หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

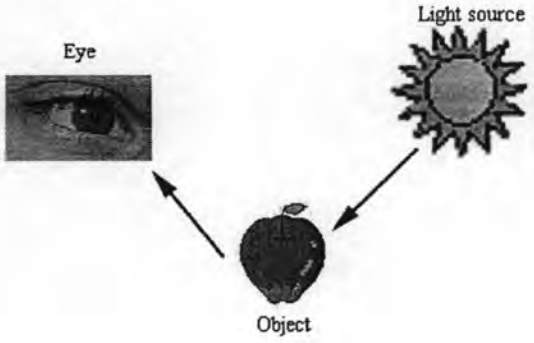
บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

งานวิจัยนี้เป็นการหาลักษณะเฉพาะของเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตแปดสีบนพื้นฐานของสมการคูเบลคา-มังก์ เพื่อให้สามารถทำนายการผลิตสีหรือกำหนดค่าสีของเครื่องพิมพ์ได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นทฤษฎีสำคัญที่เกี่ยวข้องประกอบไปด้วยการมองเห็นสีของมนุษย์ที่มีองค์ประกอบที่สำคัญ 3 องค์ประกอบ คือ แหล่งกำเนิดแสง วัตถุ และตา โดยทั้งสามองค์ประกอบนี้มีอิทธิพลต่อการเกิดเมแทเมอริซึม หลักการการผสมสีที่เป็นรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างแม่สี และการผสมกันของแม่สี เทคโนโลยีของการพิมพ์อิงก์เจ็ต วิธีการหาลักษณะเฉพาะเพื่อให้ได้แบบจำลองลักษณะเฉพาะที่ใช้ในการแปลงค่าสีเพื่อการผลิตภาพให้มีสีตรงตามต้นฉบับภายใต้สภาพแสงต่าง ๆ การคำนวณค่าความแตกต่างสีและวิธีการทางสถิติที่ใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพของแบบจำลองลักษณะเฉพาะ

2.1.1 การมองเห็นสี

ในกระบวนการมองเห็นสีต้องมีองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ประการ คือ แหล่งกำเนิดแสง วัตถุ และตา โดยมีระบบประสาทและสมองเป็นส่วนแปลความหมาย ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กระบวนการมองเห็นสี

2.1.1.1 แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสงที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ คือ ดวงอาทิตย์ และยังมีแหล่งกำเนิดแสงที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น หลอดไฟ ตะเกียง เทียนไข เป็นต้น ดวงอาทิตย์ให้พลังงานออกมาที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ตั้งแต่รังสีคอสมิกจนถึงคลื่นวิทยุ ดังรูปที่ 2.2 แต่แถบพลังงานที่มีอิทธิพลต่อ

หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาคนเราและทำให้เกิดการมองเห็นเป็นเพียงช่วงแคบๆ ระหว่าง 400 - 700 นาโนเมตร เรียกช่วงของการกระจายนี้ว่า Visible spectrum ช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้สามารถแยกให้เห็นแถบของการกระจายพลังงานอย่างกว้างๆได้ 7 แถบ แต่ละแถบของการกระจายพลังงาน เรียกว่า Spectrum ช่วงการกระจายที่ต่างกันทำให้มองเห็นสีต่างกันตามลำดับความยาวคลื่นจากน้อยไปมาก คือ ม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด และแดง [8]

รูปที่ 2.2 สเปกตรัม

แหล่งกำเนิดแสงแต่ละประเภทมีสมบัติทางแสงแตกต่างกัน ซึ่งมีผลต่อการมองเห็นสีของวัตถุที่แสงตกกระทบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแหล่งกำเนิดแสง สมบัติของแสงที่มีผลต่อการมองเห็นสีและเปลี่ยนแปลงมีดังนี้

1 อุณหภูมิสีของแสง (Color Temperature)

อุณหภูมิสีของแสง มีหน่วยวัดเป็น เคลวิน โดยการเทียบกับวัตถุดำ (black body) เมื่อให้ความร้อนแก่วัตถุดำมากขึ้น ๆ วัตถุดำจะเกิดแสงสว่างขึ้น สีของแสงจากวัตถุดำเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิของวัตถุดำที่สูงขึ้น จากแสงสีแดงเป็นสีส้ม เหลือง ขาว น้ำเงิน ตามลำดับ [9]

2 การกระจายพลังงานในสเปกตรัม (Spectral Energy Distribution)

การกำหนดคุณสมบัติของแสง โดยพิจารณาจากปริมาณแสงในแต่ละความยาวคลื่น คือ การวัดปริมาณแสงของแต่ละความยาวคลื่นแล้วแสดงผ่านกราฟ เรียกว่า Spectral Power Distribution Curve หรือ Spectral Energy Distribution ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการคำนวณต่าง ๆ และการใช้สร้างอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ เช่น เครื่องวัดสเปกตรัมของแสงและของวัตถุต่าง ๆ เป็นต้น [9]

3 การปรากฏสี (Color Rendering)

เมื่อมองเห็นสีสีหนึ่งภายใต้แหล่งกำเนิดแสงหนึ่ง แต่เมื่อแหล่งกำเนิดแสงเปลี่ยนไปเราจะมองเห็นสีเดียวกันนี้มีสีต่างกัน ดังนั้นเมื่อมีการเทียบสีให้ถูกต้อง จำเป็นต้องมีการกำหนดสมบัติแสง โดยที่คณะกรรมการซีไออี (The Commission International de l' Eclairage) ได้กำหนดแสงมาตรฐานเพื่อใช้ในการระบุคุณสมบัติในการปรากฏสีของแสง เรียกว่า ดัชนีการปรากฏสี (Color Rendering Index, RI) ถ้าดัชนีนี้มีค่าสูงแสดงถึงสมบัติในการ ปรากฏสีมีความถูกต้องมากขึ้น [9]

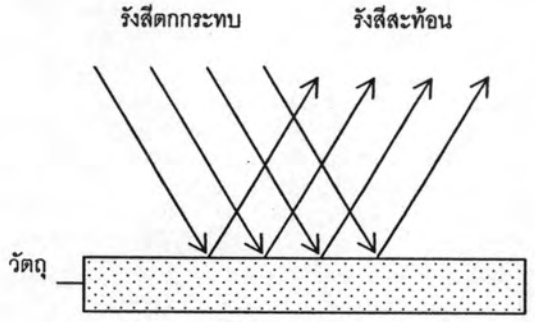
2.1.1.2 วัตถุ

วัตถุแต่ละชนิดมีการตอบสนองต่อแสงต่างกัน ทำให้วัตถุมีสมบัติเชิงแสงต่างกันด้วย ฉะนั้นในการมองเห็นวัตถุใด ๆ จำเป็นต้องมีแสงจากวัตถุมาเข้าตา เราสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณี คือ กรณีแรก การมองเห็นวัตถุที่มีแสงสว่างในตัวเองจะมีแสงสว่างจากวัตถุเข้าตาโดยตรง ส่วนกรณีที่สอง ถ้าวัตถุนั้นไม่มีแสงสว่างในตัวเอง แสดงว่าต้องมีแสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบวัตถุนั้นแล้วสะท้อนเข้าตา โดยสามารถแบ่งสมบัติเชิงแสงของวัตถุที่มีผลต่อการมองเห็นสีได้ดังนี้

1 การสะท้อนแสง (Reflection)

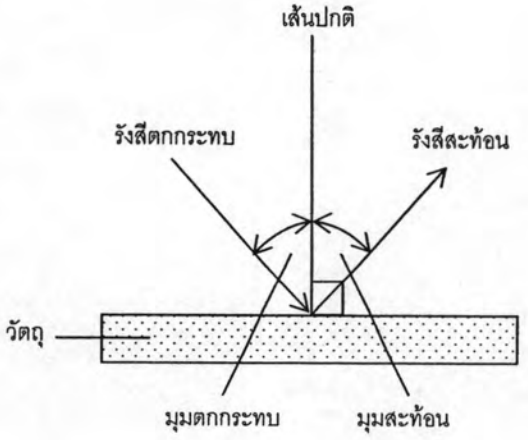
การสะท้อนแสง (Reflection) เป็นคุณสมบัติของแสงอย่างหนึ่งเมื่อแสงเดินทางไปในวัตถุที่มีเนื้อเดียว แสงจะเดินทางเป็นเส้นตรง และเมื่อแสงเดินทางจากวัตถุหนึ่งไปสู่อีกวัตถุหนึ่ง แสงบางส่วนจะสะท้อนกลับที่ผิวรอยต่อระหว่างวัตถุทั้งสอง ในขณะที่แสงบางส่วนจะหักเห (Refraction) เข้าไปในวัตถุ แต่ถ้าเป็นวัตถุทึบแสงผิวเรียบจะทำให้แสงเกือบทั้งหมดสะท้อนกลับอย่างมีระเบียบ ดังรูปที่ 2.3 แต่ถ้าวัตถุที่มีผิวขุรขระไม่เรียบจะเกิดการสะท้อนไม่มีระเบียบแสงสะท้อนไปในหลายทิศทาง ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งเป็นไปตามกฎการสะท้อนของแสง (The Laws of Reflection) มีอยู่ 2 ประการ คือ ประการแรก รังสีตกกระทบ (incident ray) รังสีสะท้อน (reflected ray) และเส้นปกติ (normal) จะตกอยู่ในระนาบเดียวกัน ประการที่สอง มุมตกกระทบ (angle of incidence) เท่ากับมุมสะท้อน (angle of reflection) ดังรูปที่ 2.5 พบว่าเมื่อรังสีของแสงตกกระทบผิววัตถุที่จุดใดก็ตาม ถ้าเราลากเส้นตั้งฉากกับผิววัตถุนั้น เส้นตั้งฉากที่ลากนี้ เรียกว่า

เส้นปกติ และเรียกมุมที่รังสีตกกระทบทำกับเส้นปกติ เรียกว่า มุมตกกระทบ ส่วนมุมที่รังสีสะท้อนทำกับแนวฉาก เรียกว่า มุมสะท้อน [8]



รูปที่ 2.3 การสะท้อนของแสงที่วัตถุผิวเรียบ

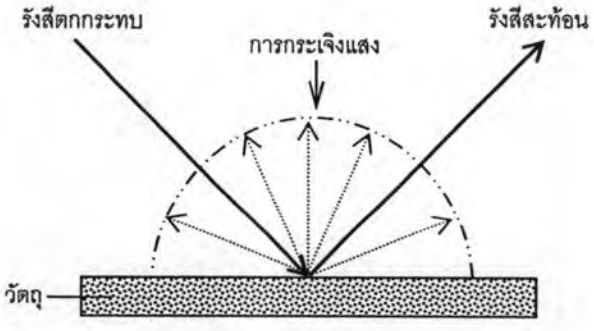
รูปที่ 2.4 การสะท้อนของแสงที่วัตถุผิวขรุขระ



รูปที่ 2.5 การสะท้อนของแสง

2 การกระเจิงแสง (Scattering)

การกระเจิงแสง (Scattering) เป็นคุณสมบัติของวัตถุหรืออนุภาค และเป็นส่วนหนึ่งของการสะท้อนแสงที่ไม่เป็นระเบียบ ดังรูปที่ 2.6 ในชีวิตประจำวันที่เราสามารถพบการกระเจิงแสง ในปรากฏการณ์ธรรมชาติต่าง ๆ เช่น สีของท้องฟ้าที่เปลี่ยนไปตามเวลาจากช่วงตอนเช้า ท้องฟ้าจะเปลี่ยนสีจากสีส้ม เหลือง ขาว ฟ้าอ่อน ฟ้าเข้ม ตามลำดับ เนื่องจากในบรรยากาศมีละอองน้ำขนาดอนุภาคเล็ก ๆ แสงจากดวงอาทิตย์มาตกกระทบกับละอองน้ำทำให้เกิดการกระเจิงแสงอนุภาคของหยดน้ำจะมีการกระเจิงแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ในมุมที่ไม่เท่ากัน เราจึงมองเห็นท้องฟ้าเปลี่ยนสีไปตามแสงที่สะท้อนมาเข้าตาของเรา เมื่อมุมที่แสงจากดวงอาทิตย์เปลี่ยนไป การประยุกต์ความรู้เกี่ยวกับการกระเจิงแสงเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมการพิมพ์นั้นพบได้ในการผลิตหมึกพิมพ์และการเคลือบผิว โดยการควบคุมขนาดอนุภาคของผงสีให้เกิดการกระเจิงแสงตามที่ต้องการ ขนาดอนุภาคใหญ่การกระเจิงแสงมีมากกว่าอนุภาคที่มีขนาดเล็ก รวมถึงการเลือกใช้กระดาษ กระดาษเคลือบผิวด้านมีสมบัติในการกระเจิงแสงมากกว่ากระดาษเคลือบผิวมัน [9]



รูปที่ 2.6 การกระเจิงแสง

3 การส่องผ่าน (Transmission)

การส่องผ่าน (Transmission) เป็นคุณสมบัติของแสง เมื่อแสงตกกระทบที่วัตถุบางชนิดแล้วแสงผ่านไปได้ แต่วัตถุบางชนิดแสงผ่านไปไม่ได้ เราสามารถแบ่งวัตถุตามปริมาณแสงและลักษณะการส่องผ่านวัตถุได้ 3 ประเภท ดังนี้ [8]

1) วัตถุโปร่งใส (transparent) เป็นวัตถุที่แสงเกือบทั้งหมดสามารถเดินทางผ่านไปได้ เช่น อากาศ กระจกใส เป็นต้น

2) วัตถุโปร่งแสง (Translucent) เป็นวัตถุที่แสงเพียงบางส่วนสามารถเดินทางผ่านไปได้ เช่น น้ำขุ่น กระจกฝ้า พลาสติก เป็นต้น

3) วัตถุทึบแสง (Opaque) เป็นวัตถุที่แสงเกือบทั้งหมดไม่สามารถเดินทางผ่านไปได้ เช่น ไม้ โลหะ กระเบื้อง สมุด หนังสือ กระดาษหนา เป็นต้น

4 การดูดกลืนแสง (Absorption)

การที่เรามองเห็นสีของวัตถุ เพราะว่าวัตถุมีการตอบสนองต่อแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ต่างกัน เช่น เรามองเห็นวัตถุมีสีแดงเพราะว่าวัตถุมีการสะท้อนแสงสีแดง และดูดกลืนแสงสีเขียวและสีน้ำเงินไว้ ถ้าเรามองเห็นวัตถุมีสีขาวแสดงว่าวัตถุนั้นมีการสะท้อนแสงสีทุกความยาวคลื่น [9]

5 สเปกตรัมของวัตถุ

วัตถุมีการดูดกลืนแสงในบางช่วงความยาวคลื่น และมีการสะท้อนแสงที่เหลือออกมาไม่เท่ากับแสงที่ตกกระทบ เรียกว่า ค่าการสะท้อนแสงของวัตถุหรือสเปกตรัมของวัตถุ โดยเมื่อแหล่งกำเนิดแสงเปลี่ยน ค่าสเปกตรัมของวัตถุจะไม่การเปลี่ยนแปลง แต่การมองเห็นสีของวัตถุที่มีค่าสเปกตรัมของวัตถุเท่ากันเปลี่ยนไปเมื่อเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสง เนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงมีผลต่อค่าสเปกตรัมของวัตถุ [9]

2.1.1.3 ตา

ตาเป็นอวัยวะที่ช่วยให้เราสามารถรับรู้สิ่งต่าง ๆ จากสภาวะแวดล้อมตลอดจนรับรู้ข้อมูลข่าวสารจากการอ่านและรับรู้สี ส่วนประกอบที่สำคัญของนัยน์ตาสามารถอธิบายได้ดังนี้ [10] แสดงดังรูปที่ 2.7

1 กระจกตาหรือคอร์เนีย (Cornea) อยู่ที่ผิวหน้าและหุ้มลูกนัยน์ตาไว้

2 เลนส์แก้วตา (Lens) เป็นเลนส์นูน มีความยืดหยุ่น เพื่อให้สามารถมองเห็นวัตถุที่ระยะต่าง ๆ กันได้ชัดเจนตลอด

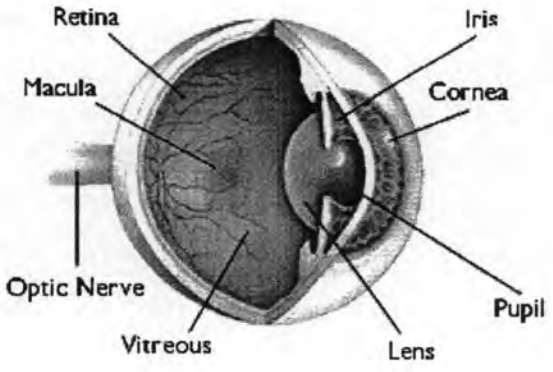
3 กล้ามเนื้อยึดเลนส์แก้วตา (Ciliary muscle) สามารถหดตัวหรือคายตัวได้ เพื่อบีบให้เลนส์นูนมากหรือนูนน้อย (ความยาวโฟกัสน้อยหรือมาก) เมื่อมองวัตถุที่อยู่ระยะทาง

ต่าง ๆ กัน ถ้าวัตถุอยู่ใกล้เลนส์จะนูนมาก ถ้าวัตถุอยู่ไกลเลนส์จะนูนน้อย นอกจากนี้แล้วยังช่วยทำให้นัยน์ตาสามารถกลอกไปมาได้

4 ม่านตา (Iris) เป็นเนื้อเยื่อส่วนที่มีของนัยน์ตา (แล้วแต่เชื้อชาติ) ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณแสงที่จะผ่านเข้าสู่เลนส์แก้วตา

5 ปิวปิล (Pupil) ช่องกลมเล็ก ๆ กลางม่านตา เป็นส่วนที่มีสีเข้มกลางนัยน์ตา สำหรับแสงผ่านเข้าสู่เลนส์แก้วตา ขนาดของปิวปิลเปลี่ยนแปลงไปตามการเปิดปิดของม่านตาในที่สว่างมาก ม่านตายอมให้แสงเข้าได้น้อย ปิวปิลจะมีขนาดเล็ก มิฉะนั้นแล้วจะเป็นอันตรายต่อเรตินาได้

6 เรตินา (Retina) เป็นบริเวณเนื้อเยื่อสีดำชั้นในสุดประกอบด้วยใยประสาทที่ไวต่อแสงเป็นจำนวนมาก และที่ผิวหน้าเต็มไปด้วยเซลล์ประสาท 2 ชนิด คือ เซลล์ประสาทรูปแท่ง (rod cells) ทำให้เกิดความรู้สึกเกี่ยวกับความมืดและความสว่าง ขาวหรือดำ ส่วนเซลล์ประสาทรูปกรวย (cone cells) ทำให้เกิดความรู้สึกเกี่ยวกับสี เซลล์ประสาทเหล่านี้จะรวมกันเป็นเส้นประสาทรับภาพหรือประสาทตา (optic nerve) ประสาทตาทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าเข้าสู่สมอง แล้วสมองแปลความหมายเป็นภาพที่มองเห็น



รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของนัยน์ตา [11]

2.1.2 เมแทเมอริซึม (Metamerism)

เมแทเมอริซึมเป็นปรากฏการณ์การสะท้อนแสงของวัตถุมีสีสองชนิดเข้าสู่ตาแล้วกระตุ้นเซลล์รูปกรวยในจอตา ทำให้เกิดการมองเห็นและรับรู้สีของวัตถุสองชนิดมีสีเหมือนกันภายใต้

สภาวะเฉพาะหนึ่ง ๆ โดยเมื่อสภาวะนั้นมีการเปลี่ยนแปลงก็มีผลทำให้สีของวัตถุสองชนิดแตกต่างกัน สภาวะที่มีผลต่อปรากฏการณ์เมแทเมอริซึม สามารถแบ่งการเปลี่ยนแปลงตามสภาวะต่าง ๆ ได้ 4 ประเภท คือ [12]

2.1.2.1 เมแทเมอริซึมเนื่องด้วยแหล่งกำเนิดแสง

การมองเห็นสีของวัตถุสองชนิดเหมือนกัน เมื่อมองภายใต้แหล่งกำเนิดแสงหนึ่ง แต่เมื่อเปลี่ยนชนิดของแหล่งกำเนิดแสงก็พบว่าสีของวัตถุสองชนิดแตกต่างกัน แสดงว่าค่าการสะท้อนแสงของวัตถุสองชนิดแตกต่างกัน แต่มีสีเหมือนกันเมื่อมองภายใต้สภาวะแสงที่มีค่าการกระจายพลังงานแสงแต่ละช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม

2.1.2.2 เมแทเมอริซึมเนื่องด้วยผู้สังเกตการณ์

การที่ผู้สังเกตการณ์คนหนึ่งมองเห็นสีของวัตถุ 2 ชนิดเหมือนกัน แต่ผู้สังเกตการณ์อีกคนหนึ่งมองเห็นสีของวัตถุ 2 ชนิดนั้นแตกต่างกันภายใต้แหล่งกำเนิดแสง ระยะทางและมุมมองเดียวกัน เพราะตาของผู้สังเกตการณ์แต่ละคนมีความไวแสงในสเปกตรัมต่อการมองเห็นสีแตกต่างกัน และถ้าผู้สังเกตการณ์ทั้งสองมีอายุที่แตกต่างกันมาก การมองเห็นความแตกต่างของสีได้ชัดเจน เนื่องจากปริมาณของ macular pigment ในบริเวณโฟเวียของผู้สังเกตการณ์มีปริมาณไม่เท่ากัน และผู้สังเกตการณ์แต่ละคนมีขอบเขตการยอมรับไม่เหมือนกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้สังเกตการณ์แต่ละคน

2.1.2.3 เมแทเมอริซึมเนื่องด้วยระยะทาง

การที่ผู้สังเกตการณ์คนหนึ่งมองเห็นสีของวัตถุสองชนิดเหมือนกันเมื่อมองดูที่ระยะไกล ซึ่งทำให้มองเห็นวัตถุนั้นมีขนาดเล็กลง แต่เมื่อมองที่ระยะใกล้ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงและมุมมองเดียวกันกลับมองเห็นสีของวัตถุสองชนิดนั้นแตกต่างกัน

2.1.2.4 เมแทเมอริซึมเนื่องด้วยการมุมมอง

การที่ผู้สังเกตการณ์คนหนึ่งมองเห็นสีของวัตถุสองชนิดเหมือนกันภายใต้แหล่งกำเนิดแสงเดียวกัน และมุมที่แสงตกกระทบแต่มุมสังเกตการณ์ที่ต่างกัน จะพบว่ามุมสังเกตการณ์บางมุมมองเห็นสีของวัตถุสองชนิดนั้นแตกต่างกัน

2.1.3 การผสมสี (Color Mixing)

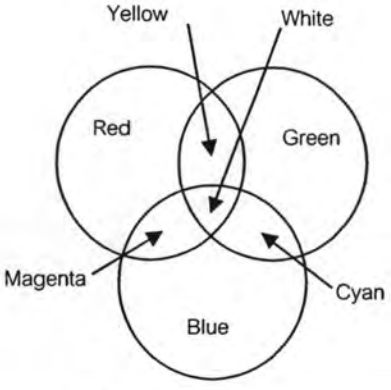
ระบบการผสมสีแบ่งออกเป็น 2 ระบบ ดังนี้ [13]

2.1.3.1 การผสมสีแบบบวก (Additive Color Mixing)

การผสมสีแบบบวกเกิดจากแม่สีหลักของแสงสี 3 สี คือ แสงสีแดง (Red) แสงสีเขียว (Green) และแสงสีน้ำเงิน (Blue) ซึ่งเป็นสีปฐมภูมิไปรวมกันบนฉากขาว ดังรูปที่ 2.8 ทำให้เห็นเป็นสีต่าง ๆ ดังนี้

แสงสีแดง รวมกับ แสงสีน้ำเงิน ได้ แสงสีม่วงแดง (Magenta)
แสงสีแดง รวมกับ แสงสีเขียว ได้ แสงสีเหลือง (Yellow)
แสงสีน้ำเงิน รวมกับ แสงสีเขียว ได้ แสงสีน้ำเงินเขียว (Cyan)
แสงสีแดง รวมกับ แสงสีน้ำเงิน รวมกับ แสงสีเขียว ได้ แสงสีขาว (White)

ส่วนแสงสีสองสีที่รวมกันแล้วได้สีขาว สีทั้งสองเป็นสีเติมเต็ม (complementary colors) ของกันและกัน เช่น สีเหลืองเป็นสีเติมเต็มของสีน้ำเงิน ในขณะเดียวกันสีน้ำเงินก็เป็นสีเติมเต็มของสีเหลืองด้วย

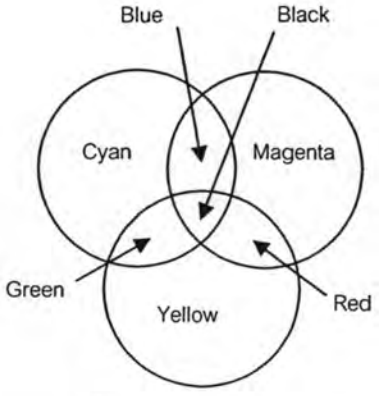


รูปที่ 2.8 การผสมสีแบบบวก

2.1.3.2 การผสมสีแบบลบ (Subtractive Color Mixing)

การผสมสีแบบลบเกิดจากแม่สี 3 สี คือ สีน้ำเงินเขียว (Cyan) สีม่วงแดง (Magenta) และสีเหลือง (Yellow) ซึ่งเป็นแม่สีทุติยภูมิ ดังรูปที่ 2.9 การผสมสีแบบนี้ใช้หลักการกั้นหรือดูดกลืนบางสี ยอมให้แสงสีบางสีส่องผ่าน ทำให้เกิดสีต่าง ๆ ดังนี้

สีน้ำเงินเขียว ซ้อนทับ สีม่วงแดง ได้ สีน้ำเงิน (Blue)
สีน้ำเงินเขียว ซ้อนทับ สีเหลือง ได้ สีเขียว (Green)
สีม่วงแดง ซ้อนทับ สีเหลือง ได้ สีแดง (Red)
สีน้ำเงินเขียว ซ้อนทับ สีม่วงแดง ซ้อนทับ สีเหลือง ได้ สีดำ (Black)



รูปที่ 2.9 การผสมสีแบบลบ

2.1.4 เทคโนโลยีของระบบการพิมพ์อิงก์เจ็ต

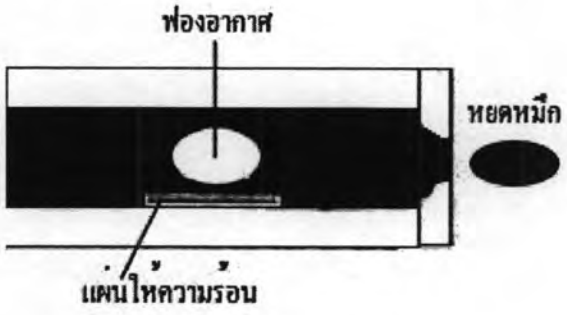
เครื่องพิมพ์แบบอิงก์เจ็ต เป็นเครื่องพิมพ์ชนิด non-impact มีระบบทำงานโดยการพ่นน้ำหมึกเป็นละอองขนาดเล็กลงบนกระดาษโดยตรง ในปัจจุบันเป็นที่นิยมมาก เนื่องจากเครื่องพิมพ์มีราคาประหยัด พิมพ์สีได้ดีและพิมพ์งานขาวดำได้รวดเร็วและสวยงาม ให้ความละเอียดที่ดี เหมาะกับการพิมพ์รูปภาพสี่สี พิมพ์บนวัสดุได้หลายแบบ เช่น กระดาษธรรมดา กระดาษอาบมันแบบภาพถ่าย หรือบนแผ่นพลาสติก นอกจากนี้เครื่องพิมพ์บางรุ่นยังมีความสามารถในการสกรีนภาพหรือข้อความลงบนแผ่นซีดีหรือดีวีดีได้ โดยแผ่นซีดีหรือดีวีดีนั้นต้องถูกออกแบบมาโดยเฉพาะ ซึ่งจะมีข้อความระบุบนกล่องซีดีหรือดีวีดีว่า Printable Disc หรือ Writable Disc เท่านั้น นับได้ว่าเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตเป็นเครื่องพิมพ์ที่ใช้งานได้แบบเอนกประสงค์ และมีหลายรุ่นหลายระดับให้เลือกตามความต้องการของผู้ใช้ จึงเป็นเครื่องพิมพ์ที่มีผู้ใช้งานมากที่สุด

2.1.4.1 ประเภทของเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ต

เครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตที่ใช้เทคโนโลยี Drop-On-Demand แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ [14-19]

1 Thermal

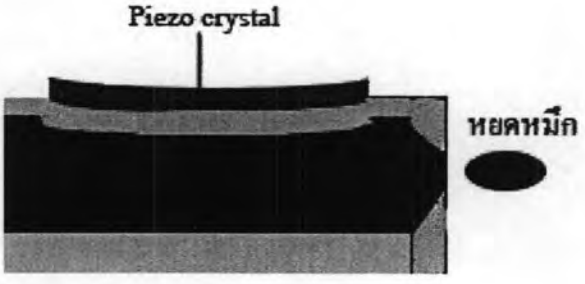
หลักการทำงานแบบ Thermal ทำงานด้วยวิธีสร้างความร้อนที่สูงกว่าจุดเดือดของน้ำหมึกให้แก่น้ำหมึก ในหัวพ่นแต่ละหัวจะมีขดลวดสร้างความร้อนจากกระแสไฟฟ้าหรือฮีทเตอร์ (heater) ความร้อนส่งผลให้ภายในช่องหัวพ่นที่มีน้ำหมึกบรรจุอยู่เกิดฟองอากาศ และฟองอากาศจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งดันน้ำหมึกออกไปจากหัวพ่น จากขั้นตอนที่ผ่านมาเครื่องพิมพ์จะหยุดจ่ายไฟให้กับฮีทเตอร์ส่งผลให้ฟองอากาศหายไป และหยดหมึกก็จะหลุดออกไปจากหัวพ่นแล้วไปยังกระดาษ ในระหว่างนี้อุณหภูมิในช่องหัวพ่นจะลดลง ทำให้ความดันอากาศภายในลดต่ำกว่าความดันในห้องหมึก น้ำหมึกจึงไหลเข้าแทนที่ที่ช่องว่างในช่องหัวพ่น แล้วพร้อมที่จะถูกพ่นหมึกอีกครั้ง ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การทำงานของเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตแบบ Thermal

2 Piezo Electric

หลักการทำงานแบบ Piezo Electric หัวพ่นทำงานด้วยการสั่นสะเทือนของผลึก Piezo Electric Crystals ซึ่งเมื่อได้รับกระแสไฟฟ้าจะสั่นสะเทือน และพ่นน้ำหมึกออกมาเป็นหยดหมึกกลมขนาดเล็ก (droplets) และเมื่อได้รับกระแสไฟฟ้าอีกครั้งจะพ่นหมึก ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การทำงานของเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตแบบ Piezo Electric

2.1.4.2 ประเภทของสารให้สีที่ให้ในหมึกพิมพ์

หมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปเป็นหมึกพิมพ์ฐานน้ำ (Water-based) มีส่วนผสมหลัก คือ น้ำ มีหน้าที่เป็นตัวทำละลาย สารให้สีที่ให้ในหมึกพิมพ์แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ [17,19]

1 สารสี (Pigment)

สารสีมีลักษณะเป็นสารแขวนลอย ที่ประกอบด้วยผงสีขนาดเล็กที่ไม่ละลายในตัวทำละลาย แต่จะเกิดการกระจายตัวเป็นอนุภาคเล็ก ๆ อยู่ในตัวทำละลาย ข้อดี คือ ทนน้ำ ทนแดดได้ดี ข้อเสีย คือ ทึบแสง แห้งช้า จึงนำมาใช้เป็นหมึกสีดำที่นิยมใช้กับงานพิมพ์เอกสารที่ต้องการความคงทน ถ้านำมาใช้ในงานพิมพ์สีจะให้สีสันที่ไม่ค่อยสดใส เนื่องจากทึบแสงและสร้างเฉดสีได้น้อย

2 สีย้อม (Dye)

สีย้อมลักษณะเป็นสารละลาย มีขนาดอนุภาคเม็ดสีเล็กกว่าแบบสารสี ทำให้สร้างหยดหมึกได้ขนาดเล็ก ข้อดี คือ ให้สีสันที่สดใส และยังสร้างเฉดสีได้มากจึงเหมาะกับงานพิมพ์สี เช่น ภาพถ่าย เป็นต้น ข้อเสีย คือ ทนน้ำทนแดดไม่ได้เท่าสารสี

2.1.4.3 การแห้งตัวของหมึกพิมพ์

การแห้งตัวของหมึกพิมพ์ชนิดสีย้อม เมื่อพิมพ์ลงบนวัสดุพิมพ์จะมีการแพร่กระจายลงในผิวหน้าของวัสดุพิมพ์พร้อมกับสารละลาย ในขณะที่การแห้งตัวของหมึกพิมพ์ชนิดสารสีมีโมเลกุลของสารสียังอยู่บริเวณผิวหน้าของวัสดุพิมพ์ แต่สารละลายจะแพร่กระจายลงในวัสดุพิมพ์ [17,19]

2.1.4.4 ความละเอียดในการพิมพ์ (Resolution)

ความละเอียดในการพิมพ์วัดในหน่วย dpi (dot per inch) หรือเป็นจำนวนจุดต่อตารางนิ้ว ในการคำนวณตำแหน่งของจุดพิมพ์ทั้งหน้ากระดาษ เรียกว่า แรสเตอร์ (Raster) โดยจะคำนวณผ่านไดรเวอร์ของเครื่องพิมพ์ และความละเอียดของแรสเตอร์นี้จะเป็นตัวกำหนดการใช้สีของงานพิมพ์ และขนาดของแรสเตอร์ที่ละเอียดมากจะทำให้ภาพที่ได้มีความละเอียดมากขึ้น

ฉะนั้นขนาดของหยดหมึกแต่ละหยดจะเล็กมาก ทำให้น้ำหมึกต่อหนึ่งหยดจะลดลง ดังนั้นเครื่องพิมพ์ที่มีความละเอียดในการพิมพ์สูงก็จะสามารถพิมพ์เฉดสีในจุดหนึ่งจุดได้หลายสี ทำให้ได้คุณภาพในการพิมพ์สูง โดยทั่วไปเครื่องพิมพ์จะปิดระบบการพิมพ์ความละเอียดสูงไว้ เพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภท และยังขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ในการพิมพ์ [14-19]

2.1.4.5 กระดาษพิมพ์อิงก์เจ็ต

กระดาษพิมพ์อิงก์เจ็ตเป็นกระดาษเคลือบผิวที่มีหลายชนิด เช่น เคลือบผิวหน้าเดียว เคลือบผิวสองหน้า เคลือบผิวมัน เคลือบผิวด้าน เป็นต้น กระดาษเคลือบผิวทำมาจากการนำกระดาษธรรมดาไปเคลือบผิวด้วยสารที่ทำให้ผิวมีความเรียบและมันมากขึ้น เช่น เคลือบด้วยสารพวกแคลเซียมคาร์บอเนต ไททาเนียมไดออกไซด์ หรือสารประเภทดินขาว และสารสังเคราะห์อื่น ๆ สารที่เคลือบผิวนี้จะทำให้กระดาษมีผิวที่เรียบและมัน ทำให้มีคุณสมบัติในการรองรับหยดหมึกที่มีการดูดซึมน้อยกว่ากระดาษไม่เคลือบผิว ทำให้เกิดเม็ดสกรีนบวมน้อยลง ความขาวที่เกิดจากสารเคลือบผิวช่วยทำให้การพิมพ์ภาพสี เมื่อมองด้วยตาแล้วมีสีใกล้เคียงกับต้นฉบับ [17,19]

2.1.5 การหาลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์

การหาลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์ (device characterization) คือ การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีที่ขึ้นกับอุปกรณ์ (device-dependent colour) กับค่าสีที่ไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ (device-independent colour) โดยสามารถแปลงค่ากลับไปมาได้ เพื่อใช้สำหรับใช้ในการสื่อสารสีกับอุปกรณ์อื่นและเพื่อควบคุมให้อุปกรณ์ผลิตสีได้ตามต้องการ ในการหาลักษณะเฉพาะสามารถแบ่งออกเป็น 4 แบบ ดังนี้ [20-21]

2.1.5.1 Colour-mixing models หรือ Physical models

การหาลักษณะเฉพาะที่ใช้พื้นฐานของทฤษฎีการผสมสี (colour-mixing theory) และสมบัติของแสงที่มีผลต่อสื่อสิ่งพิมพ์ เช่น การสะท้อนแสง การกระเจิงแสง และการดูดกลืนแสง ตัวอย่างเช่น สมการ Neugerauer ได้นำทฤษฎีการผสมสีแบบลบมากำหนดค่าสีของเม็ดสกรีนจากค่าการสะท้อนแสง, สมการ Murray-Davies จะพิจารณาค่าการสะท้อนแสง และค่าการดูดกลืนแสงของเม็ดสกรีน, แบบจำลอง Yule-Nielsen พิจารณาค่าการส่องผ่านทำให้ทราบถึงพื้นที่ของเม็ดสกรีน การดูดกลืนแสงของหมึกพิมพ์กับการกระเจิงแสงและสะท้อนแสงของวัสดุพิมพ์, แบบจำลอง Clapper-Yule พิจารณาจากปริมาณการกระเจิงแสง การสะท้อนแสง และการส่องผ่านภายในชั้น

หมึกพิมพ์, กฎ Beer-Bouguer พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง และทฤษฎี Kubelka-Munk พิจารณาจากค่าการสะท้อนแสงของชั้นหมึกพิมพ์ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน และค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงแสงของชั้นหมึกพิมพ์

2.1.5.2 Regression

การหาลักษณะเฉพาะแบบ Regression นี้ เป็นการหาความสัมพันธ์ในรูปของสมการโพลิโนเมียล (Polynomial equation) ลักษณะของสมการที่หาได้นี้ต้องสอดคล้องกับการกระจายของข้อมูล โดยใช้วิธีการถดถอยแบบกำลังสองน้อยที่สุด (least square regression) เพื่อหาฟังก์ชันที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลที่กำหนด และถ้าสมการโพลิโนเมียลกำลังเท่ากับหนึ่งที่หาค่าได้เป็นสมการที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มข้อมูลเรียกฟังก์ชันเส้นตรงนี้ว่าวิธีการถดถอยแบบเชิงเส้น (linear regression)

2.1.5.3 Look-up table with interpolation

การหาลักษณะเฉพาะแบบนี้เป็นการสร้างตารางชุดข้อมูลเพื่อการแปลงค่า เนื่องจากข้อมูลที่ได้มามีจำนวนมาก ทำให้ต้องเลือกข้อมูลมาจำนวนหนึ่งแล้วมาทำการประมาณค่า สำหรับการประมาณค่าที่ได้จากการเชื่อมต่อค่าข้อมูลสองข้อมูลโดยใช้หลักการของสมการเส้นตรงใช้การประมาณค่าที่ตำแหน่งใด ๆ ซึ่งอยู่ระหว่างค่าทั้งสองนั้น โดยการแบ่งค่าเท่า ๆ กันตลอดช่วงข้อมูล เรียกวิธีการนี้ว่าการประมาณค่าระหว่างเชิงเส้น (linear interpolation) และถ้าข้อมูลในแบบ 2 มิติ เรียกว่า bilinear interpolation และ 3 มิติ เรียกว่า trilinear interpolation สำหรับการประมาณค่าตามรูปทรงเรขาคณิตแบ่งออกเป็น 4 แบบ คือ trilinear, prism, pyramid และ tetrahedral

2.1.5.4 Cognitive methods

การหาลักษณะเฉพาะแบบนี้เป็นการหาความสัมพันธ์ของการเลียนแบบขั้นตอนในการประเมินเหตุการณ์ในการแก้ไขปัญหาบนพื้นฐานความสามารถในการรับรู้ของมนุษย์แบ่งเป็น 2 แบบ คือ Neural network และ Fuzzy logic สามารถอธิบายได้ดังนี้ แบบ Neural network เป็นแบบจำลองระบบการประมวลผลที่เหมือนเครือข่ายเส้นใยประสาทของสมองมนุษย์ที่เชื่อมโยงกันที่มีกระบวนการเชื่อมต่อในลักษณะคู่ขนาน และการเคลื่อนที่สื่อสารระหว่างกัน ทำให้เกิดเครือข่ายการรับรู้รูปแบบและความสัมพันธ์ในข้อมูลที่มีการประมวลผล ดังนั้นเครือข่ายจะมีการเปลี่ยนแปลงโดยตรงในการเชื่อมต่อภายในระหว่างปัจจัยการประมวลผลในการตอบสนองเพื่อ

เปลี่ยนแปลงรูปแบบในข้อมูลที่ได้รับและผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น ส่วนแบบ Fuzzy Logic เป็นวิธีการของการให้เหตุผลที่คล้าย ๆ กับมนุษย์โดยแทนในเชิงคณิตศาสตร์การบอกค่าของเหตุการณ์ต่าง ๆ จะถูกสร้างเป็นฟังก์ชัน สำหรับอธิบายความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ว่ามีค่าเท่าใดในช่วงที่กำหนดขึ้น เรียกว่า Fuzzy Set

2.1.6 ทฤษฎีคูเบลคา-มังก์

ทฤษฎีคูเบลคา-มังก์ใช้ในการทำนายสีในชั้นหมึกพิมพ์ทึบแสง [1,22] แต่สำหรับชั้นหมึกพิมพ์ที่มีลักษณะกึ่งโปร่งแสง ทฤษฎีคูเบลคา-มังค์สามารถทำนายค่าสีโดยพิจารณาจากค่าการสะท้อนแสงของชั้นหมึกพิมพ์ที่ทึบแสง (R_∞) ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (K) และค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงแสง (S) ในกรณีนี้ K และ S จะถูกคิดแยกกัน ต่างกับชั้นฟิล์มทึบแสงที่คำนวณเป็นค่าเดียวโดยคิดสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงเทียบกับสัมประสิทธิ์การกระเจิงแสง (K/S) โดยทั่วไปแล้วชั้นหมึกพิมพ์จะเคลือบบนวัสดุพิมพ์สีจากกระบวนการพิมพ์ที่ปรากฏให้เห็นนั้นขึ้นอยู่กับสมบัติเชิงแสงของหมึกพิมพ์ ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์ และการสะท้อนแสงของวัสดุพิมพ์ เช่น กระดาษ เป็นต้น

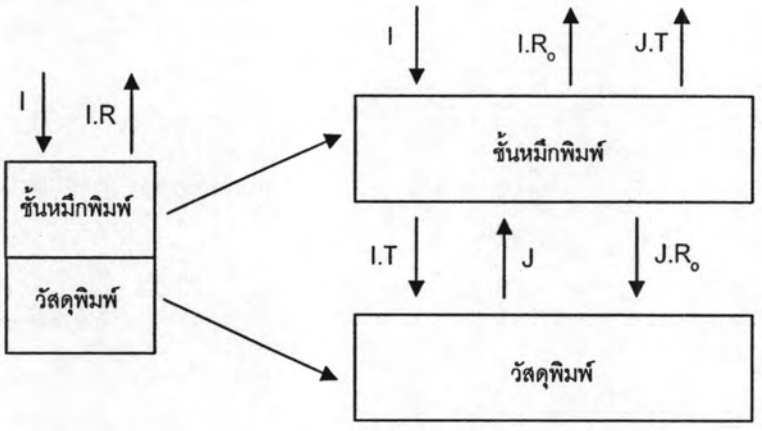
ทฤษฎีคูเบลคา-มังก์อธิบายสมบัติทางแสงของชั้นหมึกพิมพ์ โดยพิจารณาจากค่าการสะท้อนแสง (R_o) ค่าการส่องผ่าน (T) และค่าการดูดกลืนแสง (A) ดังสมการที่ 2.1 - 2.3

$$R_o = \frac{\text{พลังงานแสงที่สะท้อนจากชั้นหมึกพิมพ์}}{\text{พลังงานแสงที่ตกกระทบชั้นหมึกพิมพ์}} \qquad (2.1)$$

$$T = \frac{\text{พลังงานแสงที่ส่องผ่านจากชั้นหมึกพิมพ์}}{\text{พลังงานแสงที่ตกกระทบชั้นหมึกพิมพ์}} \qquad (2.2)$$

$$A = 1-R_o-T \qquad (2.3)$$

ชั้นหมึกพิมพ์โดยทั่วไปเป็นชั้นหมึกพิมพ์กึ่งโปร่งแสง ดังนั้นแสงสะท้อนที่บริเวณผิวหน้าของชั้นหมึกพิมพ์มีการรวมแสงกระเจิงจากสารสีโดยตรง และแสงที่ผ่านไปยังวัสดุพิมพ์จะสะท้อนกลับสู่ผิวหน้าของชั้นหมึกพิมพ์ ชั้นหมึกพิมพ์ที่มีความมันวาวสูงจะมีแสงที่เรียกว่าแสงสเปกคิวลา โดยจะมีการสะท้อนที่ผิวหน้าของชั้นหมึกพิมพ์ ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การเดินทางของแสงในชั้นหมึกพิมพ์และวัสดุพิมพ์

จากรูปที่ 2.12 ได้อธิบายเมื่อมีวัสดุพิมพ์เข้ามาเกี่ยวข้องทำให้การเดินทางของแสงในชั้นหมึกพิมพ์และวัสดุพิมพ์มีการสะท้อนแสงจากชั้นหมึกพิมพ์แสดงได้ดังสมการที่ 2.4 - 2.8

$$R = \frac{\text{พลังงานแสงที่สะท้อนจากระบบ}}{\text{พลังงานแสงที่ตกกระทบระบบ}} \tag{2.4}$$

$$R = \frac{I.R_o + J.T}{I} \tag{2.5}$$

$$R_g = \frac{\text{พลังงานแสงที่สะท้อนจากวัสดุพิมพ์}}{\text{พลังงานแสงที่ตกกระทบวัสดุพิมพ์}} \tag{2.6}$$

$$J = (I.T + J.R_o).R_g \tag{2.7}$$

$$J = \frac{I.T.R_g}{1 - R_o.R_g} \tag{2.8}$$

โดยที่

I เป็นฟลักซ์ที่ตกกระทบพื้นผิวชั้นหมึกพิมพ์

$I.R_o$ เป็นปริมาณฟลักซ์ I ที่สะท้อนจากชั้นหมึกพิมพ์

I.T เป็นปริมาณฟลักซ์ I ที่ส่องผ่านจากชั้นหมึกพิมพ์

J เป็นฟลักซ์ที่สะท้อนจากวัสดุพิมพ์ และตกกระทบพื้นผิวด้านล่างของชั้นหมึกพิมพ์

$J.R_o$ เป็นปริมาณฟลักซ์ J ที่สะท้อนจากผิวด้านล่างของชั้นหมึกพิมพ์ไปวัสดุพิมพ์

J.T เป็นปริมาณฟลักซ์ J ที่ส่องผ่านจากด้านล่างสู่ผิวหน้าของชั้นหมึกพิมพ์

$$R = \frac{\alpha.R_g + \beta.R_\infty}{\alpha + \beta} \qquad (2.9)$$

$$\alpha = \frac{1 - R_\infty^2}{1 - R_g.R_\infty} \qquad (2.10)$$

$$\beta = \left[\frac{R_g - R}{R - R_\infty}\right].\left[\frac{1 - R_\infty^2}{1 - R_g R_\infty}\right] \qquad (2.11)$$

หรือ $$\beta = e^{2Z} - 1 \qquad (2.12)$$

ค่า Z, ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง และค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงแสงของชั้นหมึกพิมพ์ทึบแสง อธิบายได้จากสมการที่ 2.13 - 2.16 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง และค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงแสงของชั้นหมึกพิมพ์กึ่งโปร่งแสงจะถูกคิดแยกจากกัน ซึ่งต่างกับชั้นหมึกพิมพ์ทึบแสงที่คำนวณหาโดยคิดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงแสง (K/S)

$$Z = D\sqrt{K(K + 2S)} \qquad (2.13)$$

หรือ $$Z = 0.5\mathrm{In}(\beta + 1) \qquad (2.14)$$

$$K = \frac{Z}{D}\left[\frac{1 - R_\infty}{1 + R_\infty}\right] \qquad (2.15)$$

$$S = \frac{Z}{D}\left[\frac{2R_\infty}{1 + R_\infty}\right] \qquad (2.16)$$

โดยที่

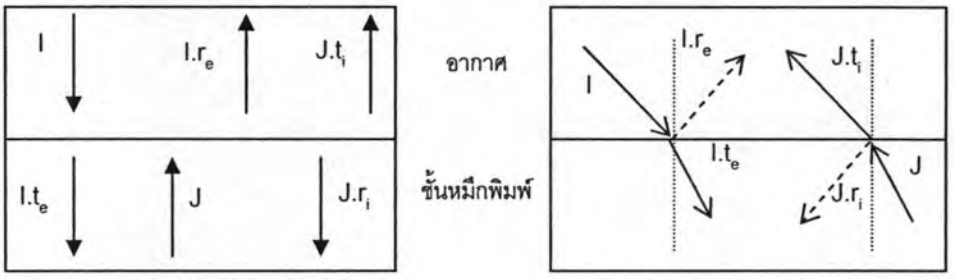
α เป็นฟังก์ชันของชั้นหมึกพิมพ์ทึบแสง (R_∞) และการสะท้อนแสงของวัสดุพิมพ์ (R_g)

β เป็นฟังก์ชันของค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง ค่าสัมประสิทธ์การกระเจิงแสง และความหนาของชั้นหมึกพิมพ์ผ่านทางตัวแปร Z

D เป็นความหนาของชั้นหมึกพิมพ์

หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทฤษฎีคูเบลคา-มังก์ไม่ได้มีการพิจารณาการสะท้อนแสงที่เกิดตรงบริเวณผิวหน้าของชั้นหมึกพิมพ์กับอากาศที่เกิดจากการเดินทางของแสงจากอากาศไปยังชั้นหมึกพิมพ์ที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน ทำให้ความเร็วของแสงในอากาศกับชั้นหมึกพิมพ์จะมีความเร็วไม่เท่ากัน โดยแสงจะเคลื่อนที่ในอากาศได้เร็วกว่าในชั้นหมึกพิมพ์ ขึ้นอยู่กับดัชนีหักเหของแสงในอากาศและค่าดัชนีการหักเหของหมึกพิมพ์ แสงจะเกิดการหักเหและสะท้อนแสงขึ้นพร้อม ๆ กัน ทำให้ต้องมีการแก้ไขค่าการสะท้อนแสงที่วัดได้ (ρ) จากเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เพื่อที่จะได้ค่าการสะท้อนแสงที่ไม่รวมค่าการสะท้อนแสงส่วนที่เกิดในบริเวณที่อากาศสัมผัสกับชั้นหมึกพิมพ์ และสามารถหาค่าการสะท้อนแสงที่แท้จริงได้ (R) ดังรูปที่ 2.13 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.19 - 2.21



รูปที่ 2.13 การเดินทางของแสงจากอากาศไปชั้นหมึกพิมพ์

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีการหักเหของอากาศ (n_1) และค่าดัชนีการหักเหของชั้นหมึกพิมพ์ (n_2) สามารถคำนวณได้จากสมการของ Fresnel ดังสมการที่ 2.17 [22]

$$r = \frac{(n_2 - n_1)^2}{(n_2 + n_1)^2} \qquad (2.17)$$

โดยที่

r คือ ขนาดของ Fresnel reflection

n_1 คือ ดัชนีการหักเหของอากาศ

n_2 คือ ดัชนีการหักเหของชั้นหมึกพิมพ์

$$t = 1 - r \qquad (2.18)$$

$$\rho = \frac{r_e . I + t_i . J}{I} \qquad (2.19)$$

$$\rho = r_e + \frac{t_e t_i R}{1 - r_i R} \tag{2.20}$$

$$R = \frac{\rho - r_e}{t_e . t_i + r_i . (\rho - r_e)} \tag{2.21}$$

โดยที่

ฟลักซ์ I เป็นปริมาณพลังงานแสงที่เดินทางจากอากาศสู่ชั้นหมึกพิมพ์

ฟลักซ์ J เป็นปริมาณพลังงานแสงที่เดินทางจากชั้นหมึกพิมพ์สู่อากาศ

r_e เป็นส่วนหนึ่งของฟลักซ์ I ที่สะท้อนออกไปจากชั้นหมึกพิมพ์ด้านนอก

t_e เป็นส่วนหนึ่งของฟลักซ์ I ที่ส่องผ่านเข้ามายังชั้นหมึกพิมพ์

r_i เป็นส่วนหนึ่งของฟลักซ์ J ที่สะท้อนกลับลงมาโดยขอบชั้นหมึกพิมพ์ด้านใน

t_i เป็นส่วนหนึ่งของฟลักซ์ J ที่ส่องผ่านขอบชั้นหมึกพิมพ์ออกไป

เนื่องจากชั้นหมึกพิมพ์ของระบบการพิมพ์อิงก์เจ็ตเป็นชั้นหมึกพิมพ์กึ่งโปร่งแสง นอกจากนี้ด้วยข้อจำกัดของทฤษฎีคูเบลคา-มังก์ที่ทำนายค่าสีจากค่าการสะท้อนแสงของชั้นหมึกพิมพ์ที่ทึบแสง (R_∞) ไม่เหมาะกับการทำนายค่าสีของชั้นหมึกพิมพ์กึ่งโปร่งแสง ฉะนั้นจึงต้องมีการหาค่าการสะท้อนแสงของชั้นหมึกพิมพ์ทึบแสงจากค่าการสะท้อนแสงของชั้นหมึกพิมพ์บนกระดาษขาวและกระดาษดำ ดังสมการที่ 2.22

$$R_\infty = B - \sqrt{B^2 - 1} \tag{2.22}$$

$$B = \frac{(1 + R_b R_w)(R_{g,w} - R_{g,b}) - (1 + R_{g,b} R_{g,w})(R_w - R_b)}{2(R_b R_{g,w} - R_{g,b} R_w)} \tag{2.23}$$

โดยที่

R_w คือ ค่าการสะท้อนแสงของชั้นหมึกพิมพ์ที่พิมพ์บนกระดาษขาว

R_b คือ ค่าการสะท้อนแสงของชั้นหมึกพิมพ์ที่พิมพ์บนกระดาษดำ

$R_{g,w}$ คือ ค่าการสะท้อนแสงบริเวณสีขาวของวัสดุพิมพ์

$R_{g,b}$ คือ ค่าการสะท้อนแสงบริเวณสีดำของวัสดุพิมพ์

2.1.7 ระบบการวัดสี CIE

CIE (Commission International de l'Eclairage) ได้พัฒนาการหาตัวเลขแทนด้วยองค์ประกอบที่สำคัญในการมองเห็นสี 3 องค์ประกอบ คือ แหล่งกำเนิดแสง วัตถุมีสี และผู้สังเกตการณ์ เพื่อใช้ทดแทนวิธีการสังเกตด้วยสายตา ซึ่งจะมีความคลาดเคลื่อน และแปรเปลี่ยนค่าไปตามประสบการณ์ ความชำนาญของผู้สังเกตการณ์วัดเปรียบเทียบสี แต่ไม่สามารถกำหนดขอบเขตการยอมรับค่าสีเป็นตัวเลขที่ถูกต้องแน่นอนได้ [13]

2.1.7.1 แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐานซีไออี (CIE Standard Illuminants)

CIE ได้กำหนดแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐานต่าง ๆ ไว้ โดยให้มีค่าอุณหภูมิสี และการกระจายพลังงานแสงในแต่ละความยาวคลื่นดังต่อไปนี้

1 แหล่งกำเนิดแสง A เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีอุณหภูมิสีเทียบเคียง 2856 เคลวิน

2 แหล่งกำเนิดแสง B เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีอุณหภูมิสีเทียบเคียง 4874 เคลวิน

3 แหล่งกำเนิดแสง C เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีอุณหภูมิสีเทียบเคียง 6774 เคลวิน

4 แหล่งกำเนิดแสงกลางวัน (daylight) หรือแหล่งกำเนิดแสง D แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ แหล่งกำเนิดแสงที่มีอุณหภูมิสีเทียบเคียงที่ 5000, 5500, 6500 และ 7500 เคลวิน หรือแทนด้วยสัญลักษณ์ D50, D55, D65 และ D75 ตามลำดับ

5 แหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนซ์หรือแหล่งกำเนิดแสง F เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีอุณหภูมิสีเทียบเคียงตั้งแต่ 2940 ถึง 6500 เคลวิน

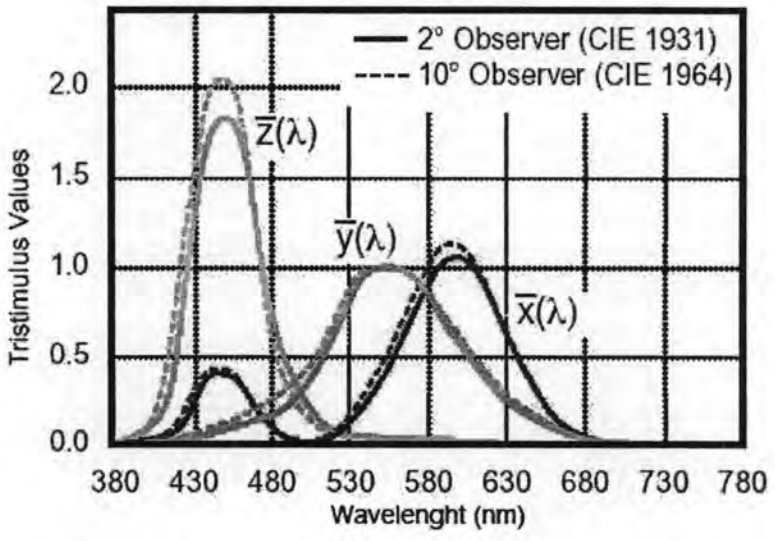
2.1.7.2 วัตถุมีสี

เมื่อแสงตกกระทบวัตถุมีสีจะเกิดปรากฏการณ์การสะท้อนแสง การส่องผ่านและการกระเจิงของแสง ซึ่งอนุภาคของสารให้สีจะดูดกลืนแสงบางช่วงคลื่นไว้ และสะท้อนแสงบางช่วง

คลื่น ทำให้เกิดการมองเห็นสีแตกต่างกันตามความยาวคลื่นที่สะท้อน ซึ่งค่าการสะท้อนแสงของวัตถุมีสีวัดได้จากเครื่องมือวัดสีที่เรียกว่า สเปกโทรโฟโตมิเตอร์หรือคัลเลอริมิเตอร์

2.1.7.3 ผู้สังเกตการณ์มาตรฐานซีไออี (ซีไออี Standard observer)

ในปี ค.ศ. 1931 ซีไออีกำหนดให้ผู้สังเกตการณ์ที่มีการมองเห็นสีปกติทำการทดลองเทียบปรับสี (Color matching experiment) ที่มุมการมอง 2 องศา (2° 1931 CIE Standard observer) แทนด้วยสัญลักษณ์ $\bar{x}$ $\bar{y}$ $\bar{z}$ เป็นมุมมองที่จะเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณที่มีเซลล์รูปกรวยเท่านั้น และในปี ค.ศ. 1964 ซีไออีกำหนดมุมการมอง 10 องศา (10° 1964 CIE Standard observer) แทนด้วยสัญลักษณ์ $\bar{x}_{10}$ $\bar{y}_{10}$ $\bar{z}_{10}$ การเพิ่มมุมการมองเพื่อที่เพิ่มความแม่นยำในการปรับเทียบสีให้มีความสัมพันธ์กับการมองสีของวัตถุที่มีขนาดใหญ่ ทำให้ภาพที่มองเห็นต้องอาศัยการทำงานของเซลล์รูปกรวยและเซลล์รูปแท่ง ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ผู้สังเกตการณ์ตามมาตรฐานซีไออีที่มุมการมอง 2° และ
ผู้สังเกตการณ์ตามมาตรฐานซีไออีที่มุมการมอง 10°

2.1.8 ค่าไตรสติมูลัส (Tristimulus values)

ค่าสีไตรสติมูลัสเป็นค่าสีในระบบการวัดสีซีไออีที่คำนวณจากค่าการกระจายพลังงานของแหล่งกำเนิดแสง การสะท้อนแสงของวัตถุ และการตอบสนองของตาทำให้สามารถระบุค่าสีของวัตถุออกเป็นตัวเลขได้ โดยนำค่าทั้งสามที่แต่ละความยาวคลื่นเดียวกันมารวมกันตั้งแต่ความยาว

คลื่นที่ 400 – 700 นาโนเมตร มาคูณกันได้เป็นค่าตัวเลขสามค่าที่ใช้ในการระบุสี ของวัตถุ คือ X, Y และ Z ดังสมการที่ 2.27 - 2.29 [13]

$$X = k \int_{400}^{700} S(\lambda)R(\lambda)\bar{x}(\lambda)d\lambda \qquad (2.27)$$

$$Y = k \int_{400}^{700} S(\lambda)R(\lambda)\bar{y}(\lambda)d\lambda \qquad (2.28)$$

$$Z = k \int_{400}^{700} S(\lambda)R(\lambda)\bar{z}(\lambda)d\lambda \qquad (2.29)$$

$$k = \frac{100}{\int_{400}^{700} S(\lambda)\bar{y}(\lambda)d\lambda} \qquad (2.30)$$

โดยที่

$S(\lambda)$ คือ ค่าการกระจายพลังงานสัมพันธ์ของแหล่งกำเนิดแสงในทุก ๆ ความยาวคลื่น 10 นาโนเมตร

$R(\lambda)$ คือ ค่าการสะท้อนแสงของตัวอย่างในทุก ๆ ความยาวคลื่น 10 นาโนเมตร

$\bar{x}\ \bar{y}\ \bar{z}$ คือ ฟังก์ชันความไวแสงของผู้สังเกตการณ์ตามมาตรฐานซีไออี ที่ 2° ปี1931 หรือ $\bar{x}_{10}\ \bar{y}_{10}\ \bar{z}_{10}$ คือ ฟังก์ชันความไวแสงของผู้สังเกตการณ์ตามมาตรฐานซีไออี ที่ 10° ปี 1964

k คือ ค่าคงที่

$d\lambda$ คือ ช่วงความยาวคลื่น

2.1.9 ปริภูมิสี $L^*a^*b^*$

ปริภูมิสี $L^*a^*b^*$ กำหนดขึ้นโดยซีไออี ในปี ค.ศ. 1976 แสดงขอบเขตสีที่ให้ระยะสเกลที่มีความสม่ำเสมอ ระบบสีประเภทนี้ประกอบด้วยตัวแปร 3 ค่า คือ ค่า L^* จะหมายถึง ความสว่างสี ตั้งแต่ 0 (ดำ) ถึง 100 (ขาว) อยู่ในแกนตั้งฉากกับระนาบ a^*, b^* ส่วนค่า a^* และ b^* เป็นค่าสัมประสิทธิ์สี

โดยที่

+ a^* หมายถึง อยู่ในทิศของสีแดง

– a^* หมายถึง อยู่ในทิศของสีเขียว

+ b^* หมายถึง อยู่ในทิศของสีเหลือง

– b^* หมายถึง อยู่ในทิศของสีน้ำเงิน

ส่วนพื้นที่ตรงกลางจะไม่สามารถแยกสีได้ (achromatic) เป็นตำแหน่งของสีกลาง คือ สีเทา ดังรูปที่ 2.15

ค่า $L^*a^*b^*$ สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.31 - 2.33 ดังนี้

$$L^* = 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 \qquad (2.31)$$

$$a^* = 500[(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}] \qquad (2.32)$$

$$b^* = 200[(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}] \qquad (2.33)$$

ถ้าค่า X/X_n, Y/Y_n, หรือ Z/Z_n มีค่าน้อยกว่า 0.008856 ต้องเปลี่ยนสมการที่ 2.34 – 2.36 ดังนี้

$(X/X_n)^{1/3}$ ถูกแทนโดย $7.787(X/X_n) + (16/116)$ (2.34)

$(Y/Y_n)^{1/3}$ ถูกแทนโดย $7.787(Y/Y_n) + (16/116)$ (2.35)

$(Z/Z_n)^{1/3}$ ถูกแทนโดย $7.787(Z/Z_n) + (16/116)$ (2.36)

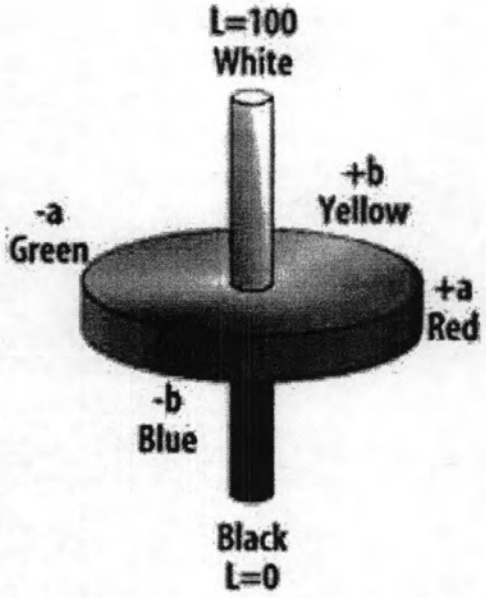
โดยที่

X Y Z คือ ค่าไตรสติมูลัสของตัวอย่าง สำหรับมาตรฐานการมองที่ 2°

หรือ X_{10} Y_{10} Z_{10} ค่าไตรสติมูลัสของตัวอย่าง สำหรับมาตรฐานการมองที่ 10°

X_n, Y_n, Z_n คือ ค่าไตรสติมูลัสของวัตถุที่มีการสะท้อนแสงกระเจิงอย่างสมบูรณ์ สำหรับมาตรฐานการมองที่ 2° [23]

หรือ X_{10n} Y_{10n} Z_{10n} คือ ค่าไตรสติมูลัสของวัตถุที่มีการสะท้อนแสงกระเจิงอย่างสมบูรณ์ สำหรับมาตรฐานการมองที่ 10°



รูปที่ 2.15 ปริภูมิสี $L^*a^*b^*$

2.1.10 ความแตกต่างของสี

ความแตกต่างของสี (ΔE^*_{ab}) ในปริภูมิสี $L^*a^*b^*$ แสดงถึงความแตกต่างของสีเท่านั้นไม่ได้ระบุทิศทางไว้ [13] สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.37 และ 2.38

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(L^*_1 - L^*_2)^2 + (a^*_1 - a^*_2)^2 + (b^*_1 - b^*_2)} \quad (2.37)$$

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)} \quad (2.38)$$

$$C^*_{ab} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (2.39)$$

$$\Delta C^*_{ab} = C^*_{ab1} - C^*_{ab2} \quad (2.40)$$

โดยที่

$L^*_1 a^*_1 b^*_1$ คือ ค่าสี CIE $L^*a^*b^*$ ของสีตัวอย่าง

$L^*_2 a^*_2 b^*_2$ คือ ค่าสี CIE $L^*a^*b^*$ ของสีหลักที่ใช้เทียบ

$\Delta L^* \Delta a^* \Delta b^*$ คือ ค่าความแตกต่างระหว่างพิกัดของสีทั้งสอง

C^*_{ab1} คือ ค่า chroma ของสีตัวอย่าง

C^*_{ab2} คือ ค่า chroma ของสีหลักที่ใช้เทียบ

ΔC^*_{ab} คือ ค่าความแตกต่างของค่า chroma ของสีทั้งสอง

2.1.11 การหาค่ารากกำลังสองเฉลี่ย

การคำนวณหาค่ารากกำลังสองเฉลี่ยในงานวิจัยนี้เป็นการหาค่าความแตกต่างระหว่างค่าสเปกตรัมที่ได้จากการวัดกับค่าสเปกตรัมที่ได้จากการคำนวณ ตั้งแต่ความยาวคลื่น 400 ถึง 700 นาโนเมตร ทุก ๆ 10 นาโนเมตร ดังสมการที่ 2.41

$$RMS = \sqrt{\frac{(R_{400} - \bar{R}_{400})^2 + (R_{410} - \bar{R}_{410})^2 + ...(R_{700} - \bar{R}_{700})^2}{\text{จำนวนข้อมูลทั้งหมด}}} \qquad (2.41)$$

โดยที่

R คือ ค่าสเปกตรัมที่ได้จากการคำนวณ ณ ความยาวคลื่นใด ๆ

$\bar{R}$ คือ ค่าสเปกตรัมที่ได้จากการวัด ณ ความยาวคลื่นใด ๆ

2.1.12 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quatitative Analysis)

ข้อมูลเชิงปริมาณ ได้แก่ ข้อมูลที่ได้จากการวัด การคำนวณ และรวบรวมอยู่ในรูปแบบตัวเลข เป็นต้น ข้อมูลที่ได้จากวัดเป็นตัวเลขที่อาจเป็นจำนวนเต็มหรือจำนวนที่เป็นทศนิยม ซึ่งถือว่าเป็นตัวเลขที่มีค่าต่อเนื่อง (continuous) การวิเคราะห์สำหรับข้อมูลเชิงปริมาณเพื่อหาค่าดังต่อไปนี้ [24]

2.1.12.1 ค่าเฉลี่ย (Average)

ค่าเฉลี่ย (Average) ใช้สัญลักษณ์ $\bar{X}$ เป็นค่าที่บอกศูนย์กลางของข้อมูล หาได้จากการนำข้อมูลแต่ละค่ามารวมกันแล้วหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด [24] ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 2.42

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \qquad (2.42)$$

โดยที่

$\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ย

$\sum X$ คือ ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2.1.12.2 ค่ามัธยฐาน (Median)

ค่ามัธยฐาน (Median) คือ ค่าของข้อมูลที่มีตำแหน่งตรงกลางข้อมูลทั้งหมด ในการหามัธยฐานของข้อมูลทั่ว ๆ ไปที่ยังไม่ได้แจกแจงความถี่ สามารถหาได้โดยการเรียงลำดับข้อมูลจากน้อยไปหามากหรือจากมากไปหาน้อย ถ้าจำนวนข้อมูลเป็นจำนวนคี่ ข้อมูลที่มีตำแหน่งอยู่ตรงกลางจะเป็นมัธยฐาน แต่ถ้าจำนวนข้อมูลเป็นจำนวนคู่ ค่ามัธยฐานหาได้จากการนำข้อมูล 2 ค่า ที่มีตำแหน่งอยู่ตรงกลางมารวมกันแล้วหารด้วย 2 [24]

2.1.12.3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) เป็นการวัดความเบี่ยงเบนของข้อมูลที่ออกมาจากค่าเฉลี่ยหรือเป็นการวัดความแตกต่างระหว่างข้อมูลแต่ละค่ากับค่าเฉลี่ย ถ้าความแตกต่างมีมากแสดงว่าข้อมูลมีการกระจายออกจากค่าเฉลี่ยมาก การวัดการกระจายของข้อมูล [24] โดยใช้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสามารถหาได้จากสมการที่ 2.43

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{N}} \qquad (2.43)$$

X คือ ค่าข้อมูลแต่ละค่า

$\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ย

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Imai และคณะ [2] ทำการศึกษาวิธีการผลิตภาพสีโดยใช้ข้อมูลสเปกตรัม โดยเริ่มกระบวนการจากการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัลผ่านฟิลเตอร์หลากสี เพื่อบันทึกข้อมูลสเปกตรัมของต้นฉบับและผ่านการประมวลผลภาพด้วยระบบ MVSI (Multi-channel Visible Spectrum Imaging) พิมพ์ผ่านเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตสีสี่ (CMYK) จากผลการทดลองพบว่า การผลิตสิ่งพิมพ์โดยอาศัยข้อมูลสเปกตรัมช่วยลดการเกิดเมแทเมอริซึม โดยการทำงานของระบบมีความถูกต้องเท่ากับ 1.5 ΔE^{*}_{94} และมีความผิดพลาดของค่าสเปกตรัมเท่ากับ 0.9 %

Hardeberg และคณะ [3] ทำการทดลองบันทึกข้อมูลสเปกตรัมของภาพผ่านระบบกล้องดิจิทัลที่ใช้ฟิลเตอร์แยกแสงสีจำนวนต่าง ๆ กัน ได้แก่ 5, 7 และ 10 แผ่นที่ให้ค่าการส่องผ่านครอบคลุม

ช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 400 – 700 นาโนเมตร จากนั้นทำการแปลงค่าข้อมูลการตอบสนองของกล้องที่บันทึกได้เป็นค่าสเปกตรัมด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ ผลการทดลองพบว่าความผิดพลาดของการทำนายค่าสีเมื่อใช้ฟิลเตอร์ 5 แผ่น เท่ากับ 1.58 ΔE^{*}_{94}, 7 แผ่น เท่ากับ 0.56 ΔE^{*}_{94} และ 10 แผ่น เท่ากับ 0.14 ΔE^{*}_{94}

Rosen และคณะ [4] ทำการทดสอบการพิมพ์ภาพสีด้วยเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตหกสี (CMYKGO) โดยการนำข้อมูลสเปกตรัมของภาพต้นฉบับผ่าน Look-up table ขนาด 5x5x5x5x5x5 เพื่อแปลงเป็นค่าสีในการสั่งพิมพ์ จากผลการทดลองพบว่า ค่าสเปกตรัมของภาพพิมพ์มีค่าคลาดเคลื่อนรากกำลังสองเฉลี่ย (RMS error) จากค่าต้นฉบับเท่ากับ 0.02

จากการทดลองของ Tzeng และ Berns [5,6] ในการพิมพ์ภาพสีด้วยเครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตหกสี โดยการประยุกต์ใช้สมการนอยกาบาวที่ปรับเปลี่ยนโดยใช้ยูล-นีลสัน (Yule-Nielson modified spectral Neugebauer equation) ในการแปลงค่าสเปกตรัมเป็นค่าสีที่ใช้สั่งพิมพ์ และเลือกชุดหมึกพิมพ์สี่สีจากหกสีที่ให้ผลความผิดพลาดของค่าสเปกตรัมดีที่สุด พบว่าได้ค่าคลาดเคลื่อนรากกำลังสองเฉลี่ย (RMS error) เท่ากับ 0.063 และค่าความแตกต่างสี ΔE^{*}_{94} เท่ากับ 1.16 [5] และมีการพัฒนางานวิจัยต่อมาได้ค่าความถูกต้องในการแปลงค่าสีโดยการทดสอบด้วยค่าคลาดเคลื่อนรากกำลังสองเฉลี่ย (RMS error) เท่ากับ 0.028 และค่าความแตกต่างสี ΔE^{*}_{94} เท่ากับ 2.3 [6]

Tzeng และ Berns [7] พัฒนาการเลือกชุดหมึกพิมพ์ที่เหมาะสมในการพิมพ์ภาพสีที่ให้ค่าสเปกตรัมใกล้เคียงกับต้นฉบับมากที่สุด โดยอาศัยแบบจำลองของสมการคูเบลคา-มังก์ (Kubelka-Munk equation) เลือกชุดหมึกพิมพ์ในการพิมพ์หกสี จากผลการทดลองพบว่า ภาพสีที่พิมพ์ได้มีความแตกต่างสีจากต้นฉบับ ΔE^{*}_{94} เท่ากับ 0.22