

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสีในระบบ การวัดคุณภาพสีโดยใช้ภาพถ่าย

Analysis of factors affecting image-based color detection

ปิยาภรณ์ มาตย์วิเศษ ชุมพล ขวงโย

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

การประมวลผลภาพได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพอาหาร โดยระบบนี้มีองค์ประกอบและปัจจัยหลายอย่างที่อาจส่งผลให้เกิดความผันแปรของการวัดสีของภาพถ่ายอาหารที่ต้องการ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าสีในระบบ $L^* a^* b^*$ ของภาพถ่าย เพื่อเป็นข้อมูลในการลดความผันแปรของระบบและทดสอบความสามารถของเครื่องมือประมวลผลภาพของอาหารที่มีอยู่ อีกทั้งอธิบายความผันแปรที่เกิดขึ้น เพื่อประโยชน์ในการปรับปรุงและควบคุมกระบวนการ โดยในการทดลองมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบทั้งหมด 10 ปัจจัย แต่เมื่อพิจารณาโดยใช้ความรู้เบื้องต้นสามารถรองรับปัจจัยเพื่อลดความผันแปรของสีของภาพถ่ายในเบื้องต้นได้เหลือ 6 ปัจจัย ได้แก่ ผู้ทำการทดลอง สีพื้นหลังวางชิ้นงาน ตำแหน่งการวางชิ้นงาน จำนวนหลอดไฟ แสงภายนอกและระยะห่างของชิ้นงานกับกล้อง จากนั้นออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล (fractional factorial design) เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัย พบว่าปัจจัยผู้ทำการทดลองและแสงภายนอก (outside light) ไม่มีผลต่อค่า $L^* a^*$ และ b^* ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นจึงเลือกทั้งสองปัจจัยดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์ความสามารถของระบบการวัด (gauge repeatability and reproducibility, GR&R) โดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็ม (full factorial design) ส่วนปัจจัยอื่นๆ กำหนดให้เป็นค่าคงที่เพื่อลดความผันแปรที่จะเกิดขึ้น จากการทดลองพบว่าค่าสัดส่วนความแปรปรวนของค่า $L^* a^*$ และ b^* ในการทดสอบความสามารถเครื่องมือวัดมีค่าเท่ากับ 0.012%, 2.173% และ 0.657% ตามลำดับ ซึ่งสามารถยอมรับได้

คำสำคัญ : การลดความผันแปร, การประมวลผลภาพ, การวิเคราะห์ระบบการวัด, การออกแบบการทดลอง

Abstract

The image processing system has been used to inspect food quality and it consists of several components and factors affecting image-based color detection. The aims of this research is to study these factors affecting color in $L^* a^* b^*$ model to reduce the measurement variability and test the effectiveness of the measurement system. In our experimentation, we consider six factors associated in the system: operator, background, position, number of lamp outside light and distance. Fractional factorial design is used to screen these factors, the experimentation results indicated that operator and outside light are significance at 95 confidence level. Therefore, they are further analyzed using gage repeatability and reproducibility (GR&R), the other four factors defined as a constant to reduce the variability. Results show the variation ratio of the L^*, a^* and b^* is 0.012%, 2.173% and 0.657%, respectively, which are acceptable for further use.

Keywords : variation reduction, image processing, gauge repeatability and reproducibility, design of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

วิธีการประมวลผลภาพ (image processing) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการตรวจสอบคุณภาพอาหารและผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรมากยิ่งขึ้นเนื่องจากสามารถตรวจสอบได้โดยอัตโนมัติทำให้การผลิตมีความรวดเร็ว แม่นยำ และน่าเชื่อถือ [1] เช่น วิเคราะห์คุณภาพของผักผลไม้ เนื้อวัว ปลา พืชชา ชีส และขนมปัง เป็นต้น [2]

ความแตกต่างกันของผักและผลไม้เป็นอีกปัญหาหนึ่งในซูเปอร์มาร์เก็ตที่พนักงานขายจะต้องสามารถแยกชนิดและคุณภาพของผักผลไม้เหล่านั้นได้ ซึ่งความแตกต่างนี้จะเป็นตัวกำหนดราคาสินค้า เนื่องจากผักและผลไม้บางชนิดผู้บริโภคจะเป็นผู้กำหนดปริมาณเองจึงไม่สามารถบรรจุสำเร็จรูปได้ และชั่งน้ำหนักในขั้นตอนการคิดราคา แต่การชั่งน้ำหนักไม่สามารถบอกถึงชนิดและคุณภาพของสินค้าแต่ละชิ้นได้ ทำให้นำไปสู่ความผิดพลาดในการกำหนดราคา [3] ดังนั้นการประยุกต์ใช้วิธีการประมวลผลภาพในการประเมินสีของผักและผลไม้ช่วยให้การแบ่งแยกประเภทและคุณภาพมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ซึ่งจากการศึกษาพบว่ามีการวิจัยที่นำวิธีการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้กับการตรวจสอบคุณภาพผักและผลไม้ [3] แต่ยังไม่พบว่ามีกรณีวิเคราะห์ความสามารถของระบบการวัด ทั้งนี้การวิเคราะห์ความสามารถของระบบการวัดนั้น ถือได้ว่าเป็นมีความสำคัญต่อทั้งประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถืออีกทั้งยังเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงกระบวนการ เนื่องจากในกระบวนการมีความเกี่ยวข้องกับการวัดและแน่นอนว่าค่าที่ได้จากการวัดจะมีความผันแปรเกิดขึ้นเสมอและเนื่องจากในระบบการประมวลผลภาพนั้น มีองค์ประกอบและปัจจัยหลายอย่างที่อาจส่งผลให้สีของภาพถ่ายที่ต้องการวัดเกิดความผันแปร เช่น เครื่องมือวัด พนักงานวัด ปัจจัยแวดล้อม จึงมีความจำเป็นที่ต้องมีการศึกษาปัจจัยเหล่านั้น เพื่อลดความผันแปรที่จะเกิดขึ้นและทำให้เกิดความเชื่อมั่นในความสามารถในการแบ่งแยกผลิตภัณฑ์ของระบบการวัด

งานวิจัยในครั้งนี้จึงได้นำการออกแบบการทดลองเชิงสถิติมาเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าสีในระบบ $L^* a^* b^*$ ของภาพถ่ายที่ได้จากระบบการ

ประมวลผลภาพของอาหารเพื่อลดความผันแปรที่จะเกิดขึ้นในระบบ โดยในที่นี้ความผันแปรจะถูกนำเสนอในรูปแบบของค่าความแปรปรวนที่สามารถวัดได้อีกทั้งทดสอบความสามารถของเครื่องมือ ตลอดจนอธิบายความแปรปรวนที่เกิดขึ้นเพื่อประโยชน์ในการปรับปรุงและควบคุมกระบวนการประมวลผลภาพ

ในบทความนี้ได้แบ่งออกเป็น 5 ส่วน โดยส่วนแรกกล่าวถึงความสำคัญของวิธีการประมวลผลภาพและการวิเคราะห์ความสามารถของระบบการวัด ส่วนที่สองกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ส่วนที่สามกล่าวถึงอุปกรณ์และการออกแบบการทดลองซึ่งมีทั้งหมด 3 ขั้นตอน ในขั้นตอนแรกจะเริ่มจากการกรองปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบ จากนั้นนำปัจจัยที่เหลือมาทดสอบความมีนัยสำคัญโดยคัดเลือกปัจจัยที่ไม่มีผลต่อค่าสี เพื่อลดความแปรปรวนที่จะเกิดขึ้น สุดท้ายนำปัจจัยมาทำการทดสอบความสามารถของระบบการวัด ส่วนที่สี่เป็นผลที่ได้จากการทดลองและส่วนที่ห้าเป็นการสรุปผลที่ได้จากการทดลอง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (statistical design of experiment) หมายถึงกระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งช่วยให้สามารถหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหาได้ นำไปสู่การหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาต่อไป [4]

2.2 วิธีการประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพ (image processing) เป็นการเรียกใช้ขั้นตอนหรือกรรมวิธีใดๆ มากระทำกับภาพ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพให้มีคุณสมบัติตามต้องการ เช่น ความคมชัดหรือการประหยัดพื้นที่ในการเก็บข้อมูลหรือใช้สำหรับการประมวลผลภาพ เช่น การจดจำลักษณะได้อย่างแม่นยำหรือการทำให้ได้ค่าการวัดออกมา เป็นต้น

2.3 การวิเคราะห์ความสามารถของระบบการวัด

ความสามารถของระบบการวัดนั้นประกอบไปด้วยความสามารถในการวัดซ้ำ (repeatability) ซึ่งหมายถึงความแปรปรวนของค่าวัดที่เกิดจากการวัดโดยใช้ผู้วัดคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดียว อุปกรณ์วัดเดียวกันในการวัดชิ้นงานชิ้นเดียวกันซ้ำๆ และความสามารถในการวัดเหมือน (reproducibility) หมายถึงความแปรปรวนของค่าวัดที่เกิดจากการใช้อุปกรณ์วัดเดียวกันในการวัดชิ้นงานเดียวกันด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน โดยสมการที่ 1 สามารถอธิบายความสามารถรวมของระบบการวัดในรูปแบบของค่าความแปรปรวนได้ดังนี้ [5]

$$\sigma_{total}^2 = \sigma_{part}^2 + \sigma_{gauge}^2 \quad (1)$$

โดย σ_{total}^2 คือความแปรปรวนทั้งหมด σ_{part}^2 คือความแปรปรวนของชิ้นงาน σ_{gauge}^2 คือความแปรปรวนของเครื่องมือวัดซึ่งประกอบไปด้วยความสามารถในการวัดซ้ำ ($\sigma_{repeatability}^2$) และความสามารถในการวัดเหมือน ($\sigma_{reproducibility}^2$) ดังแสดงในสมการที่ 2

$$\sigma_{gauge}^2 = \sigma_{repeatability}^2 + \sigma_{reproducibility}^2 \quad (2)$$

รูปแบบการออกแบบการทดลองทั่วไปเพื่อศึกษาความสามารถของระบบการวัด มีตัวแปรได้แก่ ชิ้นงาน (part ; $i = 1, 2, \dots, a$) ปัจจัยที่ 1 (factor 1 ; $j = 1, 2, \dots, b$) และ ปัจจัย 2 (factor 2 ; $k = 1, 2, \dots, c$) แสดงดังสมการที่ 3

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \quad (3)$$

โดย μ คือค่าเฉลี่ย τ_i คืออิทธิพลของชิ้นงาน มีค่าความแปรปรวน = σ_τ^2 β_j คืออิทธิพลจากปัจจัยที่ 1 มีค่าความแปรปรวน = σ_β^2 γ_k คืออิทธิพลจากปัจจัยที่ 2 มีค่าความแปรปรวน = σ_γ^2 $(\tau\beta)_{ij}$ คืออิทธิพลร่วมของชิ้นงานและปัจจัยที่ 1 มีค่าความแปรปรวน = $\sigma_{\tau\beta}^2$ $(\tau\gamma)_{ik}$ คืออิทธิพลร่วมของชิ้นงานและปัจจัยที่ 2 มีค่าความแปรปรวน = $\sigma_{\tau\gamma}^2$ $(\beta\gamma)_{jk}$ คืออิทธิพลร่วมของปัจจัยที่ 1 และ 2 มีค่าความแปรปรวน = $\sigma_{\beta\gamma}^2$ $(\tau\beta\gamma)_{ijk}$ คืออิทธิพลร่วมของชิ้นงาน ปัจจัยที่ 1 และปัจจัยที่ 2 มีค่าความแปรปรวน = $\sigma_{\tau\beta\gamma}^2$ ε_{ijkl} คือค่าความคลาดเคลื่อนของระบบ มีค่าความแปรปรวน = σ_ε^2 l คือจำนวนซ้ำของการทดลอง ดังนั้นค่าความแปรปรวนทั้งหมดของระบบ $V(y_{ijkl})$ มีค่า

$$V(y_{ijkl}) = \sigma_\tau^2 + \sigma_\beta^2 + \sigma_\gamma^2 + \sigma_{\tau\beta}^2 + \sigma_{\tau\gamma}^2 + \sigma_{\beta\gamma}^2 + \sigma_{\tau\beta\gamma}^2 + \sigma_\varepsilon^2 \quad (4)$$

3. วิธีการ

3.1 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. เครื่องมือการประมวลผลภาพ (รูปที่ 1) กล้องไม้

ขนาด $80 \times 80 \times 60$ เซนติเมตร ภายในทาสีดำ [6]

2. แสงสว่างจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์

ความยาว 60 เซนติเมตร 4 หลอด จัดวางเป็นที่เหลี่ยมเหนือชิ้นงาน 35 เซนติเมตร เป็นมุม 45 องศา [6]

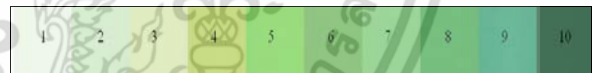
3. กล้องดิจิทัล Nikon D5100 ตั้งค่ากล้อง ISO200 ความเร็วชัตเตอร์ 1/100 ค่ารูรับแสง 5.0

4. การถ่ายภาพเชื่อมต่อด้วย USB ผ่านคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Camera Control Pro 2 และปรับปรุงคุณภาพภาพถ่ายโดยการตัดสิ่งรบกวน วิเคราะห์ค่า L^* a^* b^* ของภาพถ่ายด้วยโปรแกรม MATLAB

5. ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองจะใช้กระดาษโทนสีเขียวขนาด 10×10 เซนติเมตร 10 ชิ้น (รูปที่ 2) เนื่องจากสะดวกในการทดลองและใช้สีเขียวที่ต่างกันเพื่อแทนความแตกต่างกันของสีเขียวของผักและผลไม้



รูปที่ 1 เครื่องมือประมวลผลภาพ



รูปที่ 2 สีของกระดาษสีที่ใช้ในการทดลองจากระดับ 1 ถึง 10

3.2 การออกแบบการทดลอง

1. พิจารณาปัจจัยทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับค่าสีในระบบ L^* a^* b^* ของภาพถ่ายและกรองปัจจัยโดยใช้ความรู้จากประสบการณ์เพื่อลดความผันแปรในระบบเบื้องต้น

2. วัดสีจากภาพถ่ายชิ้นงาน โดยใช้ชิ้นงานคือกระดาษสีเขียวในระดับที่ 5 มาทำการทดสอบและออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลจากปัจจัยที่เหลือจากการกรองในขั้นต้น แล้วพิจารณาปัจจัยที่ไม่มีผลต่อค่า L^* a^* และ b^* ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มาทดลองต่อ เพื่อลดความผันแปรที่จะเกิดขึ้นในระบบ

3. วัดสีจากภาพถ่ายชิ้นงาน ซึ่งในส่วนนี้จะใช้กระดาษสีเขียวทุกระดับมาทดสอบ โดยออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มจากปัจจัยที่ไม่มีผลต่อค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้จัดทำเอกสารนี้ ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ซ้ำได้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$L^* a^* b^*$ ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 เพื่อทดสอบความสามารถของระบบการวัด (GR&R) ทั้งนี้ข้อมูลทั้งหมดจะวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม MINITAB

4. ผลการดำเนินงาน

1. ตารางที่ 1 แสดงการพิจารณาปัจจัยทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับค่า L* ในระบบ $L^* a^* b^*$ ของภาพถ่ายชิ้นงาน ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ปัจจัยเบื้องต้น

| ปัจจัย | การวิเคราะห์เบื้องต้น | | |
|-----------------------------|-----------------------|---------|---------------|
| | มีผล | ไม่มีผล | ไม่ทราบแน่ชัด |
| ขนาดรูรับแสงของกล้องถ่ายภาพ | ✓ | | |
| ความไวชัตเตอร์กล้องถ่ายภาพ | ✓ | | |
| การกดชัตเตอร์ | | ✓ | |
| สีพื้นหลังวางชิ้นงาน | | | ✓ |
| ลักษณะพื้นผิวของชิ้นงาน | ✓ | | |
| ผู้ทำการทดลอง | | | ✓ |
| ตำแหน่งการวางชิ้นงาน | | | ✓ |
| จำนวนหลอดไฟ | | | ✓ |
| แสงภายนอก | | | ✓ |
| ระยะห่างของชิ้นงานกับกล้อง | | | ✓ |

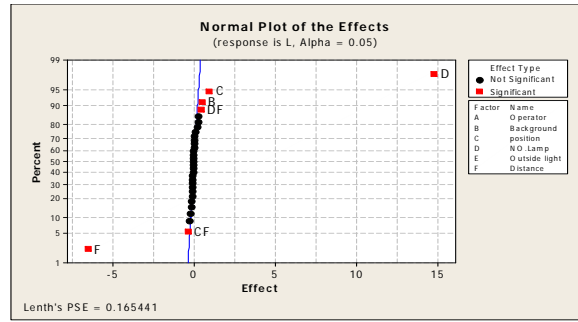
จากตารางที่ 1 พบว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบมีทั้งหมด 10 ปัจจัย โดยสามารถสรุปได้จากประสบการณ์ว่ามีผลและไม่มีผลต่อค่าสีของชิ้นงานมี 4 ปัจจัย ทั้งนี้เพื่อคัดแยกปัจจัยเหล่านี้ให้ออกจากการพิจารณาโดยกำหนดเป็นค่าคงที่เพื่อลดความผันแปรในเบื้องต้น ส่วนปัจจัยที่ยังไม่ทราบแน่ชัดว่ามีผลหรือไม่มีทั้งหมด 6 ปัจจัย

2. กำหนดระดับของปัจจัยทั้ง 6 ปัจจัย ตามตารางที่ 2 และออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^{6-1} ได้ทั้งหมด 32 การทดลอง

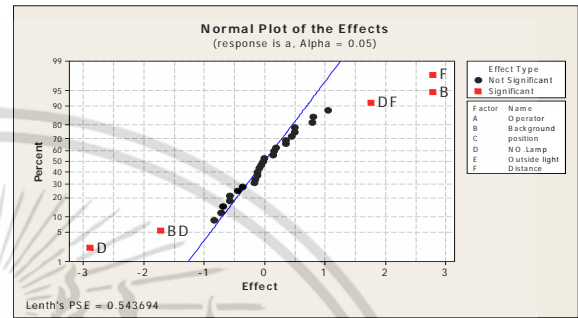
ตารางที่ 2 ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองความมีนัยสำคัญ

| ปัจจัย | ระดับ | |
|--------------------------------|----------|---------|
| | ต่ำ (-1) | สูง (1) |
| ผู้ทำการทดลอง (A) | คนที่ 1 | คนที่ 2 |
| สีพื้นหลังวางชิ้นงาน (B) | ดำ | ขาว |
| ตำแหน่งการวางชิ้นงาน (C) | เยื้อง | กลาง |
| จำนวนหลอดไฟ (D) | 2 หลอด | 4 หลอด |
| แสงภายนอก (E) | ไม่มี | มี |
| ระยะห่างของชิ้นงานกับกล้อง (F) | 23.5 cm | 35.5 cm |

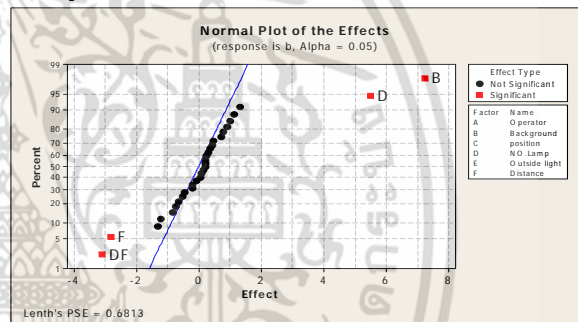
ในขั้นตอนนี้จะพิจารณาเฉพาะปัจจัยที่ไม่มีผลต่อสีของภาพถ่าย จากนั้นนำปัจจัยดังกล่าวไปทำการทดสอบความสามารถของระบบการวัด ส่วนปัจจัยอื่นๆกำหนดให้



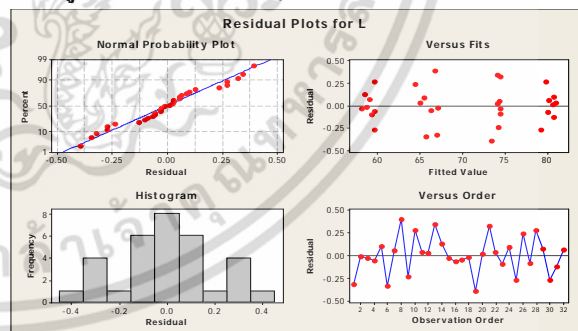
รูปที่ 3 Normal Probability Plot of the Effect ของค่า L*



รูปที่ 4 Normal Probability Plot of the Effect ของค่า a*



รูปที่ 5 Normal Probability Plot of the Effect ของค่า b*



รูปที่ 6 Residual Plot ของค่า L*

เป็นค่าคงที่ เพื่อลดความผันแปรที่จะเกิดขึ้น ทั้งนี้เพื่อพิจารณาว่าปัจจัยที่ไม่ส่งผลต่อสีของภาพถ่ายนั้นจะส่งผลให้ระบบการวัดเกิดความแปรปรวนหรือไม่ ซึ่งจากรูปที่ 3 4 และ 5 พบว่าจาก 6 ปัจจัย อิทธิพลจากผู้ทำการทดลอง (A) และแสงภายนอก (E) ไม่มีผลต่อค่า L* ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนอิทธิพลที่ไม่มีผลต่อค่า a* และ b* คือ ผู้ทำการทดลอง (A) ตำแหน่งการวางชิ้นงาน (C) และแสงภายนอก (E) และเมื่อพิจารณา Residual Plot ของค่า L* ใน

รูปที่ 6 พบว่าค่าตกค้าง (Residual) มีการเรียงตัวเป็นเส้นตรง การกระจายตัวเป็นแบบปกติ ส่วน Versus Fits และ Versus Order พบว่า ค่าตกค้างมีความแปรปรวนคงที่ ซึ่งในส่วนของคุณค่า a* และ b* ก็ให้ผลเช่นเดียวกันจึงสามารถสรุปได้ว่าค่าตกค้างของข้อมูลไม่ผิดปกติ ดังนั้นจึงสามารถนำข้อมูลที่ได้ออกจากการวิเคราะห์มาใช้ได้

3. ออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบเต็มจากปัจจัยที่ไม่มีผลต่อค่า L* a* b* โดยในการทดลองนี้เลือกปัจจัยผู้ทำการทดลอง (A) และแสงภายนอก (E) มาทำการวิเคราะห์ต่อ เนื่องจากตำแหน่งการวางชิ้นงาน (C) เป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่า L* แต่ไม่มีผลสำหรับค่า a* และ b* แต่การวิเคราะห์ต้องทำการวิเคราะห์ค่า L* a* และ b* พร้อมกัน ดังนั้นหากนำปัจจัยตำแหน่งการวางชิ้นงานมาทำการวิเคราะห์ร่วมด้วยอาจทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ความสามารถของระบบในส่วนของคุณค่า L* ได้อย่างแท้จริง โดยได้กำหนดระดับของปัจจัยในการทดลองดังตารางที่ 3 ได้การทดลองทั้งหมด 40 การทดลอง ไม่ทำซ้ำการทดลอง

ตารางที่ 3 ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์

| ปัจจัย | ระดับ |
|---------------------------|-------------------------------|
| ผู้ทำการทดลอง (operator) | คนที่ 1 , คนที่ 2 |
| แสงภายนอก (outside Light) | มี , ไม่มี |
| สีของชิ้นงาน (part) | 1 ,2 ,3 ,4 ,5 ,6 ,7 ,8 ,9 ,10 |

จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่า L* จะเห็นได้ว่าอิทธิพลหลักจากผู้ทำการทดลองและแสงภายนอกไม่มีผลทำให้ค่าที่วัดได้เปลี่ยนแปลงไปที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่อิทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานกับผู้ทำการทดลอง ชิ้นงานกับแสงภายนอกและผู้ทำการทดลองกับแสงภายนอกมีผลต่อค่า L* ที่วัดได้ ซึ่งอิทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานกับผู้ทำการทดลองมีนัยสำคัญนั้น อาจเป็นไปได้ว่าเมื่อเปลี่ยนชิ้นงานให้ผู้ทำการทดลองคนเดิมทำการวัดแล้ว ผลการวัดจะเปลี่ยนไป ซึ่งถึงแม้ว่าอิทธิพลหลักของผู้ทำการทดลองจะไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ แต่แท้ที่จริงแล้วมีอิทธิพลมากเมื่อมีการประเมินค่าความแปรปรวนด้านความสามารถในการวัดซ้ำและการวัดเหมือนของเครื่องมือวัด ในทำนองเดียวกันอิทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานกับแสงภายนอก อาจสามารถแปลความหมายได้ว่าเมื่อเปลี่ยนชิ้นงานในการทำการทดลอง

ตารางที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า L*

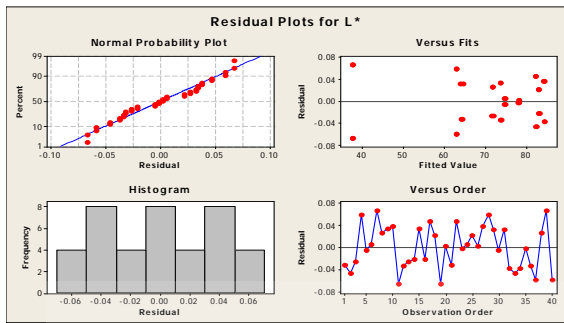
| ANOVA: L versus Part, Operator, Outside light | | | | | |
|---|-----------|---------|---------------------------------|----------|---------|
| Factor | Type | Levels | Values | | |
| Part | random | 10 | 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 | | |
| Operator | random | 2 | 1, 2 | | |
| Outside light | random | 2 | 1, 2 | | |
| Analysis of Variance for L* | | | | | |
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Part | 9 | 6998.91 | 777.66 | 14268.56 | 0.000 x |
| Operator | 1 | 0.02 | 0.02 | 0.33 | 0.620 x |
| Outside light | 1 | 0.06 | 0.06 | 0.83 | 0.457 x |
| Part*Operator | 9 | 0.29 | 0.03 | 4.92 | 0.013 |
| Part*Outside light | 9 | 0.26 | 0.03 | 4.29 | 0.021 |
| Operator*Outside light | 1 | 0.05 | 0.05 | 7.30 | 0.024 |
| Error | 9 | 0.06 | 0.01 | | |
| Total | 39 | 6999.65 | | | |
| x Not an exact F-test. | | | | | |
| S = 0.0814812 R-Sq = 100.00% R-Sq (adj) = 100.00% | | | | | |
| Variance Error Expected Mean Square for Each | | | | | |
| Source | Component | term | Term (using unrestricted model) | | |
| 1 Part | 194.401 | * | (7) + 2 (5) + 2 (4) + 4 (1) | | |
| 2 Operator | -0.003 | * | (7) + 10 (6) + 2 (4) + 20 (2) | | |
| 3 Outside light | -0.001 | * | (7) + 10 (6) + 2 (5) + 20 (3) | | |
| 4 Part*Operator | 0.013 | 7 | (7) + 2 (4) | | |
| 5 Part*Outside light | 0.011 | 7 | (7) + 2 (5) | | |
| 6 Operator*Outside light | 0.004 | 7 | (7) + 10 (6) | | |
| 7 Error | 0.007 | (7) | | | |

โดยการมีแสงภายนอกเหมือนเดิม ผลการวัดจะเปลี่ยนไป ซึ่งอาจตีความได้ว่าสีของชิ้นงานที่ต่างกันอาจมีการดูดซับหรือสะท้อนแสงที่แตกต่างกันทำให้ค่า L* ที่วัดได้แตกต่างกัน ส่วนอิทธิพลร่วมระหว่างผู้ทำการทดลองกับแสงภายนอกนั้น จากการสังเกตจากการทดลองพบว่าผู้ทำการทดลองแต่ละคนมีรูปร่างที่ต่างกัน เงามของรูปร่างที่มีผลต่อการบังแสงก็ต่างกัน ซึ่งอาจส่งผลให้แสงภายนอกที่ส่องผ่านเข้ามาตกกระทบชิ้นงานไม่เท่ากันในขณะที่เป็นชิ้นงานชิ้นเดียวกัน จึงมีผลทำให้ค่า L* ที่วัดได้ต่างกัน

ส่วนผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า a* และ b* ได้ผลว่าไม่มีอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมใดมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่า a* ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานและแสงภายนอกมีผลต่อค่า b* ของภาพถ่ายอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อพิจารณา Normal Probability Plot พบว่าค่าตกค้างของทั้งค่า L* (รูปที่ 7) และ a* b* มีการเรียงตัวเป็นเส้นตรง การกระจายตัวมีแนวโน้มใกล้เคียงแบบปกติ

ส่วน Versus Fits และ Versus Order พบว่าค่าตกค้างมีความแปรปรวนคงที่ดังนั้นจึงไม่ผิดปกติ



รูปที่ 7 Residual Plot ของค่า L*

ตัวอย่างการคำนวณค่าความแปรปรวนทั้งหมดในส่วน of ค่า L* จากสมการที่ 4 ได้ดังนี้

$$\sigma_{total}^2 = 194.401 + 0 + 0 + 0.013 + 0.011 + 0.004 + 0 + 0.007 = 194.425$$

และจากสมการที่ 1 ทำให้สามารถเปรียบเทียบความแปรปรวนทั้งหมดได้ตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตารางเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า L* a* b*

| ความแปรปรวน | L* | a* | b* |
|---|---------|---------|---------|
| σ_{total}^2 | 194.425 | 153.023 | 430.314 |
| σ_{gauge}^2 | 0.024 | 3.254 | 2.809 |
| σ_{part}^2 | 194.401 | 149.769 | 427.505 |
| $\% \sigma_{gauge}^2 / \sigma_{part}^2$ | 0.012% | 2.173% | 0.657% |

จากการคำนวณสามารถเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังตารางที่ 5 แสดงให้เห็นความแปรปรวนของระบบการวัดมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับความแปรปรวนเนื่องจากชิ้นงาน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับคำแนะนำสำหรับเกณฑ์การยอมรับโดยทั่วไปซึ่ง AIAG [7] ได้ระบุไว้ว่า ถ้าสัดส่วนความแปรปรวนต่ำกว่า 10% โดยทั่วไปแล้วถือว่าสามารถยอมรับได้

7. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาเพื่อการลดความผันแปรของการวัดคุณภาพสี โดยใช้ภาพถ่าย มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับค่าสีในระบบ L*a*b* ของภาพถ่ายทั้งหมด 10 ปัจจัย สามารถกรองปัจจัยเพื่อลดความผันแปรในเบื้องต้นเหลือ 6 ปัจจัย จากนั้นเมื่อวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของทั้ง 6 ปัจจัยพบว่าสามารถนำปัจจัยผู้ทำการทดลองและแสงภายนอกไปทดสอบความสามารถของระบบการวัดได้เนื่องจากเป็น

ปัจจัยที่ไม่มีผลต่อค่า L* a* b* ซึ่งการทดสอบความสามารถของระบบการวัดพบว่าอิทธิพลหลักไม่มีผลทำให้ค่า L* a* และ b* ที่วัดได้เปลี่ยนแปลงไป แต่มีอิทธิพลร่วมบางกลุ่มที่ทำให้ค่าสีที่วัดได้เปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจากการลดความผันแปรที่จะเกิดขึ้นทั้งหมดในระบบ พบว่าความผันแปรของเครื่องมือวัดมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับความผันแปรเนื่องจากชิ้นงานซึ่งสามารถยอมรับได้จึงถือได้ว่าระบบการวัดนี้สามารถใช้ได้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] D. W. Sun, "Inspecting pizza topping percentage and distribution by a computer vision method," Journal of Food Engineering, vol. 44, pp. 245-249, 2000.
- [2] T. Brosnan and D. W. Sun, "Improving quality inspection of food products by computer vision - a review," Journal of Food Engineering, vol. 61, pp. 3-16, 2004.
- [3] A. Rocha, D. C. Hauage, J. Wainer and S. Goldenstein, "Automatic fruit and vegetable classification from images," Computers and Electronics in Agriculture, vol. 70, pp. 96-104, 2010.
- [4] D. C. Montgomery, "Design and Analysis of Experiments," International Student Version, John Wiley & Sons, INC., The United States of America, 2009.
- [5] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, "การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) ประมวลผลด้วย Minitab 15," สรรพคุณส่งเสริมเทคโนโลยี, กรุงเทพฯ, หน้า 141-157, 2553.
- [6] พิรญาณ์ แก้วสุวรรณและชุมพล ขวงโย, "การวิเคราะห์ระบบการวัดของเครื่องมือวัดคุณภาพสีของอาหาร," การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, หน้า 548-552, 2554.
- [7] Automotive Industry Action Group (AIAG). "Measurement System Analysis (MSA)," 3rd edition, Michigan, pp. 77, 2002.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้