การหาลักษณะเฉพาะของเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตแปดสีบนพื้นฐานของสมการคูเบลคา-มังก์

นางสาวอารีรัตน์ ปฐมชัยวาลย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHARACTERIZATION OF EIGHT-COLOR INK JET PRINTER BASED ON KUBELKA-MUNK EQUATION

MISS AREERAT PATHOMCHAIWAL

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Imaging Technology

Department of Imaging and Printing Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkong University

491325

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การหาลักษณะเฉพาะของเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตแปดสีบนพื้นฐานของสมการคูเบลคา-มังก์
โดย	นางสาวอารีรัตน์ ปฐมชัยวาลย์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. สุจิตรา สื่อประสาร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญดา เกตุเมฆ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรัญ หาญสืบสาย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. สุจิตรา สื่อประสาร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญดา เกตุเมฆ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ พรทวี พึ่งรัศมี)

อารีรัตน์ ปฐมชัยวาลย์ : การหาลักษณะเฉพาะของเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตแปดสีบนพื้นฐานของสมการคูเบลคา-มังก์. (CHARACTERIZATION OF EIGHT-COLOR INK JET PRINTER BASED ON KUBELKA-MUNK EQUATION) อ.ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. สุจิตรา สื่อประสาร, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญดา เกตุเมฆ, 93 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาลักษณะเฉพาะ (Characterization) ของเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตจากข้อมูลสเปกตรัมด้วยสมการคูเบลคา-มังก์ โดยทำการสร้างแบบจำลองลักษณะเฉพาะจากชุดตัวอย่างสี (Training set) ที่ประกอบด้วยสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินที่ระดับความเข้มข้นของค่าสีต่าง ๆ จำนวน 9 ระดับ ที่ 0, 0.122, 0.247, 0.373, 0.498, 0.624, 0.749, 0.875 และ 1 และทำการวัดค่าสเปกตรัมของภาพพิมพ์ จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี RGB ที่กำหนดเพื่อสั่งพิมพ์ และค่าสเปกตรัมของภาพพิมพ์ โดยผ่านทางความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (K) ของหมึกพิมพ์ที่คำนวณได้จากสมการคูเบลคา-มังก์กับความเข้มข้นของค่าสี RGB และทำการทดสอบความถูกต้องในการทำนายค่าสีด้วยชุดตัวอย่างสีทดสอบ (Test set) จำนวน 50 สี ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65, A และ F11 ผลการทดสอบความถูกต้องของการทำนายค่าสเปกตรัมจากค่าสี RGB พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 33 – 36 ΔE^{*}_{ab} และความถูกต้องในการทำนายค่าสี RGB จากค่าสเปกตรัม มีค่าอยู่ระหว่าง 33 – 34 ΔE^{*}_{ab} ซึ่งค่าความแตกต่างสีภายใต้ทั้ง 3 แหล่งกำเนิดแสง มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองลักษณะเฉพาะนี้ช่วยลดปัญหาการเกิดเมแทเมอริซึมเนื่องด้วยแหล่งกำเนิดแสงได้

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2549 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

487255283 : MAJOR IMAGING TECHNOLOGY
KEY WORD : SPECTRAL DATA / CHARACTERIZATION / INK JET PRINTER

AREERAT PATHOMCHAIWAL : CHARACTERIZATION OF EIGHT-COLOR INK JET PRINTER BASED ON KUBELKA-MUNK EQUATION. THESIS ADVISOR : SUCHITRA SUEEPRASAN,Ph.D., THESIS COADVISOR : ASST. PROF. PICHAYADA KATEMAKE,Ph.D., 93 pp.

This research aimed at characterizing an 8-color ink jet printer based on spectral reflectance data estimated from Kubelka-Munk equations. The training set was comprised of red, green and blue color patches printed at 9 different concentrations: 0, 0.122, 0.247, 0.373, 0.498, 0.624, 0.749, 0.875 and 1. The spectral data of prints were measured with a spectrophotometer. The relationship between the spectral data and RGB digital values was established through the relationship between the absorption coefficients (K) calculated from Kubelka-Munk equations and the concentrations of RGB values. The accuracy of the characterization model was investigated using a test set containing 50 color patches. CIELAB color difference between the predicted values and the measured values was calculated for 3 different illuminants: D65, A and F11. For the accuracy of spectral data prediction the ΔE^{*}_{ab} was found to be 33 – 36. In the case of RGB prediction, it was found to be 33 – 34 ΔE^{*}_{ab}. The results showed that the color differences were not much different for 3 different illuminants, revealing that this method helped reducing illuminant Metamerism.

Department of Imaging and Printing Technology Student's Signature Areerat P.
Field of Study Imaging Technology Advisor's Signature Suchitra S.
Academic Year 2006 Co-advisor's Signature Pichayada K.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ ดร. สุจิตรา สื่อประสาร ที่ให้ความรู้ตลอดจนแนะนำแนวทางในการแก้ปัญหาต่าง ๆ และผู้ช่วยศาสตรจารย์ ดร. พิชญดา เกตุเมฆ ที่ให้ความรู้และคำแนะนำในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้โอกาสทางการศึกษาที่ดี ความห่วงใย และกำลังใจที่ให้มาโดยตลอด ขอขอบคุณพี่ชาย น้องชายที่ให้กำลังใจเสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญภาพ..... ฎ

สารบัญแผนผัง..... ฒ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 4

2.1 แนวคิดและทฤษฎี..... 4

2.1.1 การมองเห็นสี..... 4

2.1.1.1 แหล่งกำเนิดแสง..... 4

2.1.1.2 วัตถุ..... 6

2.1.1.3 ตา..... 9

2.1.2 เมแทเมอริซึม..... 10

2.1.2.1 เมแทเมอริซึมเนื่องด้วยแหล่งกำเนิดแสง..... 11

2.1.2.2 เมแทเมอริซึมเนื่องด้วยผู้สังเกตการณ์..... 11

2.1.2.3 เมแทเมอริซึมเนื่องด้วยระยะทาง..... 11

2.1.2.4 เมแทเมอริซึมเนื่องด้วยการมุมมอง..... 11

2.1.3 การผสมสี..... 12

2.1.3.1 การผสมสีแบบบวก..... 12

2.1.3.2 การผสมสีแบบลบ..... 12

2.1.4 เทคโนโลยีของระบบการพิมพ์อิงก์เจ็ต..... 13

2.1.4.1 ประเภทของเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ต..... 13

หน้า

2.1.4.2 ประเภทของสารให้สีที่ใช้ในหมึกพิมพ์ 15
2.1.4.3 การแห้งตัวของหมึกพิมพ์ 15
2.1.4.4 ความละเอียดในการพิมพ์ 15
2.1.4.5 กระดาษพิมพ์อิงก์เจ็ต 16
2.1.5 การหาลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์ 16
2.1.5.1 Colour-mixing models 16
2.1.5.2 Regression 17
2.1.5.3 Look-up table with interpolation 17
2.1.5.4 Cognitive methods 17
2.1.6 ทฤษฎีคูเบลคา-มังก์ 18
2.1.7 ระบบการวัดสี CIE 23
2.1.7.1 แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐานซีไออี 23
2.1.7.2 วัตถุมีสี 23
2.1.7.3 ผู้สังเกตการณ์มาตรฐานซีไออี 24
2.1.8 ค่าไตรสติมูลัส 24
2.1.9 ปริภูมิสี L*a*b* 25
2.1.10 ความแตกต่างของสี 27
2.1.11 การหาค่ารากกำลังสองเฉลี่ย 28
2.1.12 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ 28
2.1.12.1 ค่าเฉลี่ย 28
2.1.12.2 ค่ามัธยฐาน 29
2.1.12.3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 29
2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 29
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 31
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย 31
3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย 31
3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมภาพต้นฉบับ 31
3.2.1.1 การสร้างชุดตัวอย่างสีที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองลักษณะเฉพาะ... 32

หน้า

3.2.1.2 การสร้างชุดตัวอย่างสีทดสอบ 33
3.2.1.2.1 การสร้างชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน 34
3.2.1.2.2 การสร้างชุดตัวอย่างสีทดสอบ Gray scale 34
3.2.1.2.3 การสร้างชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีผสม 35
3.2.2 ขั้นตอนการหาลักษณะเฉพาะของเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ต 35
3.2.3 ขั้นตอนการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองลักษณะเฉพาะ 41
3.2.3.1 การทดสอบการทำนายค่าสเปกตรัม 41
3.2.3.2 การทดสอบการทำนายค่าสี RGB 42
บทที่ 4 ผลการทดลอง และอภิปรายผล 44
4.1 ผลการหาลักษณะเฉพาะของเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ต 44
4.2 ผลการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองลักษณะเฉพาะ 50
4.2.1 ผลการทดสอบการทำนายค่าสเปกตรัม 50
4.2.1.1 ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีแดง 50
4.2.1.2 ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีเขียว 53
4.2.1.3 ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีน้ำเงิน 56
4.2.1.4 ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีผสม 58
4.2.1.5 ชุดตัวอย่างสีทดสอบ Gray scale 61
4.2.1.6 ผลการทดสอบรวมทุกชุดตัวอย่างสี 63
4.2.2 ผลการทดสอบการทำนายค่าสี RGB 64
4.2.2.1 ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีแดงจากหมึกพิมพ์ชุดที่สอง 64
4.2.2.2 ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีเขียวจากหมึกพิมพ์ชุดที่สอง 67
4.2.2.3 ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีน้ำเงินจากหมึกพิมพ์ชุดที่สอง 69
4.2.2.4 ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีผสมจากหมึกพิมพ์ชุดที่สอง 72
4.2.2.5 ชุดตัวอย่างสีทดสอบ Gray scale ของหมึกพิมพ์ชุดที่สอง 74
4.2.2.6 ผลการทดสอบรวมทุกชุดตัวอย่างสี 77
4.3 ความแตกต่างระหว่างหมึกพิมพ์ชุดที่หนึ่งกับหมึกพิมพ์ชุดที่สอง 78

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ..... 80
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 80
5.1.1 ความถูกต้องของแบบจำลองลักษณะเฉพาะในการทำนายค่าสเปกตรัม..... 80
5.1.2 ความถูกต้องของแบบจำลองลักษณะเฉพาะในการทำนายค่าสี RGB..... 81
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 82
รายการอ้างอิง..... 83
ภาคผนวก ก..... 85
ภาคผนวก ข..... 92
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 93

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 ค่า ΔE^*_{ab} และค่า RMS ของสีแดง ในการทำนายค่าสเปกตรัม..... 53

ตารางที่ 4.2 ค่า ΔE^*_{ab} และค่า RMS ของสีเขียว ในการทำนายค่าสเปกตรัม..... 55

ตารางที่ 4.3 ค่า ΔE^*_{ab} และค่า RMS ของสีน้ำเงิน ในการทำนายค่าสเปกตรัม..... 58

ตารางที่ 4.4 ค่า ΔE^*_{ab} และค่า RMS ของสีผสม ในการทำนายค่าสเปกตรัม..... 60

ตารางที่ 4.5 ค่า ΔE^*_{ab} และค่า RMS ของ Gray scale ในการทำนายค่าสเปกตรัม..... 63

ตารางที่ 4.6 ค่า ΔE^*_{ab} ของชุดตัวอย่างสีทดสอบ ในการทำนายค่าสเปกตรัม..... 64

ตารางที่ 4.7 ค่า ΔE^*_{ab} และค่า RMS ของสีแดง ในการทำนายค่าสี RGB..... 66

ตารางที่ 4.8 ค่า ΔE^*_{ab} และค่า RMS ของสีเขียว ในทำนายค่าสี RGB..... 69

ตารางที่ 4.9 ค่า ΔE^*_{ab} และค่า RMS ของสีน้ำเงิน ในทำนายค่าสี RGB..... 71

ตารางที่ 4.10 ค่า ΔE^*_{ab} และค่า RMS ของชุดตัวอย่างสีผสม ในการทำนายค่าสี RGB..... 74

ตารางที่ 4.11 ค่า ΔE^*_{ab} และค่า RMS ของ Gray scale ในทำนายค่าสี RGB..... 77

ตารางที่ 4.12 ค่า ΔE^*_{ab} ของชุดตัวอย่างสีทดสอบ ในทำนายค่าสี RGB..... 77

ตารางที่ 4.13 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างหมึกพิมพ์ชุดที่หนึ่งและชุดที่สอง..... 79

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 กระบวนการมองเห็นสี..... 4
รูปที่ 2.2 สเปกตรัม..... 5
รูปที่ 2.3 การสะท้อนของแสงที่วัตถุผิวเรียบ..... 7
รูปที่ 2.4 การสะท้อนของแสงที่วัตถุผิวขรุขระ..... 7
รูปที่ 2.5 การสะท้อนของแสง..... 7
รูปที่ 2.6 การกระเจิงแสง..... 8
รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของนัยน์ตา..... 10
รูปที่ 2.8 การผสมสีแบบบวก..... 12
รูปที่ 2.9 การผสมสีแบบลบ..... 13
รูปที่ 2.10 การทำงานของเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตแบบ Thermal..... 14
รูปที่ 2.11 การทำงานของเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตแบบ Piezo Electric..... 14
รูปที่ 2.12 การเดินทางของแสงในชั้นหมึกพิมพ์และวัสดุพิมพ์..... 19
รูปที่ 2.13 การเดินทางของแสงจากอากาศไปชั้นหมึกพิมพ์..... 21
รูปที่ 2.14 ผู้สังเกตการณ์ตามมาตรฐานซีไออีที่มุมการมอง 2° และผู้สังเกตการณ์ตามมาตรฐานซีไออีที่มุมการมอง 10° 24
รูปที่ 2.15 ปริภูมิสี L*a*b*..... 27
รูปที่ 3.1 ชุดตัวอย่างสี Training set..... 32
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างสีที่พิมพ์ลงบนกระดาษดำ..... 33
รูปที่ 3.3 ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน..... 34
รูปที่ 3.4 ชุดตัวอย่างสีทดสอบ Gray scale 34
รูปที่ 3.5 ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีผสม..... 35
รูปที่ 3.6 การกำหนดสภาวะการพิมพ์..... 36
รูปที่ 3.7 เครื่องมือคาลิเบรทเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์..... 37
รูปที่ 4.1 การสะท้อนแสงของสีแดงที่ความเข้มข้นของค่าสีต่าง ๆ บนกระดาษขาว..... 44
รูปที่ 4.2 การสะท้อนแสงของสีเขียวที่ความเข้มข้นของค่าสีต่าง ๆ บนกระดาษขาว..... 45
รูปที่ 4.3 การสะท้อนแสงของสีน้ำเงินที่ความเข้มข้นของค่าสีต่าง ๆ บนกระดาษขาว..... 46

หน้า

รูปที่ 4.4 การสะท้อนแสงของกระดาษพิมพ์ในบริเวณสีขาว ($R_{g,w}$) และสีดำของวัสดุพิมพ์ ($R_{g,b}$) บริเวณของแม่สีบนกระดาษขาว(R_w)และบริเวณของแม่สีบนกระดาษดำ(R_b)..... 47
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของค่าสีแดง.. 48
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของค่าสีเขียว 49
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของค่าสีน้ำเงิน..... 50
รูปที่ 4.8 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีแดง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65..... 51
รูปที่ 4.9 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีแดง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A..... 52
รูปที่ 4.10 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีแดง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11.... 52
รูปที่ 4.11 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีเขียว ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65.. 54
รูปที่ 4.12 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีเขียว ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A..... 54
รูปที่ 4.13 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีเขียว ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11... 55
รูปที่ 4.14 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีน้ำเงิน ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65 56
รูปที่ 4.15 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีน้ำเงิน ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A.... 57
รูปที่ 4.16 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีน้ำเงิน ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11 57
รูปที่ 4.17 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีผสม ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65.. 59
รูปที่ 4.18 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีผสม ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A..... 59
รูปที่ 4.19 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีผสม ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11... 60
รูปที่ 4.20 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของ Gray scaleภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65..... 61
รูปที่ 4.21 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของ Gray scaleภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A..... 62
รูปที่ 4.22 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของ Gray scaleภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11..... 62
รูปที่ 4.23 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีแดงที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65..... 65
รูปที่ 4.24 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีแดงที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A..... 65

หน้า

รูปที่ 4.25 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีแดงที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11 66
รูปที่ 4.26 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีเขียวที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65 67
รูปที่ 4.27 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีเขียวที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A 68
รูปที่ 4.28 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีเขียวที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11 68
รูปที่ 4.29 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีน้ำเงินที่พิมพ์ด้วยหมึกชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65 70
รูปที่ 4.30 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีน้ำเงินที่พิมพ์ด้วยหมึกชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A 70
รูปที่ 4.31 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีน้ำเงินที่พิมพ์ด้วยหมึกชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11 71
รูปที่ 4.32 การกระจายตัวของชุดทดสอบตัวอย่างสีของสีผสมที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65 72
รูปที่ 4.33 การกระจายตัวของชุดทดสอบตัวอย่างสีของสีผสมที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A 73
รูปที่ 4.34 การกระจายตัวของชุดทดสอบตัวอย่างสีของสีผสมที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11 73
รูปที่ 4.35 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบ Gray scale ที่พิมพ์ด้วยหมึกชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65 75
รูปที่ 4.36 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบ Gray scale ที่พิมพ์ด้วยหมึกชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A 75
รูปที่ 4.37 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบ Gray scale ที่พิมพ์ด้วยหมึกชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11 76

สารบัญแผนผัง

หน้า

แผนผังที่ 3.1 การเตรียมภาพต้นฉบับ..... 32

แผนผังที่ 3.2 การหาลักษณะเฉพาะของเครื่องพิมพ์..... 35

แผนผังที่ 3.3 ขั้นตอนการคำนวณหาค่าการสะท้อนแสงของชั้นหมึกพิมพ์ทึบแสง..... 39

แผงผังที่ 3.4 ขั้นตอนการคำนวณหาค่า K และ S..... 38

แผนผังที่ 3.5 ขั้นตอนการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงกับ
ค่าความเข้มข้นของค่าสี RGB..... 40

แผนผังที่ 3.6 การทดสอบการทำนายค่าสเปกตรัม..... 41

แผนผังที่ 3.7 การทดสอบการทำนายค่าสี RGB..... 43

แผนผังที่ 4.1 ขั้นตอนการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างหมึกพิมพ์ชุดที่หนึ่งและชุดที่สอง 79