค่าความถี่ผ่านการแบ่ง Tile cell เป็นเกณฑ์ [7] จากนั้น มีความพยายามคำนวณค่าดัชนีรอยด่าง (Mottle index) ผ่านค่ามีนรีเฟล็กแตนซ์ (Mean reflectance) โดยพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องของหลายปัจจัย เช่น ค่าโคซเนสออฟแวริเอชัน (Coarseness of variation) และแมกนิจูดออฟแวริเอชัน (Magnitude of variation) จากการกรองสัญญาณภาพตามความถี่ที่สนใจ ต่อมาได้มีการศึกษาที่พิจารณาการใช้เวตติ้งฟังก์ชัน (Weighting function) ในช่วงความถี่ที่สอดคล้องกับความสามารถในการมองเห็นความแปรปรวนของการพิมพ์ (Print variation) ของคนโดยพิจารณาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สอดคล้องกับการรับรู้ของสายตามนุษย์ (Human visual system หรือ HVS) [8] แต่ผลการประเมินก็ยังไม่สอดคล้องกับสายตามนุษย์ ต่อมาในช่วงปี ค.ศ. 2010-2020 มีการวิเคราะห์ด้วยคลื่นเวฟเลต (Wavelet) การตรวจสอบลักษณะทางสถิติของภาพ เช่น ค่าเอนโทรปี (Entropy) หรือฮิสโตแกรมเบสฟีเชอร์ (Histogram-based features) รวมถึงการใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อจำแนกรอยด่างและการใช้โมเดลฟิสิกส์ในการแยกความถี่ของความเปรียบต่างของภาพ (Spatial contrast sensitivity model) เพื่อสร้างตัวบ่งชี้ที่สอดคล้องกับการรับรู้ของมนุษย์ [9-12] แต่อย่างไรก็ตาม แต่ละแนวทางยังมีข้อจำกัดทั้งในด้านความแม่นยำ ความสามารถในการนำไปใช้จริง หรือความไวต่อเงื่อนไขของแหล่งกำเนิดภาพ และยังคงอาศัยเครื่องมือเฉพาะทางหรือซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ที่มีต้นทุนสูง

การศึกษาหลักการวิเคราะห์รอยด่างงานพิมพ์ด้วยภาพถ่าย (Image-based technique) และข้อจำกัดของการวิเคราะห์รอยด่างวิธีต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงแบบจำลองการวิเคราะห์ให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่สอดคล้องกับสายตามนุษย์และเหมาะสมกับกระดาษและปัญหาที่เกิดขึ้นจริง มีการตรวจสอบค่าความสัมพันธ์ของผลการวิเคราะห์จากภาพถ่ายเปรียบเทียบกับการประเมินด้วยสายตา สามารถให้ผลการตรวจสอบความไม่สม่ำเสมอของงานพิมพ์ที่มีความแม่นยำมากขึ้นโดยการปรับแต่งภาพและคัดกรองข้อมูลที่ผิดปกติออกก่อนขั้นตอนการวิเคราะห์ความไม่สม่ำเสมอของสีของภาพ นอกจากนี้ยังสามารถใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ หรือโปรแกรมวิเคราะห์ภาพถ่ายที่มีอยู่ทั่วไปในการตรวจสอบความไม่สม่ำเสมอของงานพิมพ์

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์รอยด่างของงานพิมพ์ (Print mottle) ที่ไม่เพียงมีความถูกต้องและความแม่นยำสูง (ค่า Correlation เทียบกับการประเมินด้วยสายตามนุษย์มากกว่า 0.8) แต่ยังสามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ที่มีอยู่ทั่วไปในโรงงาน ตัวอย่างเช่น สแกนเนอร์และกล้องดิจิทัลทั่วไป โดยเน้นการพัฒนาอัลกอริทึมที่ผสานระหว่างการแยกความถี่ภาพ (Frequency decomposition) และการชั่งน้ำหนักตามการตอบสนองของระบบการมองเห็นของมนุษย์ ซึ่งเป็นแนวทางใหม่ที่จะช่วยลดความคลาดเคลื่อนระหว่างผลการวิเคราะห์กับการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ

## 2. วิธีการวิจัย (Experimental Methods)

### 2.1 ขั้นตอนการเตรียมภาพตัวอย่าง

| ขั้นตอน                                        | รายละเอียดของชุดภาพตัวอย่าง                                                                                                                                                                                                              | วัตถุประสงค์หลัก                                                                                                  |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.1.1 การสร้างและพิมพ์ภาพดิจิทัล               | ชุดที่ 1: ภาพโทนสีเทา 9 ภาพ (ImageJ และ Laser printer HP2605) ปรับ Gaussian noise ในระดับที่แตกต่างกันอย่างเด่นชัด (ด้วยค่า Mean และ SD ที่ต่างกัน) โดยกำหนดให้ค่าความเข้มสีเฉลี่ยเท่ากันทุกภาพ (เพื่อตัดปัจจัยความเข้มสี) (ดังรูปที่ 1) | คัดกรองวิธีวิเคราะห์ต่าง ๆ ในเบื้องต้น โดยเน้นที่ผลของระดับนอยส์ (Noise)                                          |
|                                                | ชุดที่ 2: ภาพที่มีการกำหนด Gaussian noise ในระดับต่าง ๆ กัน (Mean, SD) รวมทั้งกำหนด Mean gray value ในระดับต่าง ๆ กัน (164, 174 และ 184) (ดังรูปที่ 2)                                                                                   | ศึกษาผลของความเข้มสีของภาพ (Mean gray intensity หรือ Mean reflectance) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่กระทบต่อผลการประเมิน |
| 2.1.2 การเตรียมตัวอย่างงานพิมพ์จริงจากโรงพิมพ์ | ชุดที่ 3: ภาพที่ผ่านการพิมพ์ Offset ในบริเวณที่พิมพ์พื้นตาสีเทา (Gray print) และสีน้ำเงิน (Blue print) (ดังรูปที่ 3)                                                                                                                     | ใช้ตัวอย่างงานพิมพ์จริง เพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความสอดคล้องกับการใช้งานจริง                                      |

### 2.2 การวิเคราะห์ Print mottle และการประเมินความสอดคล้อง

#### 2.2.1 การเก็บข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์

2.2.1.1 การประเมินคุณภาพด้วยสายตามนุษย์: ดำเนินการโดยใช้ผู้ประเมิน 5 ท่าน เพื่อสร้างค่าอ้างอิงสำหรับการประเมินการรับรู้ความแปรปรวนของการพิมพ์ของมนุษย์

2.2.1.2 การเก็บภาพด้วยเครื่องสแกนเนอร์: ใช้เครื่อง CanoScan 4400F ที่ความละเอียด 600 dpi เพื่อให้ได้ข้อมูลภาพดิจิทัลสำหรับนำไปวิเคราะห์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์

#### 2.2.2 การวิเคราะห์ Print mottle ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ (รวม 47 วิธี)

| กลุ่มวิธี                                                     | รายละเอียด                                                                                                                                                                                                                                                                                           | จำนวนวิธี   |
|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| ก. วิธีจากเครื่องมือวิเคราะห์ทางการค้า (ISO/IEC 13660:2001)   | ใช้หลักการ Tile cell กำหนด Cell size 4 ขนาด: 0.420 mm, 0.635 mm, 1.27 mm (ตามมาตรฐาน) และ 2.54 mm และในแต่ละ Cell size จะใช้ค่า Mottle ของสีที่ต่างกัน 7 สีในการประเมิน                                                                                                                              | 4x7=28 วิธี |
| ข. วิธีที่พัฒนาขึ้นเอง (PRECISEPRO: Versatile image analyzer) | ใช้หลักการ Tile cell, Bandpass method, Integration model และ Mottle index กำหนดสภาวะการวิเคราะห์ต่าง ๆ กัน รวม 19 วิธี โดยมีการนำหลักการ Modified COV (Modified coefficient of variation) และ CSF (Contrast sensitivity function) มาประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงความสอดคล้องกับการประเมินด้วยสายตามนุษย์ | 19 วิธี     |

#### 2.2.3 การเปรียบเทียบและการสรุปผล

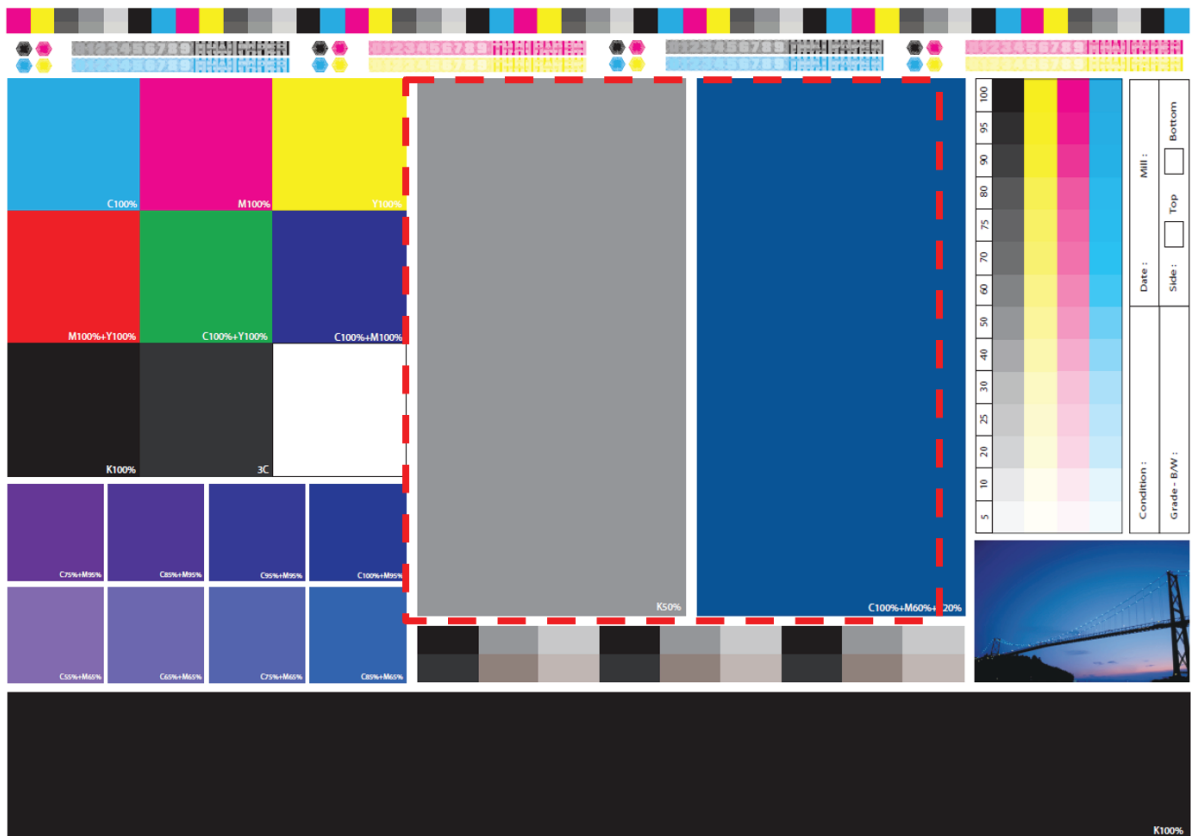
การเปรียบเทียบค่า Correlation โดยคำนวณค่าสหสัมพันธ์ระหว่างผลการวิเคราะห์ Print mottle ที่ได้จากเครื่องมือที่ใช้สมการทางคณิตศาสตร์ (รวม 47 วิธี) กับค่าการประเมินที่ได้จากสายตาของมนุษย์ เพื่อระบุวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่สามารถทำนายความรู้สึกของมนุษย์ได้อย่างแม่นยำที่สุด



รูปที่ 1 ภาพสร้างจากคอมพิวเตอร์ (ชุดที่ 1) เพื่อให้เกิด Mottle ระดับที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน  
(Simulated image/Different variation (Noise)/ Same mean gray level (Reflectance))



รูปที่ 2 ภาพสร้างจากคอมพิวเตอร์ (ชุดที่ 2) เพื่อให้เกิด Intensity variation (Noise) และ Mean gray value ในระดับที่แตกต่างกัน (Simulated image/Different variation (Noise)/Different mean gray level (Reflectance))



รูปที่ 3 ภาพงานพิมพ์ Offset (ชุดที่ 3)

### 3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

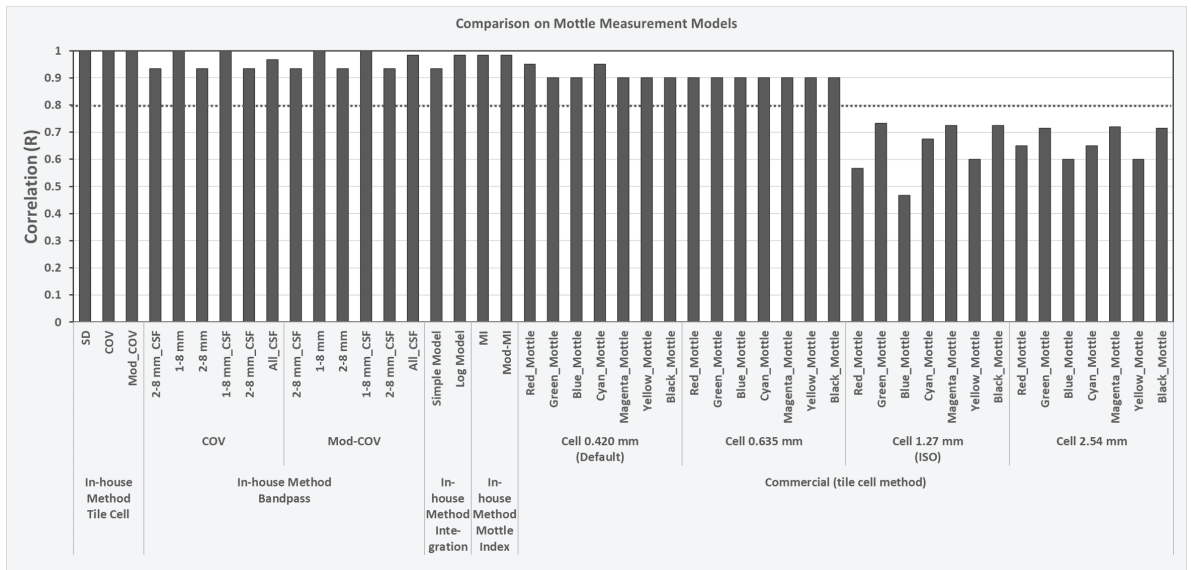
#### 3.1 การเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ Print mottle สำหรับตัวอย่างภาพที่สร้างขึ้นด้วยคอมพิวเตอร์ (ตัวอย่างชุดที่ 1)

จากรูปที่ 4 การประเมิน Print mottle โดยวิธีการที่พัฒนาขึ้นเองซึ่งใช้เครื่องมือ PRECISEPRO: Versatile image analyzer ที่ใช้หลักการ Tile cell, Bandpass, Integration model และ Mottle index ให้ผลการประเมินสอดคล้องกับการประเมินด้วยสายตาตามมนุษย์ โดยที่ค่า R มากกว่า 0.9 ส่วนการประเมินโดยเครื่องมือวิเคราะห์ทางการค้าที่ใช้หลักการ Tile cell ให้ Correlation ค่อนข้างดี ( $R \sim 0.9$ ) เมื่อใช้ Cell size 0.420 และ 0.635 mm แต่หากใช้ Cell size ตามมาตรฐาน ISO/IEC 13660:2001 (1.27 mm) ค่า Correlation ได้น้อยกว่า 0.8 จากผลการทดลองเพื่อคัดกรองวิธีวิเคราะห์ต่าง ๆ ในเบื้องต้น โดยเน้นที่ผลของระดับนอยส์ (Noise) คือ Gaussian noise ในระดับที่แตกต่างกันอย่างเด่นชัด (ด้วยค่า Mean และ SD ที่ต่างกัน) โดยกำหนดให้ค่าความเข้มสีเฉลี่ยเท่ากันทุกภาพสรุปได้ว่าวิธีการที่พัฒนาขึ้นเองซึ่งใช้เครื่องมือ PRECISEPRO: Versatile image analyzer ให้ผลการประเมินสอดคล้องกับการประเมินด้วยสายตาตามมนุษย์ โดยเฉพาะวิธี Tile cell ซึ่งให้ค่า Correlation = 1 และการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางการค้าที่ใช้หลักการ Tile cell จะต้องใช้ Cell size ที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดมาตรฐานของ ISO/IEC 13660:2001 จึงจะให้ค่า Correlation มากกว่า 0.8 ซึ่งสอดคล้องกับคำแนะนำจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องมือดังกล่าว

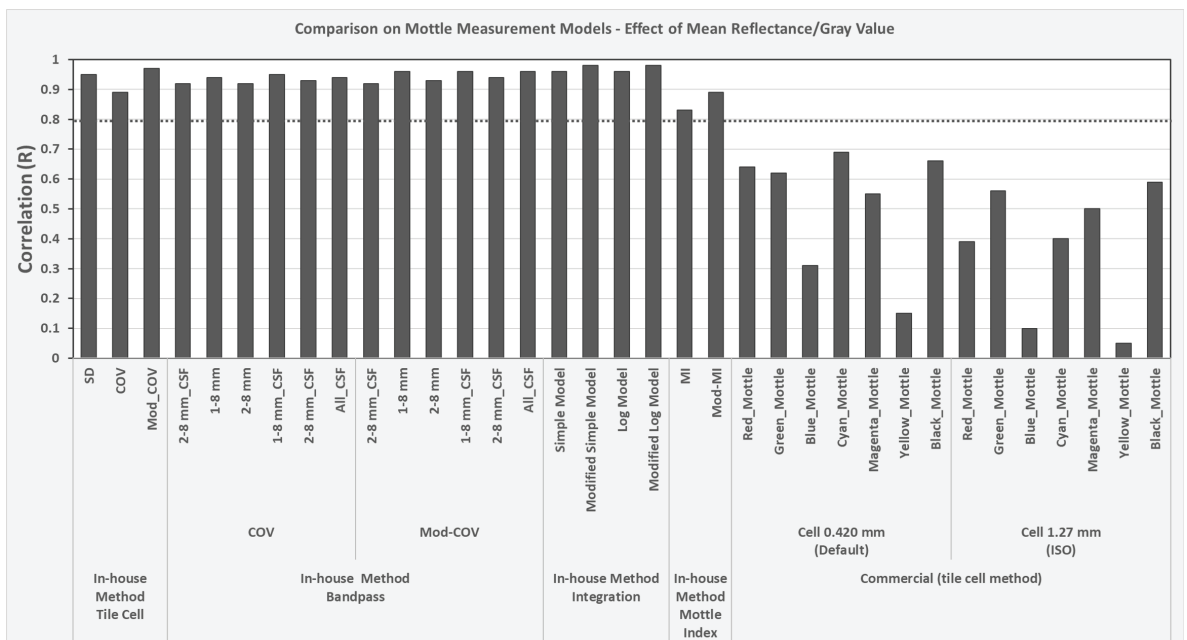
#### 3.2 การเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ Print mottle สำหรับตัวอย่างภาพที่สร้างขึ้นด้วยคอมพิวเตอร์ (ตัวอย่างชุดที่ 2)

จากผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 5 วิธีการที่พัฒนาขึ้นเองซึ่งใช้เครื่องมือ PRECISEPRO: Versatile image analyzer ให้ผลประเมินสอดคล้องกับการประเมินด้วยสายตาตามมนุษย์ โดยเฉพาะวิธี Tile cell (ที่ใช้ค่า Modified COV) และ

Integration model (แบบ Modified simple model และ Modified log model) ให้ค่า Correlation มากกว่า 0.97 ในขณะที่ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ทางการค้าที่ใช้หลักการ Tile cell (Cell size 0.42, 1.27 mm) ไม่สอดคล้องกับการประเมินด้วยสายตาตามมนุษย์ มี Correlation ต่ำกว่า 0.7 ซึ่งไม่เหมาะสมในการนำมาวิเคราะห์ Print mottle ในกรณีที่ตัวอย่างมีความเข้มสี (Mean gray level) แตกต่างกัน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่กระทบต่อผลการประเมินที่ทำให้ค่า Variance หรือ Standard deviation ของภาพเปลี่ยนไปโดยไม่เกี่ยวกับความไม่สม่ำเสมอจริง นอกจากนี้การใช้ Modified COV และ CSF function ทำให้ผลการประเมินทุกวิธีการสอดคล้องกับผลประเมินด้วยสายตาตามมนุษย์มากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2 พบว่าสามารถปรับปรุงค่า Correlation ให้มีค่าสูงขึ้น



รูปที่ 4 ค่า Correlation (R) ระหว่างผลการวิเคราะห์ Print mottle ด้วยวิธีการต่าง ๆ เปรียบเทียบกับผลประเมินด้วยสายตาตามมนุษย์ของตัวอย่างชุดที่ 1



รูปที่ 5 ค่า Correlation (R) ระหว่างผลการวิเคราะห์ Print mottle ด้วยวิธีการต่าง ๆ เปรียบเทียบกับผลประเมินด้วยสายตาตามมนุษย์ของตัวอย่างชุดที่ 2

ตารางที่ 1 ค่า Correlation (R) ระหว่างผลการวิเคราะห์ Print mottle ด้วยวิธีการต่าง ๆ ที่ศึกษาผลการใช้ COV และ Modified COV ช่วยในการประเมิน Print mottle เพื่อให้ค่า Correlation สูงขึ้น

| Method            |                    | Correlation (R)  |                                 | %Different |
|-------------------|--------------------|------------------|---------------------------------|------------|
|                   |                    | COV<br>(SD/Mean) | Modified COV<br>(SD/Sqrt(Mean)) |            |
| Tile cell         |                    | 0.886            | 0.968                           | 9.3%       |
| Bandpass          | 1-2 mm             | 0.942            | 0.955                           | 1.4%       |
|                   | 2-8 mm             | 0.92             | 0.929                           | 1.0%       |
|                   | 1-2 mm+CSF         | 0.946            | 0.959                           | 1.4%       |
|                   | 2-8 mm+CSF         | 0.931            | 0.936                           | 0.6%       |
| Integration model | Simple integration | 0.959            | 0.980                           | 2.2%       |
|                   | Log integration    | 0.962            | 0.978                           | 1.6%       |
| Mottle index      |                    | 0.825            | 0.886                           | 7.4%       |

ตารางที่ 2 ค่า Correlation (R) ระหว่างผลการวิเคราะห์ Print mottle ด้วยวิธีการต่าง ๆ ที่ศึกษาผลการใช้ CSF ช่วยในการประเมิน Print mottle เพื่อให้ค่า Correlation สูงขึ้น

| Method          |              | Correlation (R) |          | %Different |
|-----------------|--------------|-----------------|----------|------------|
|                 |              | without CSF     | with CSF |            |
| Bandpass 1-8 mm | COV          | 0.942           | 0.946    | 0.4%       |
|                 | Modified COV | 0.955           | 0.959    | 0.4%       |
| Bandpass 2-8 mm | COV          | 0.920           | 0.931    | 1.1%       |
|                 | Modified COV | 0.929           | 0.930    | 0.7%       |

### 3.3 การเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ Print mottle สำหรับตัวอย่างที่ผ่านการพิมพ์ระบบ Offset (ตัวอย่างชุดที่ 3)

จากตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ Print mottle ด้วยสายตามนุษย์และจากรูปที่ 6-7 แสดงค่า Correlation ระหว่างผลการวิเคราะห์ Print mottle จากวิธีการต่าง ๆ เทียบกับการประเมินด้วยสายตามนุษย์และใช้ตัวอย่างงานพิมพ์จริง เพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความสอดคล้องกับการใช้งานจริง

ผลการวิเคราะห์บริเวณพื้นพิมพ์สีเทาจากรูปที่ 6 พบว่า มีวิธีที่ให้ Correlation มากกว่า 0.8 ได้แก่

3.3.1 วิธี Tile cell method (SD และ Modified COV)

3.3.2 วิธี Integration model (Simple model และ Log model)

3.3.3 วิธี Mottle index (Modified COV)

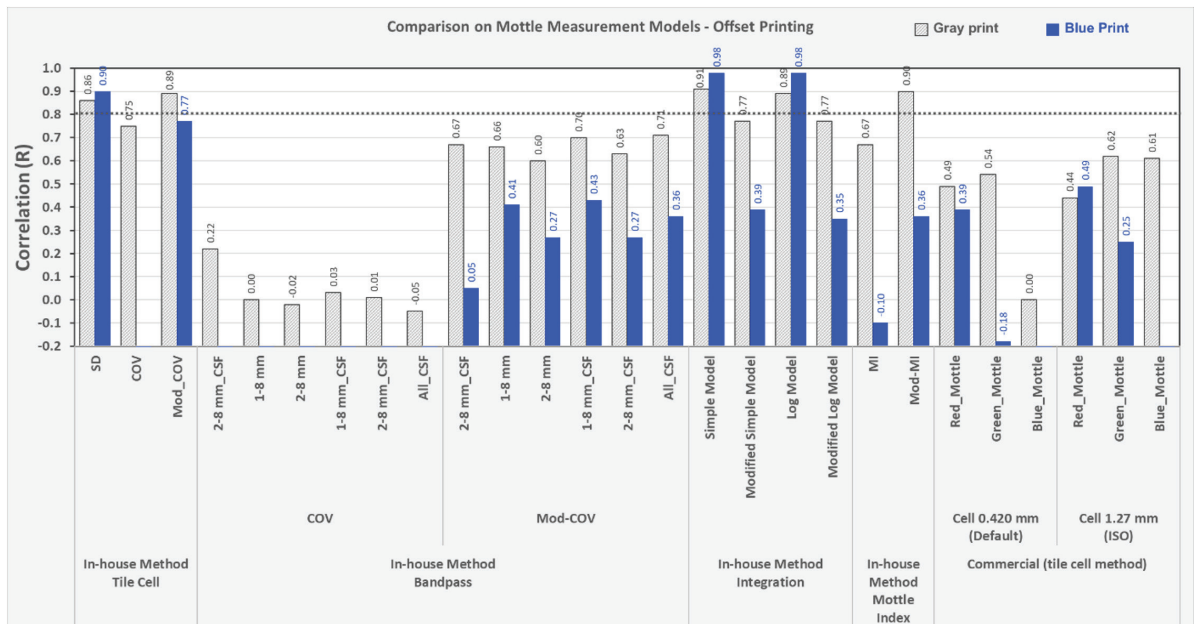
และพบว่าวิธีที่ให้ Correlation ต่ำกว่า 0.5 ซึ่งไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้ได้แก่ ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ทางการค้าที่ใช้หลักการ Tile cell (Cell size 0.42, 1.27 mm)

วิธีการที่พัฒนาขึ้นเองที่ใช้เครื่องมือ PRECISEPRO: Versatile image analyzer ที่มีการผสมการแยกความถี่ภาพ (Frequency decomposition) ซึ่งการแยกความถี่จะช่วยให้แยกโครงสร้างของ Mottle ที่สายตามนุษย์มองเห็นได้จริงออกจาก Noise ที่ไม่เกี่ยวข้อง และการชั่งน้ำหนักตามการตอบสนองของระบบการมองเห็นของมนุษย์ (Weighting function) โดยสายตามนุษย์ไม่ได้ตอบสนองต่อทุก Spatial frequency เท่ากัน โดยเฉพาะวิธี Integration model (แบบ Simple model) ให้ค่า Correlation มากกว่า 0.9 และผลการวิเคราะห์บริเวณที่พิมพ์พื้นสีเทา (Gray print) จะให้ Correlation กับสายตามนุษย์สูงกว่าการวิเคราะห์บริเวณที่พิมพ์สีน้ำเงิน (Blue print) ส่วนผลการวิเคราะห์บริเวณพิมพ์พื้นสีน้ำเงินพบว่า มีเพียงวิธี Tile cell (SD) และ Integration model (Simple model และ Log model) เท่านั้นที่ให้ค่า Correlation มากกว่า 0.8 ซึ่งยังสอดคล้องกับการประเมินด้วยสายตามนุษย์

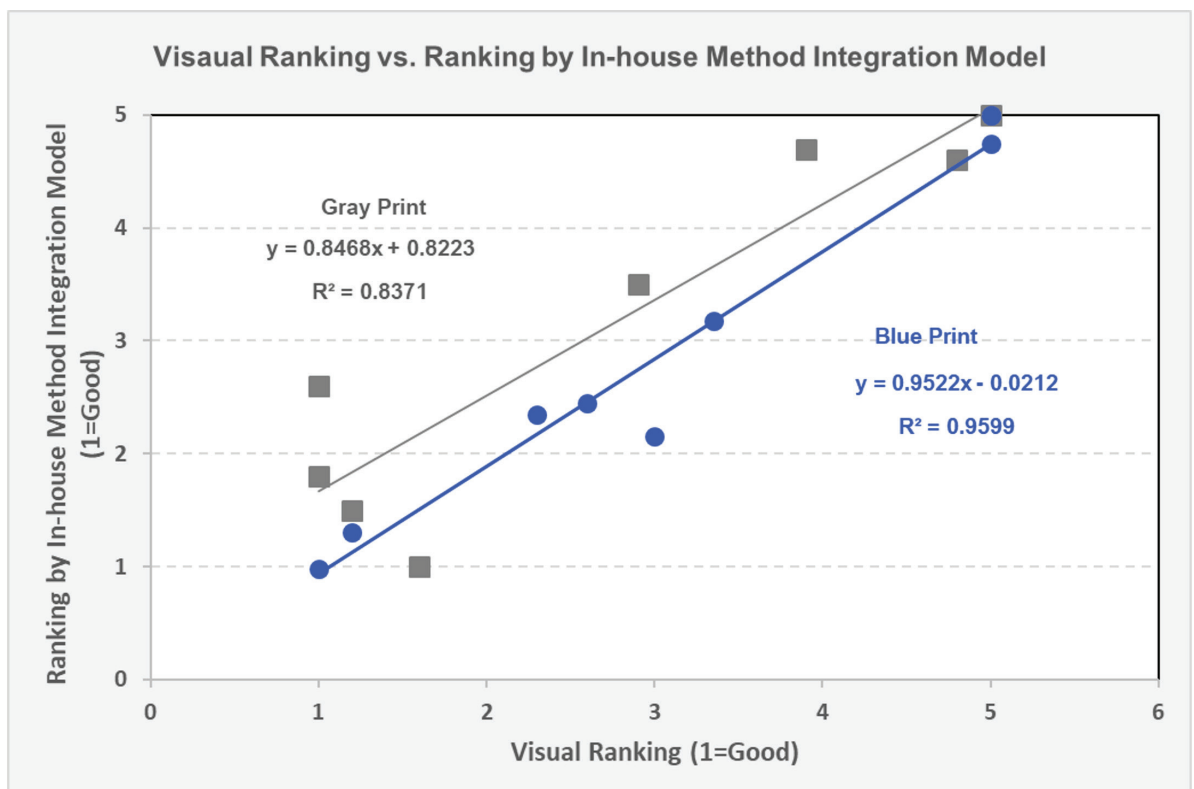
ตารางที่ 3 ผลการประเมิน Print mottle ด้วยสายตามนุษย์ โดยผู้ชำนาญงานพิมพ์ของตัวอย่างชุดที่ 3

| Color          | Printing house | Side   | Visual assessment score |      |      |      |      |      |             |
|----------------|----------------|--------|-------------------------|------|------|------|------|------|-------------|
|                |                |        | No.1                    | No.2 | No.3 | No.4 | No.5 | No.6 | Mottle rank |
| Blue<br>C95M60 | D-1            | Top    | 4                       | 3    | 3    | 2    | 5    | 3    | 3.33        |
|                | D-1            | Bottom | 4                       | 3    | 3    | 2    | 3    | 3    | 3.00        |
|                | D-2            | Top    | 1                       | 2    | 2    | 1    | 1    | 3    | 1.67        |
|                | D-2            | Bottom | 2                       | 2    | 1    | 1    | 1    | 2    | 1.50        |
|                | E-1            | Top    | 5                       | 3    | 5    | 5    | 4    | 5    | 4.50        |
|                | E-2            | Bottom | 5                       | 3    | 5    | 5    | 5    | 4    | 4.50        |
|                | E-1            | Top    | 3                       | 2    | 1    | 3    | 3    | 3    | 2.50        |
|                | E-2            | Bottom | 3                       | 2    | 1    | 3    | 4    | 3    | 2.67        |
| Gray<br>K100   | D-1            | Top    | 4                       | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    | 4.00        |
|                | D-1            | Bottom | 4                       | 3    | 3    | 4    | 1    | 4    | 3.17        |
|                | D-2            | Top    | 1                       | 2    | 2    | 1    | 1    | 2    | 1.50        |
|                | D-2            | Bottom | 2                       | 2    | 2    | 1    | 1    | 2    | 1.67        |
|                | E-1            | Top    | 5                       | 4    | 5    | 5    | 5    | 5    | 4.83        |
|                | E-2            | Bottom | 5                       | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5.00        |
|                | E-1            | Top    | 3                       | 1    | 1    | 1    | 1    | 2    | 1.50        |
|                | E-2            | Bottom | 3                       | 1    | 1    | 1    | 4    | 2    | 2.00        |

หมายเหตุ: คะแนน 1 = เกิด Mottle น้อย, คะแนน 5 = เกิด Mottle มาก, Error bar แสดงช่วง 95% Confidence interval of mean (N=9)



รูปที่ 6 ค่า Correlation (R) ระหว่างผลการวิเคราะห์ Print mottle ด้วยวิธีการต่าง ๆ  
เปรียบเทียบกับผลประเมินด้วยสายตาตามมนุษย์ของตัวอย่างชุดที่ 3



รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิด Mottle ที่วิเคราะห์ด้วยสายตาตามมนุษย์  
เปรียบเทียบกับวิธีการที่พัฒนาขึ้นเองซึ่งใช้เครื่องมือ PRECISEPRO: Versatile image analyzer แบบ Integration model

#### 4. สรุป (Conclusion)

การประเมินรอยต่างของงานพิมพ์ (Print mottle) ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพที่พัฒนาขึ้นเองโดยใช้เครื่องมือ PRECISEPRO: Versatile image analyzer เปรียบเทียบกับการประเมินด้วยสายตาตามมนุษย์ เพื่อทดสอบความแม่นยำและความสอดคล้องของผลลัพธ์ในระดับที่ยอมรับได้ พบว่า เทคนิคที่พัฒนาขึ้น ได้แก่ Tile cell (SD, Modified COV), Band pass และ Integration model สามารถประเมินรอยต่างของงานพิมพ์จากการวิเคราะห์ภาพพิมพ์ที่ถูกจำลองขึ้น โดยที่ภาพมีผลกระทบจาก Mean reflectance ได้อย่างใกล้เคียงกับการประเมินของสายตาตามมนุษย์ แสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องสูงกับการประเมินด้วยสายตา และเมื่อทดสอบกับภาพจากกระบวนการพิมพ์จริง ซึ่งมีความแปรปรวนของภาพมากกว่าแบบจำลอง พบว่า การวิเคราะห์บนพื้นพิมพ์สีเทาให้ผลที่เชื่อถือได้มากกว่าพื้นพิมพ์สีน้ำเงิน ทั้งนี้ เทคนิคที่ยังคงให้ผลสอดคล้องในระดับสูงคือ Tile cell (SD) และ Integration model (Simple model และ Log model) โดยเฉพาะเทคนิค Integration model แบบ Simple model มีศักยภาพสูงสุดในการประเมินรอยต่างของงานพิมพ์อย่างแม่นยำและสอดคล้องกับสายตาของมนุษย์ จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นเครื่องมือในงานควบคุมคุณภาพการพิมพ์ในอุตสาหกรรมกระดาษ โดยใช้อุปกรณ์และเครื่องมือทั่วไป เพื่อทดแทนหรือสนับสนุนการตรวจสอบด้วยสายตาในกระบวนการพิมพ์จริง

#### 5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

การดำเนินงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ภาพที่พัฒนาขึ้นโดยศูนย์พัฒนานวัตกรรมและผลิตภัณฑ์ บริษัทเอสซีจี แพคเกจจิ้ง จำกัด (มหาชน) ภายใต้แบรนด์ PRECISEPRO

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Canet C, Gadbois S, Lapointe K, Marleau J, Martineau M, Turgeon J. Influence of mottle on color reproduction. Research Gate Publication. 2002;14:23-5. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/316693555\\_Influence\\_of\\_mottle\\_on\\_color\\_reproduction](https://www.researchgate.net/publication/316693555_Influence_of_mottle_on_color_reproduction)
- [2] Sappi. On-press troubleshooting tips for solving problems on press and documenting complaints [Internet]. 2005 [cited 2020 Dec 15]. Available from: <https://mediahub.sappi.com/m/3eb48f94b861faf7/original/On-Press-Troubleshooting.pdf>
- [3] Sandreuter NP. Predicting print mottle: A method of differentiating between three types of mottle. TAPPI Journal. 1994;77(7):173-84. Available from: <https://imisrise.tappi.org/TAPPI/Products/94/JUL/94JUL173.aspx>
- [4] Drake D, Rosenberger R, Clark D. Back-trap and half-tone mottle measurement with stochastic frequency distribution analysis. In: TAPPI Coating Conference; Proceeding. 2001:1-7. Available from: <https://imisrise.tappi.org/TAPPI/Products/CTG/CTG01243.aspx>
- [5] Xiang Y, Bousfield DW, Coleman P, Osgood A. The cause of backtrap mottle: Chemical or physical. In: TAPPI Coating Conference; Proceeding. 2000:45-58. Available from: <https://imisrise.tappi.org/TAPPI/Products/CTG/CTG0045.aspx>
- [6] Louman HW, Mottling and wettability. In: TAPPI Coating Conference; Proceeding. 1991:505-519. Available from: <https://imisrise.tappi.org/TAPPI/Products/CTG/CTG91505.aspx>
- [7] International Organization for Standardization (ISO) / International Electrotechnical Commission (IEC). Image quality measurement for printed documents. ISO/IEC 13660:2022. Geneva: ISO/IEC; 2022. Available from: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:13660:en>

- [8] Fahlcrantz CM. On the evaluation of print mottle [Doctoral thesis]. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology; 2005. Available from: <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:14329/SPIKBLAD.pdf>
- [9] Fahlcrantz CM, Johansson PA. A comparison of different print mottle evaluation models. Technical Association of the Graphic Arts. 2006;2:140-60. Available from: [https://www.printing.org/docs/default-source/taga-abstracts-\(member-only\)/t040511.pdf?sfvrsn=455aab4d\\_2](https://www.printing.org/docs/default-source/taga-abstracts-(member-only)/t040511.pdf?sfvrsn=455aab4d_2)
- [10] Navarro PJ, Fernández-Isla C, Alcover PM, Suardíaz J. Defect detection in textures through the use of entropy as a means for automatically selecting the wavelet decomposition level. Sensors. 2016;16(8):1178-98. doi: 10.3390/s16081178.
- [11] Su Z, Gao M, Li P, Jing J, Zhang H. Digital printing defect classification algorithm based on convolutional neural network. Laser Optoelectron Prog. 2020;57(24):241011. doi: 10.3788/LOP57.241011.
- [12] Zhang X, Liu Y, Wang Y. An objective model for evaluating print mottle based on human vision. Color Research & Application. 2012;37(6):429-38.