บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. กระดาษพิมพ์อิงก์เจ็ตน้ำหนัก 120 แกรม ของ Hi-jet
2. เครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตแคนนอน : Canon i9950
   - เครื่องพิมพ์ระบบหมึกพิมพ์ 8 สี ได้แก่ สี Red, สี Green, สี Black, สี Yellow, สี Magenta, สี Photo Magenta, สี Cyan และสี Photo Cyan
   - ความละเอียด 4,800 x 2,400 dpi
   - หมึกพิมพ์ประเภทสารให้สีชนิดสีย้อม
3. เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ X-Rite Spectrophotometer รุ่น SP62
4. โปรแกรม X-Rite®Color Master III
5. โปรแกรม Adobe Photoshop CS2
6. โปรแกรม Microsoft Office Excel 2003

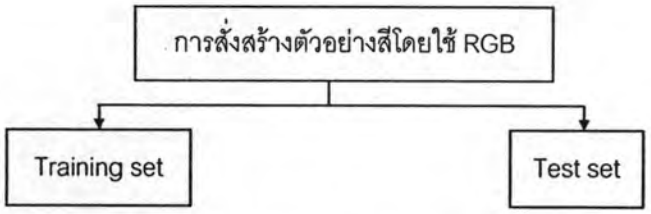
3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1.ขั้นตอนการเตรียมภาพต้นฉบับ 2.ขั้นตอนการหาลักษณะเฉพาะของเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ต 3.ขั้นตอนการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองลักษณะเฉพาะ โดยมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังนี้

3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมภาพต้นฉบับ

ภาพต้นฉบับที่ใช้ในการหาลักษณะเฉพาะและทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองลักษณะเฉพาะเป็นภาพที่ประกอบด้วยตัวอย่างสีหลายสี โดยชุดตัวอย่างสีแบ่งเป็น 2 ชุด ได้แก่ ชุดตัวอย่างสีที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองลักษณะเฉพาะ เรียกว่า Training set และชุดตัวอย่างสีทดสอบเรียกว่า Test set โดยในการทดลองนี้สร้างชุดตัวอย่างสีขึ้นจากหลักการการผสมสีแบบบวก ดังแสดงในแผนผังที่ 3.1 รายละเอียดในการสร้าง Training set และ Test set ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2.1.1 และ 3.2.1.2 ตามลำดับ

หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

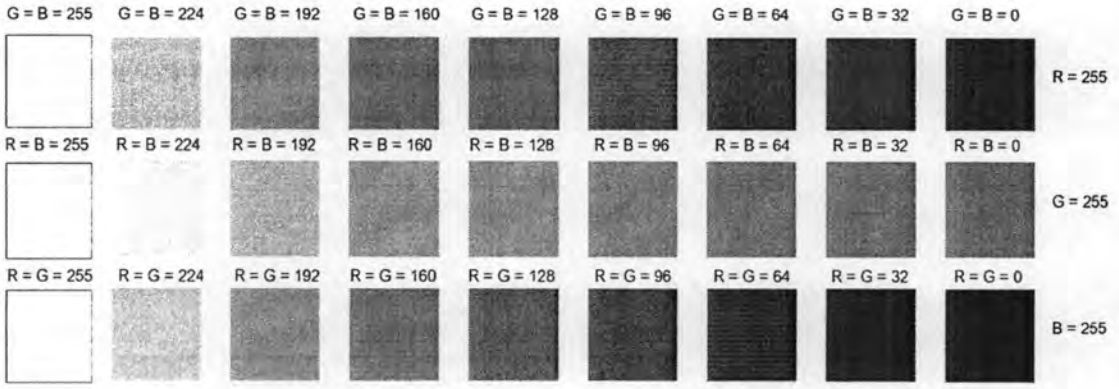


แผนผังที่ 3.1 การเตรียมภาพต้นฉบับ

3.2.1.1 การสร้างชุดตัวอย่างสีที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองลักษณะเฉพาะ (Training set)

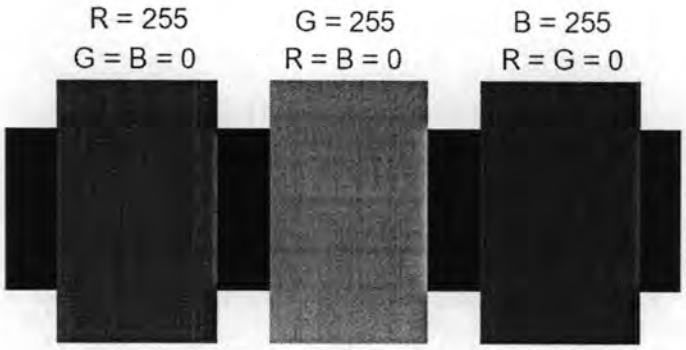
จากหลักการการผสมสีแบบบวกที่ประกอบด้วยแม่สี 3 สี ได้แก่ สีแดง (R) สีเขียว (G) และสีน้ำเงิน (B) ในการทดลองนี้จึงสร้างตัวอย่างสีที่ให้การพิมพ์สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินที่ระดับความเข้มข้นของค่าสี RGB แตกต่างกัน 9 ระดับ จากน้อยที่สุด คือ สีขาวของกระดาษและค่อย ๆ มีสีเพิ่มขึ้นจนมีความเข้มของสีนั้นมากที่สุด โดยมีรายละเอียดการสร้างตัวอย่างสีดังนี้

1. กำหนดค่าสี RGB ด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop CS2 เพื่อสร้างชุดตัวอย่างสีแดงที่มีความเข้มข้นของค่าสีแตกต่างกัน 9 ระดับ โดยการกำหนดค่าสีแดง (R) เท่ากับ 255 จากนั้นกำหนดค่าสีอีกสองสีที่เหลือ นั่นคือ สีเขียว (G) และสีน้ำเงิน (B) ในทุกตัวอย่างสีให้มีค่าสีลดหลั่นลงในระดับเท่า ๆ กันดังนี้ 255, 224, 192, 160, 128, 96, 64, 32 และ 0 ตามลำดับ และทำเช่นเดียวกันนี้เพื่อสร้างชุดตัวอย่างสีเขียว (G) และสีน้ำเงิน (B) ในลักษณะเดียวกัน ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ชุดตัวอย่างสี Training set

2. สร้างตัวอย่างสีแดง (R) สีเขียว (G) และสีน้ำเงิน (B) สำหรับพิมพ์ลงบนกระดาษดำ โดยกำหนดค่าสีนั้น ๆ เท่ากับ 255 และกำหนดอีกสองสีที่เหลือให้เท่ากับศูนย์ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างสีที่พิมพ์ลงบนกระดาษดำ

3. หาระดับความเข้มข้นของค่าสีแดง (R) โดยสามารถหาได้จากสูตร $\left(1-\frac{G+B}{2\times 255}\right)$ โดยการแทนค่าสีเขียว (G) และสีน้ำเงิน (B) จากค่าสี 255, 224, 192, 160, 128, 96, 64, 32 และ 0 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อคำนวณแล้วจะได้ความเข้มข้นของค่าสีแดงเท่ากับ 0, 0.122, 0.247, 0.373, 0.498, 0.624, 0.749, 0.875 และ 1 ตามลำดับ และในทำนองเดียวกันการหาค่าระดับความเข้มข้นของค่าสีเขียวต้องเปลี่ยนสูตรเป็น $\left(1-\frac{R+B}{2\times 255}\right)$ และการหาระดับความเข้มข้นของค่าสีน้ำเงินต้องเปลี่ยนสูตรเป็น $\left(1-\frac{R+G}{2\times 255}\right)$ ทำการคำนวณหาค่าระดับความเข้มข้นของค่าสีเขียวและสีน้ำเงินเหมือนกับการคำนวณหาค่าระดับความเข้มข้นของค่าสีแดง

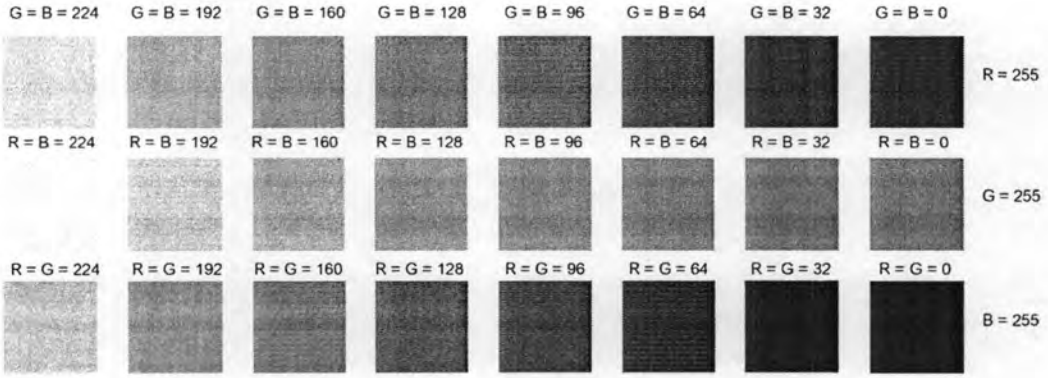
3.2.1.2 การสร้างชุดตัวอย่างสีทดสอบ (Test set)

เพื่อทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองลักษณะเฉพาะที่ได้สร้างขึ้น จึงได้สร้างชุดตัวอย่างสีทดสอบจำนวน 50 ตัวอย่างสี โดยทำการแบ่งชุดตัวอย่างสีทดสอบออกเป็น 3 ชุดตัวอย่างสี ได้แก่ 1.ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินจำนวน 24 ตัวอย่างสี เพื่อทดสอบความถูกต้องของฐานข้อมูลค่าสี RGB ที่นำมาสร้างแบบจำลองลักษณะเฉพาะ 2.ชุดตัวอย่างสีทดสอบ Gray scale จำนวน 8 ตัวอย่างสี เพื่อทดสอบความถูกต้องของการผสมค่าสี RGB ที่เท่า ๆ กัน 3.ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีผสมจำนวน 18 ตัวอย่างสี เพื่อทดสอบความถูกต้องของการผสมค่าสี RGB ในระดับที่ไม่เท่ากัน โดยกำหนดให้ตัวอย่างสีทดสอบมีการกระจาย

ตัวครอบคลุมสีในทุก ๆ เฉดสี ซึ่งมีรายละเอียดในการสร้างชุดตัวอย่างสีทดสอบทั้ง 3 ชุดตัวอย่างสีดังนี้

3.2.1.2.1 การสร้างชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน

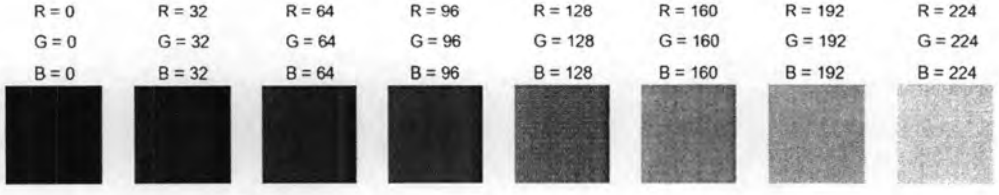
กำหนดค่าสี RGB ด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop CS2 เพื่อสร้างชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีแดงที่ความเข้มข้นของค่าสีต่างกัน 8 ระดับ โดยการกำหนดค่าสี R เท่ากับ 255 ในทุกตัวอย่างสี และกำหนดค่าสี G และ B ให้มีระดับค่าสีเท่า ๆ กันดังนี้ 224, 192, 160, 128, 96, 64, 32 และ 0 ตามลำดับ ในการสร้างชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีเขียว และสีน้ำเงินนั้นให้เปลี่ยนจากสีแดง (R) เป็นสีเขียว (G) และสีน้ำเงิน (B) ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน

3.2.1.2.2 การสร้างชุดตัวอย่างสีทดสอบ Gray scale

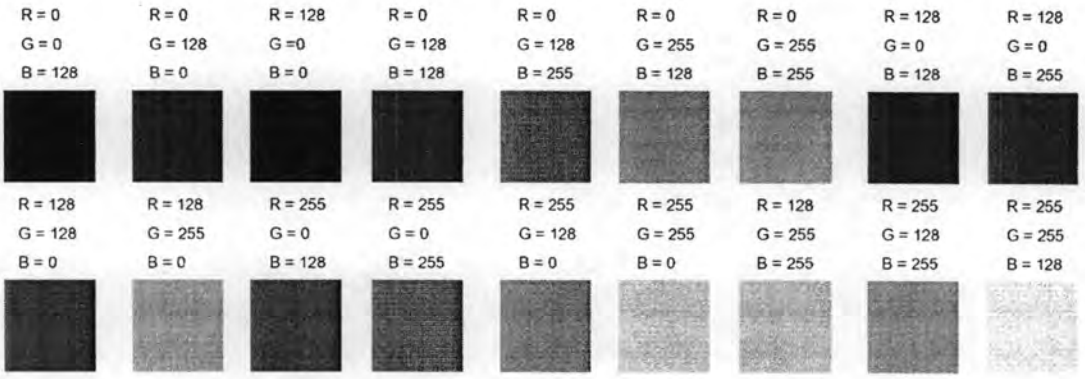
กำหนดค่าสี RGB ด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop CS2 เพื่อสร้างชุดตัวอย่างสีทดสอบ Gray scale ที่ความเข้มข้นของค่าสีต่างกัน 8 ระดับ โดยการกำหนดค่าสี RGB ในทุกตัวอย่างสีให้มีค่าสี RGB เท่า ๆ กันดังนี้ 0, 32, 64, 96, 128, 160, 192 และ 224 ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ชุดตัวอย่างสีทดสอบ Gray scale

3.2.1.2.3 การสร้างชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีผสม

กำหนดค่าสี RGB ด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop CS2 เพื่อสร้างชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีผสม โดยการกำหนดค่าสี RGB ที่เป็นสีผสมจำนวนทั้งหมด 18 ตัวอย่างสี ที่ไม่ซ้ำกับตัวอย่างสีในข้อ 3.2.1.2.1 และข้อ 3.2.1.2.2 ซึ่งในการกำหนดค่าสี RGB ของตัวอย่างสีของสีผสมให้มีค่าสีที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 0, 128 และ 255 ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีผสม

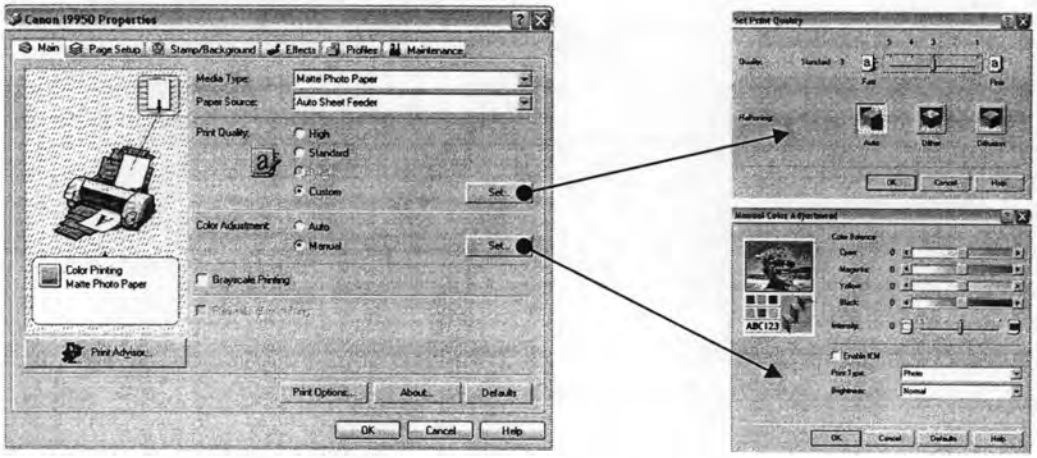
3.2.2 ขั้นตอนการหาลักษณะเฉพาะของเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ต

การหาลักษณะเฉพาะของเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตเป็นขั้นตอนการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีที่ขึ้นกับอุปกรณ์กับค่าสีที่ไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ เพื่อนำไปใช้กำหนดค่าสีที่ส่งไปยังเครื่องพิมพ์ให้ผลิตสีได้ตรงกับความต้องการ โดยมีขั้นตอนดังแผนผังที่ 3.2 และมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังนี้

แผนผังที่ 3.2 การหาลักษณะเฉพาะของเครื่องพิมพ์

I 23245214

1. พิมพ์ชุดตัวอย่างสี Training set จากขั้นตอน 3.2.1.1บนกระดาษพิมพ์อิงก์เจ็ตขาวดำที่ได้พิมพ์สีดำไว้ก่อน แล้วทิ้งไว้ให้แห้งเป็นเวลา 1 วัน โดยกำหนดสภาวะการพิมพ์ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การกำหนดสภาวะการพิมพ์

รายละเอียดการตั้งค่าการพิมพ์มีดังนี้

1) เลือกชนิดกระดาษ : Matte Photo Paper

2) เลือกคุณภาพกระดาษ : Custom

- ตั้งค่าคุณภาพมาตรฐาน โดยทั่วไปเลือกค่าเท่ากับ 3
- ตั้งค่าฮาล์ฟโทน โดยอัตโนมัติ

3) เลือกการปรับคุณภาพสี : Manual

- ตั้งค่าความสมดุลของสี Cyan, สี Magenta, สี Yellow และสี Black โดยเลือกค่าสีเท่ากับ 0
- ตั้งค่าความเข้มของสี โดยเลือกค่าสีเท่ากับ 0
- ไม่เลือก Enable ICM

2. วัดค่าสเปกตรัมของชุดตัวอย่างสีที่พิมพ์ ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ผ่านโปรแกรม X-Rite®Color Master III โดยกำหนดสภาวะการวัดสเปกตรัมดังนี้

1) ทำการคาลิเบรทเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ด้วยเครื่องมือคาลิเบรทที่ประกอบด้วย แผ่นเซรามิกสีขาว และช่องกลวงสีดำ ดังรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 เครื่องมือคาลิเบรทเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

2) กำหนดการวัดแบบรวมแสงสเปกคิวลา

3) วัดค่าสเปกตรัมทุก ๆ 10 นาโนเมตร ตั้งแต่ช่วงความยาวคลื่น 400 - 700 นาโนเมตร

3. นำค่าสเปกตรัมมาสร้างแบบจำลองลักษณะเฉพาะของเครื่องพิมพ์จากสมการคูเบลคา-มังก์ ซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณ 3 ขั้นตอน คือ

1) ขั้นตอนการคำนวณหาค่าการสะท้อนแสงของชั้นหมึกพิมพ์ทึบแสง โดยมีกระบวนการดังแสดงในแผนผังที่ 3.3

2) ขั้นตอนการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (K) และค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงแสง (S) ของชั้นหมึกพิมพ์ โดยมีกระบวนการดังแสดงในแผนผังที่ 3.4

3) ขั้นตอนการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (K_R, K_G และ K_B ของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ตามลำดับ) กับค่าความเข้มข้นของค่าสี RGB ที่สั่งพิมพ์ (C_R, C_G และ C_B ตามลำดับ) มีขั้นตอนดังแผนผังที่ 3.5 โดยกำหนดความสัมพันธ์สมการที่ 3.1 - 3.3 ทำการแก้สมการด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (least-square method) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ a_i, b_i และ c_i (i=1,2,..,7) ที่ใช้เป็นฐานข้อมูลในการทำนายค่าสเปกตรัมต่อไป

$$K_R = a_1C_R + a_2C_G + a_3C_B + a_4C_RC_GC_B + a_5C^3_R + a_6C^3_G + a_7C^3_B \quad (3.1)$$

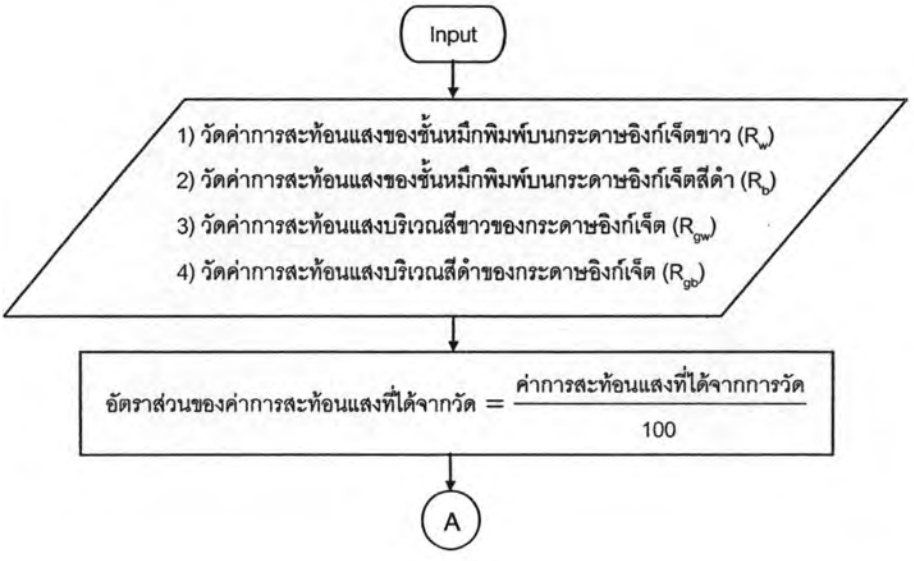
$$K_G = b_1C_R + b_2C_G + b_3C_B + b_4C_RC_GC_B + b_5C^3_R + b_6C^3_G + b_7C^3_B \quad (3.2)$$

$$K_B = c_1C_R + c_2C_G + c_3C_B + c_4C_RC_GC_B + c_5C^3_R + c_6C^3_G + c_7C^3_B \quad (3.3)$$

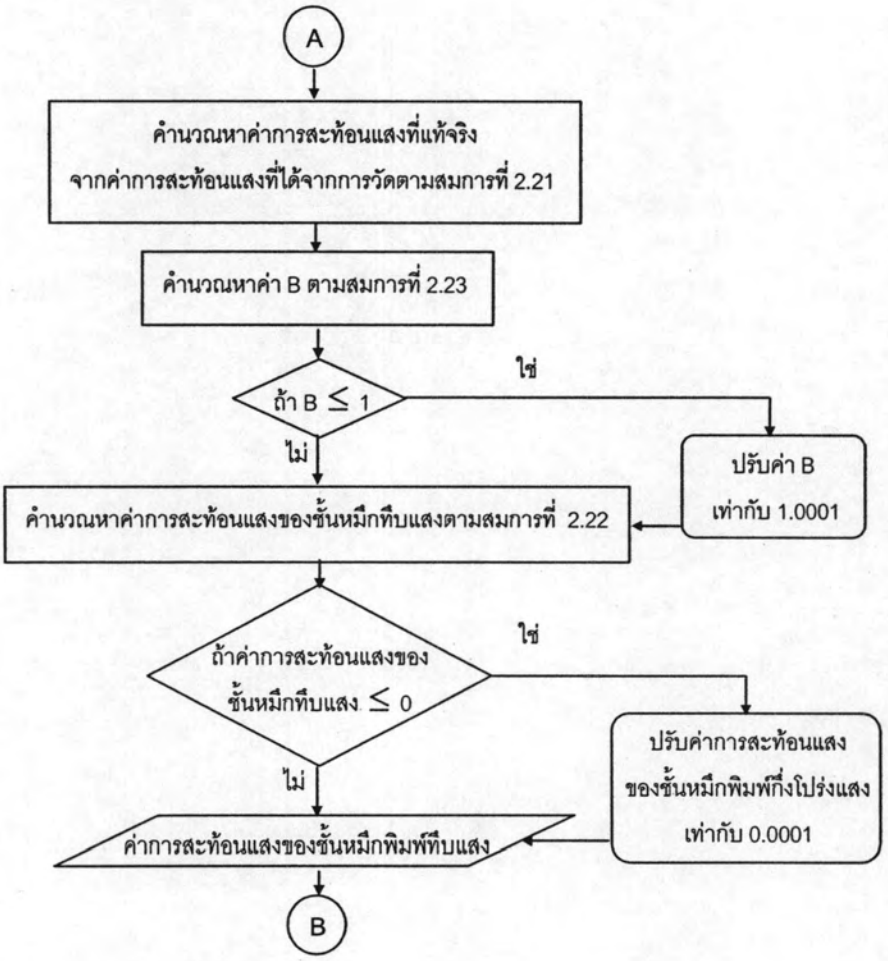
ในหมึกพิมพ์ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของค่าสีมีความสัมพันธ์กันในลักษณะเชิงเส้น เมื่อความเข้มข้นของค่าสีเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นด้วย จึงสามารถกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_R, K_G และ K_B ที่ได้จากสมการที่ 3.1 - 3.3 กับค่าความเข้มข้นของค่าสี C_R, C_Gและ C_B เป็นดังนี้ $K_R = aC_R$, $K_G = bC_G$ และ $K_B = cC_B$ โดยทำการแก้สมการเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ a, b และ c ที่ใช้เป็นฐานข้อมูลในการทำนายค่าสี RGB ต่อไป ซึ่งจากความสัมพันธ์นี้ทำให้สามารถคำนวณหาความเข้มข้นของค่าสีของแต่ละสีที่ต้องใช้ เพื่อการทำนายค่าสี ดังสมการที่ 3.4 โดยสามารถหาค่า K_M และค่า S_M ของหมึกพิมพ์สีผสม และคำนวณหาค่าสเปกตรัมของสีที่ทำนายต่อไป

$$K_M = K_R + K_G + K_B \quad (3.4)$$

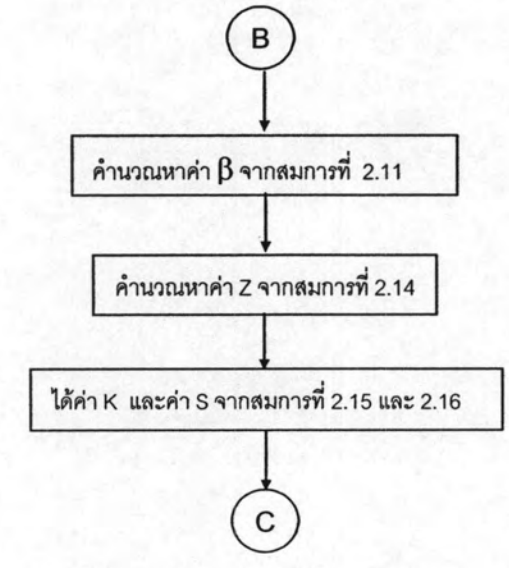
$$S_M = S_R + S_G + S_B \quad (3.5)$$



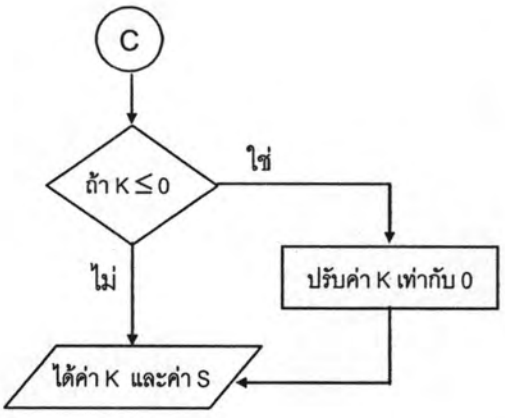
แผนผังที่ 3.3 ขั้นตอนการคำนวณหาค่าการสะท้อนแสงของชั้นหมึกพิมพ์ทึบแสง



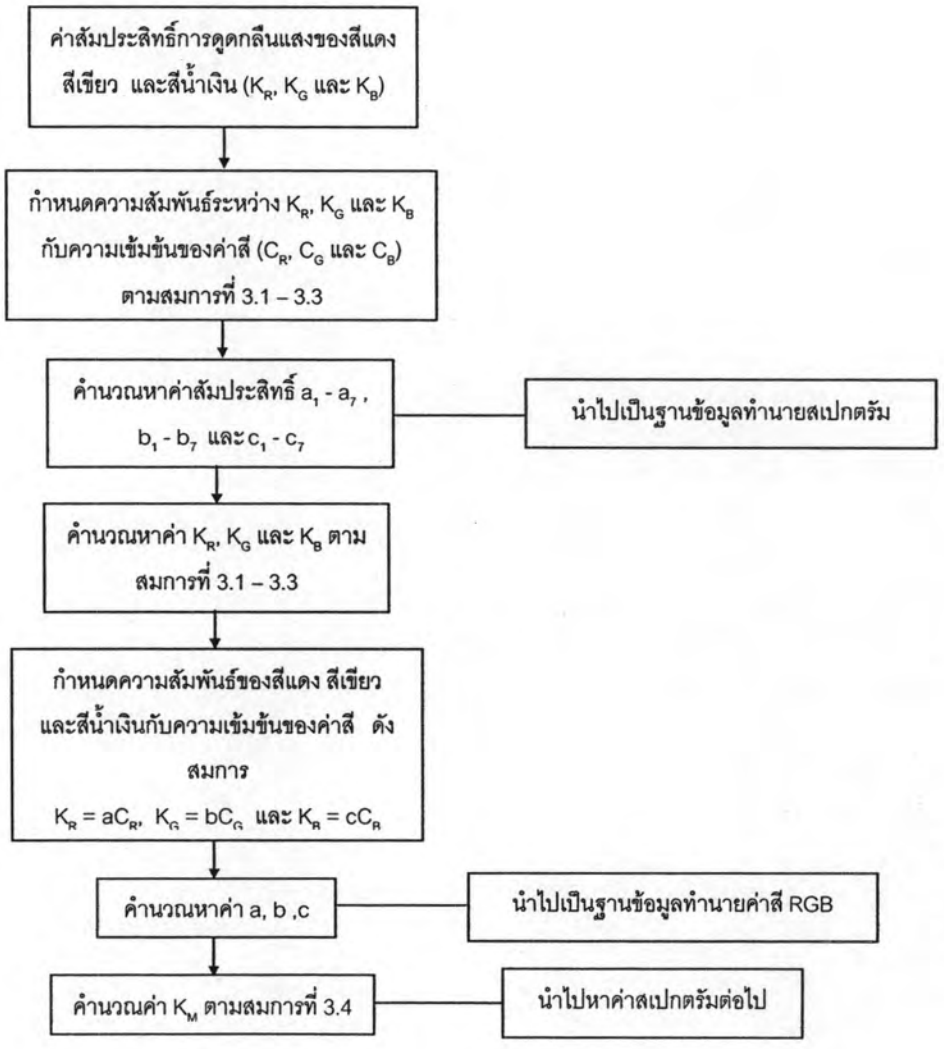
แผนผังที่ 3.3 (ต่อ)



แผงผังที่ 3.4 ขั้นตอนการคำนวณหาค่า K และ S



แผงผังที่ 3.4 (ต่อ)



แผนผังที่ 3.5 ขั้นตอนการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง กับค่าความเข้มข้นของค่าสี RGB

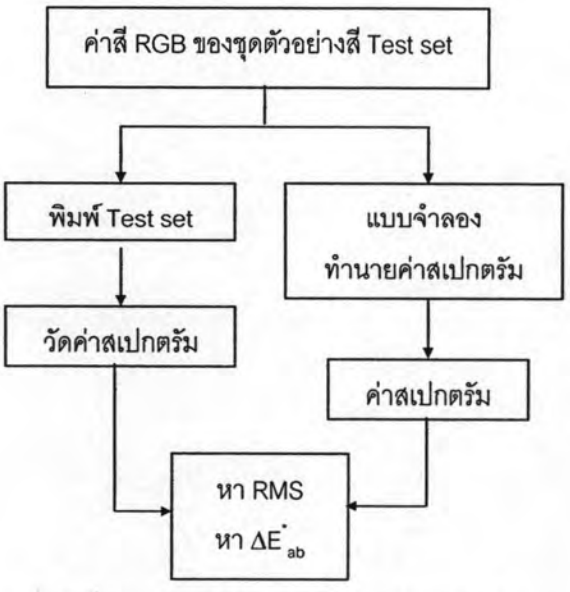
3.2.3 ขั้นตอนการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองลักษณะเฉพาะ

นำแบบจำลองลักษณะเฉพาะที่มีพื้นฐานมาจากสมการคูเบลคา-มังก์ที่ได้จากขั้นตอน 3.2.2 มาทดสอบความถูกต้องในการทำนายค่าสี RGB และค่าสเปกตรัมของสีสิ่งพิมพ์ที่ได้ ซึ่งความถูกต้องในการทำนายค่าสีจะทดสอบด้วยชุดตัวอย่างสี Test set ซึ่งมีการตั้งสภาวะการพิมพ์และการวัดค่าสเปกตรัมเหมือนกับขั้นตอนการหาลักษณะเฉพาะทุกประการ โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

3.2.3.1 การทดสอบการทำนายค่าสเปกตรัม

แผนผังที่ 3.6 แสดงการทดสอบการทำนายค่าสเปกตรัมของแบบจำลองลักษณะเฉพาะของเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ต โดยมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังนี้

1. นำค่าสี RGB ของชุดตัวอย่างสี (Test set) จากขั้นตอน 3.2.1.2 มาผ่านแบบจำลองทำนายค่าสเปกตรัม โดยการคำนวณย้อนกลับของขั้นตอนที่ 3.2.2 ข้อ 3 ตามแผนผังที่ 3.3 และ 3.4 ได้ค่าสเปกตรัมจากการทำนาย ดังแสดงในแผนผังที่ 3.6



แผนผังที่ 3.6 การทดสอบการทำนายค่าสเปกตรัม

2. พิมพ์ค่าสี RGB ของชุดตัวอย่างสี (Test set) บนกระดาษอิงก์เจ็ต โดยกำหนดสภาวะการพิมพ์ดังขั้นตอนที่ 3.2.2 ข้อ 1

3. วัดค่าสเปกตรัมของภาพพิมพ์ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยกำหนดสภาวะการวัดค่าสเปกตรัมดังขั้นตอนที่ 3.2.2 ข้อ 2

4. เปรียบเทียบค่าสเปกตรัมที่ได้จากการทำนาย (ข้อ 1) กับค่าการวัด (ข้อ 3) โดยการคำนวณหาค่าความแตกต่างสี (ΔE^{*}_{ab}) โดยการแปลงค่าสเปกตรัมไปเป็นค่า XYZ ที่มุมการมองมาตรฐาน 2 องศา ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65, A และ F11 ด้วยสมการที่ 2.27 - 2.29 จากนั้นแปลงค่า XYZ เป็นค่า $L^{*}a^{*}b^{*}$ ด้วยสมการที่ 2.31 - 2.33 และหาค่าเฉลี่ย ΔE^{*}_{ab} ระหว่างค่าทำนายกับค่าการวัด และคำนวณหาค่าคลาดเคลื่อนรากกำลังสองเฉลี่ย (RMS) ด้วยสมการที่ 2.41

3.2.3.2 การทดสอบการทำนายค่าสี RGB

แผนผังที่ 3.7 แสดงการทดสอบการทำนายค่าสี RGB ของแบบจำลองลักษณะเฉพาะ ซึ่งมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังนี้

1. พิมพ์ชุดตัวอย่างสี (Test set) จากขั้นตอน 3.2.1.2 บนกระดาษพิมพ์อิงก์เจ็ต โดยกำหนดสภาวะการพิมพ์ดังขั้นตอนที่ 3.2.2 ข้อ 1 ดังแสดงในแผนผังที่ 3.7

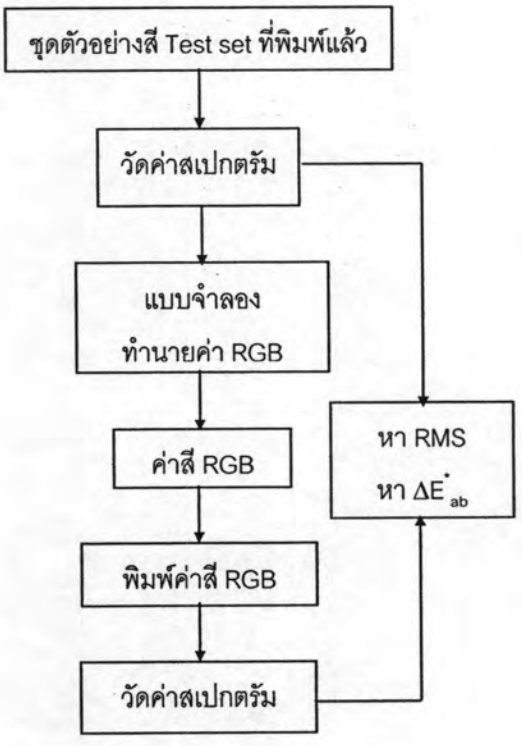
2. วัดค่าสเปกตรัมของภาพพิมพ์ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยกำหนดสภาวะการวัดค่าสเปกตรัมดังขั้นตอนที่ 3.2.2 ข้อ 2

3. นำค่าสเปกตรัมที่วัดได้จากข้อ 2 ผ่านแบบจำลองทำนายค่าสี RGB โดยการกำหนดค่าความเข้มข้นของค่าสีเริ่มต้นของค่าสี RGB เท่ากับ 1 เพื่อทำการคำนวณย้อนกลับในขั้นตอนที่ 3.2.2 ข้อ 3 ตามแผนผังที่ 3.3 และ3.4 ทำการปรับค่าความเข้มข้นของสี RGB ซึ่งจะได้ค่าสเปกตรัมที่ทำนายเปรียบเทียบกับค่าสเปกตรัมที่วัด (ข้อ 2) เพื่อให้ได้ค่า ΔE^{*}_{ab} ที่มีค่าน้อยที่สุด และนำค่าความเข้มข้นของค่าสี RGB แปลงเป็นค่าสี RGB โดยการคำนวณจากค่าความเข้มข้นของค่าสี RGB คูณกับ 255 จะได้ค่าสีแดง (R) สีเขียว (G) และสีน้ำเงิน (B)

4. นำค่าสี RGB (ข้อ3) มาสร้างชุดตัวอย่างสีที่ผ่านการทำนายค่าสี RGB ด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop CS2 และพิมพ์ชุดตัวอย่างสีที่ผ่านการทำนายค่าสี RGB บนกระดาษพิมพ์อิงก์เจ็ต โดยกำหนดสภาวะการพิมพ์ดังขั้นตอนที่ 3.2.2 ข้อ 1

5. วัดค่าสเปกตรัมของภาพพิมพ์ที่ได้จากข้อ 4 ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยกำหนดสภาวะการวัดค่าสเปกตรัมดังขั้นตอนที่ 3.2.2 ข้อ 2

6. เปรียบเทียบค่าสเปกตรัมที่ได้จากการวัดจากต้นฉบับ (ข้อ 2) กับค่าการวัดจากภาพพิมพ์ที่ได้จากการทำนาย (ข้อ 5) โดยการคำนวณหาค่าความแตกต่างสี (ΔE^*_{ab}) โดยการแปลงค่าสเปกตรัมไปเป็นค่า XYZ ที่มุมการมองมาตรฐาน 2 องศา ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65, A และ F11 ด้วยสมการที่ 2.27 - 2.29 จากนั้นแปลงค่า XYZ เป็นค่า $L^*a^*b^*$ ด้วยสมการที่ 2.31 - 2.33 และหาค่าเฉลี่ย ΔE^*_{ab} ระหว่างค่าทำนายกับค่าการวัด และคำนวณหาค่าคลาดเคลื่อนรากกำลังสองเฉลี่ย (RMS) ด้วยสมการที่ 2.41



แผนผังที่ 3.7 การทดสอบการทำนายค่าสี RGB