

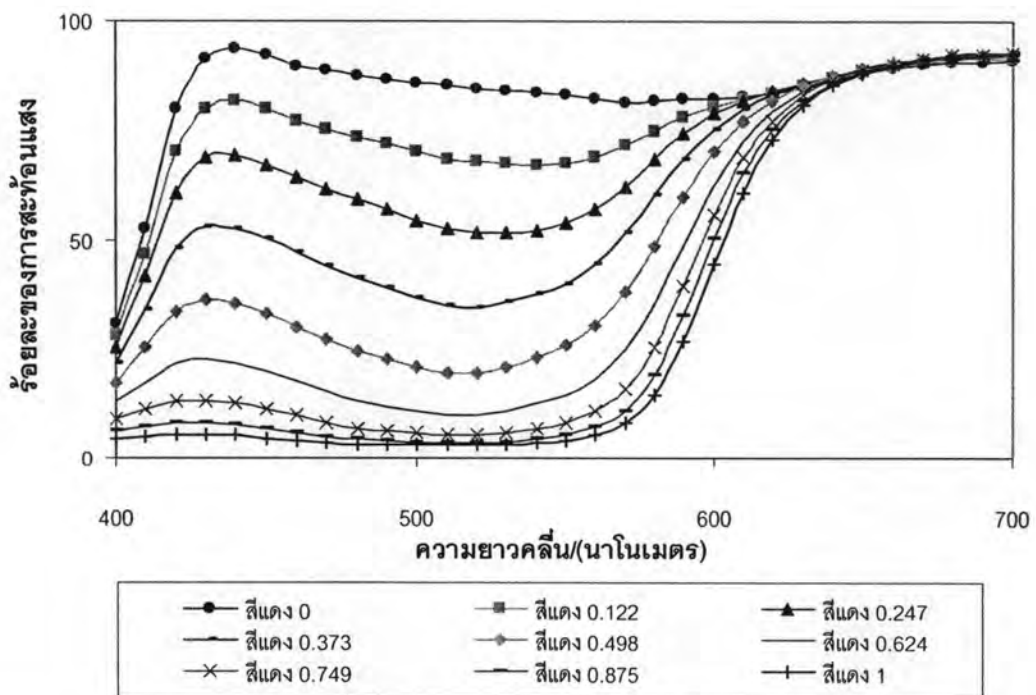
บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการหาลักษณะเฉพาะของเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ท

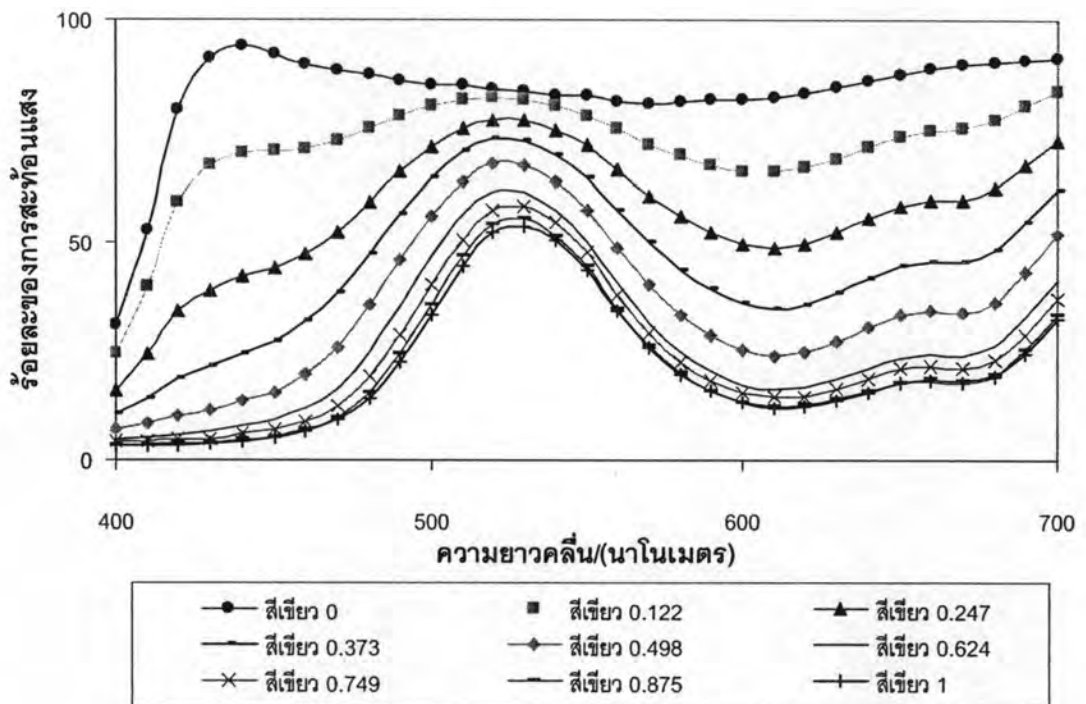
ชุดตัวอย่างสี (Training set) ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองลักษณะเฉพาะ ประกอบด้วย สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินที่ระดับความเข้มข้นของค่าสีต่าง ๆ บนกระดาษขาวมีค่าสเปกตรัมการสะท้อนแสงดังแสดงในรูปที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.1 การสะท้อนแสงของสีแดงที่ทุกความเข้มข้นของค่าสีที่แตกต่างกัน พบว่าเมื่อความเข้มข้นของค่าสีต่ำสุดพิมพ์ลงบนวัสดุพิมพ์ บริเวณนั้นมีการสะท้อนแสงสูงสุดในทุกช่วงความยาวคลื่น ซึ่งเป็นการสะท้อนแสงของกระดาษขาว เพราะที่ความเข้มข้นของค่าสีนี้จะไม่มีการพิมพ์สีใด ๆ ลงไปบนกระดาษ ส่วนสเปกตรัมของความเข้มข้นของค่าสีสูงสุดที่พิมพ์ลงบนวัสดุพิมพ์ พบว่ามีการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นของสีน้ำเงิน และสีเขียว (400 - 600 นาโนเมตร) น้อยที่สุด โดยที่ระดับความเข้มข้นของค่าสีอื่นที่ลดหลั่นลงมามีค่าการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นเดียวกันนี้เพิ่มขึ้นเป็นลำดับ ค่าการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นของสีแดง (600 - 700 นาโนเมตร) มีค่าที่เท่า ๆ กันในทุกระดับความเข้มข้นของค่าสี ดังนั้นเมื่อระดับความเข้มข้นของสีแดงลดลง ความอึมทัวสีจะลดลงและมีความสว่างสีเพิ่มขึ้น เพราะมีการสะท้อนแสงสีในช่วงความยาวคลื่นอื่นเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.1 การสะท้อนแสงของสีแดงที่ความเข้มข้นของค่าสีต่าง ๆ บนกระดาษขาว

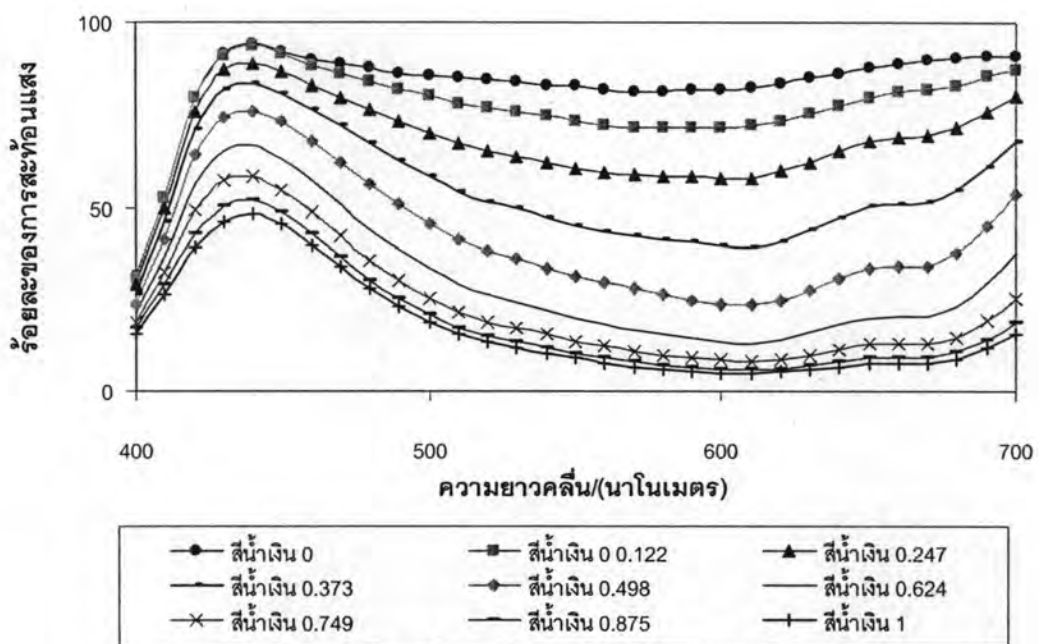
จากรูปที่ 4.2 การสะท้อนแสงของสีเขียวที่ทุกความเข้มข้นของค่าสีที่แตกต่างกัน พบว่า ความเข้มข้นของค่าสีต่ำสุดที่พิมพ์ลงบนวัสดุพิมพ์มีการสะท้อนแสงสูงสุดในทุกช่วงความยาวคลื่น ซึ่งเป็นการสะท้อนแสงของกระดาษขาว เพราะที่ความเข้มข้นของค่าสีนี้จะไม่มีการพิมพ์สีใด ๆ ลง ไปบนกระดาษ ส่วนสเปกตรัมของความเข้มข้นของค่าสีสูงสุดที่พิมพ์ลงบนวัสดุพิมพ์ พบว่ามีการ สะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นของสีน้ำเงิน (400 - 500 นาโนเมตร) และช่วงความยาวคลื่นของ สีแดง (600 - 700 นาโนเมตร) น้อยที่สุด โดยที่ระดับความเข้มข้นของค่าสีอื่นที่ลดหลั่นลงมามีค่าการ สะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นเดียวกันนี้เพิ่มขึ้นเป็นลำดับ ค่าการสะท้อนแสงในช่วงความยาว คลื่นของสีเขียว (500 - 600 นาโนเมตร) มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นลำดับเมื่อความเข้มข้นของค่าสีลดลง ดังนั้นเมื่อระดับความเข้มข้นของค่าสีเขียวลดลงความอึมทัวสีจะลดลงและมีความสว่างสีเพิ่มขึ้น เพราะมีการสะท้อนแสงสีในทุกช่วงความยาวคลื่นอื่นเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.2 การสะท้อนแสงของสีเขียวที่ความเข้มข้นของค่าสีต่าง ๆ บนกระดาษขาว

จากรูปที่ 4.3 การสะท้อนแสงของสีน้ำเงินที่ทุกความเข้มข้นของค่าสีที่แตกต่างกัน พบว่า ความเข้มข้นของค่าสีต่ำสุดที่พิมพ์ลงบนวัสดุพิมพ์มีการสะท้อนแสงสูงสุดในทุกช่วงความยาวคลื่น ซึ่งเป็นการสะท้อนแสงของกระดาษขาว เพราะที่ความเข้มข้นของค่าสีนี้จะไม่มีการพิมพ์สีใด ๆ ลง

ไปบนกระดาษ ส่วนสเปกตรัมของความเข้มข้นของค่าสีสูงสุดที่พิมพ์ลงบนวัสดุพิมพ์ พบว่ามีการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นของสีเขียว (500 - 600 นาโนเมตร) และช่วงความยาวคลื่นของสีแดง (600 - 700 นาโนเมตร) น้อยที่สุด โดยที่ระดับความเข้มข้นของค่าสีอื่นที่ลดหลั่นลงมามีค่าการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นเดียวกันนี้เพิ่มขึ้นเป็นลำดับ ส่วนค่าการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นของสีน้ำเงิน (400 - 500 นาโนเมตร) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของค่าสีลดลง ดังนั้นเมื่อระดับความเข้มข้นของค่าสีน้ำเงินลดลง ความอึมทัวสีจะลดลงและมีความสว่างสีเพิ่มขึ้น เพราะมีการสะท้อนแสงสีในช่วงความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองสรุปได้ว่าความเข้มข้นของค่าสีแปรผันตรงกับความอึมทัวสี แต่แปรผกผันกับความสว่างสี กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นของค่าสีเพิ่มขึ้น ตัวอย่างสีที่พิมพ์จะมีความเป็นสีมากขึ้นแต่มีความสว่างลดลง

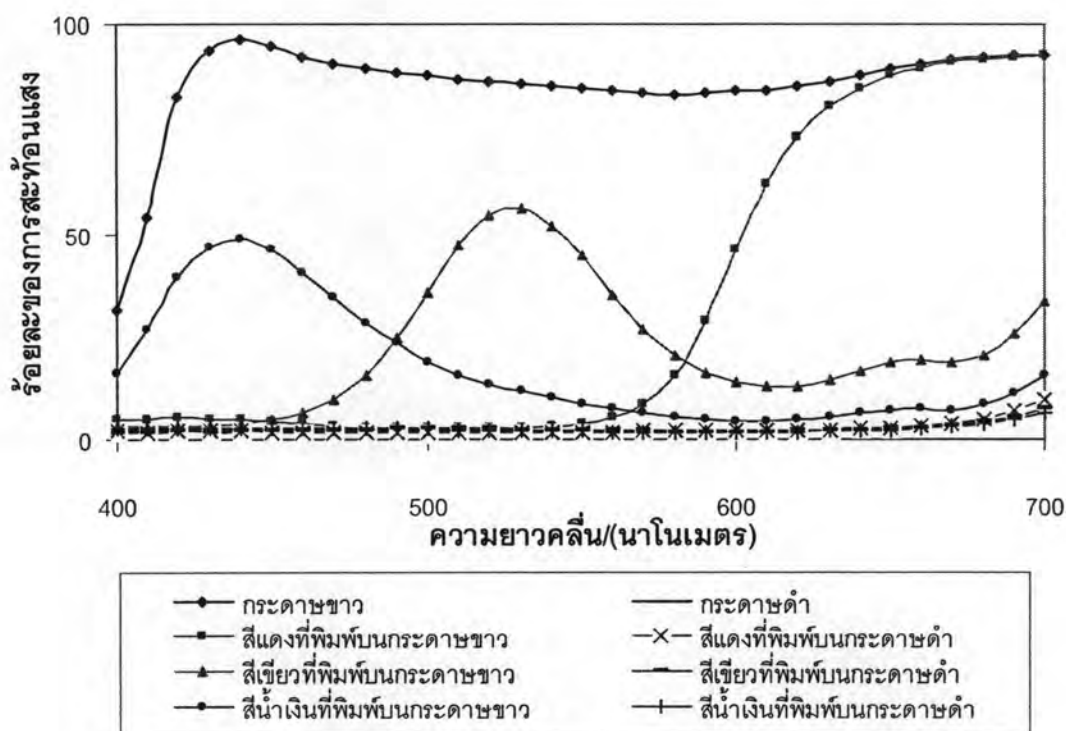


รูปที่ 4.3 การสะท้อนแสงของสีน้ำเงินที่ความเข้มข้นของค่าสีต่าง ๆ บนกระดาษขาว

การหาค่าการสะท้อนแสงของชั้นหมึกพิมพ์ที่ทึบแสงนั้น เราต้องพิมพ์หมึกลงบนวัสดุพิมพ์จนทึบแสง ซึ่งจะได้ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์มากทำให้เกิดการแห้งตัวช้าจึงเป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่งของการใช้สมการคูเบลคา-มังก์ ทำให้ต้องมีการหาค่าการสะท้อนแสงของชั้นหมึกพิมพ์ที่ทึบแสงโดยการพิมพ์หมึกลงบนกระดาษขาวและกระดาษดำ ซึ่งหากชั้นหมึกพิมพ์ที่ทึบแสงค่าการสะท้อนแสงที่ได้บนกระดาษขาวและกระดาษดำจะมีค่าเท่ากัน หากไม่เท่ากันแสดงว่ามีการสะท้อนแสงของกระดาษรวมอยู่ด้วย จากหลักการนี้สามารถนำมาหาค่าการสะท้อนแสงของชั้นหมึกพิมพ์ที่ทึบ

แสง (R_∞) ได้จากสมการที่ 2.22 ซึ่งคำนวณจากค่าการสะท้อนแสงของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินที่ระดับความเข้มข้นของค่าสีเท่ากับ 1 ที่พิมพ์บนกระดาษขาวและกระดาษดำ ได้ค่าการสะท้อนแสงของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินบนกระดาษขาวและกระดาษดำแสดงดังรูปที่ 4.4

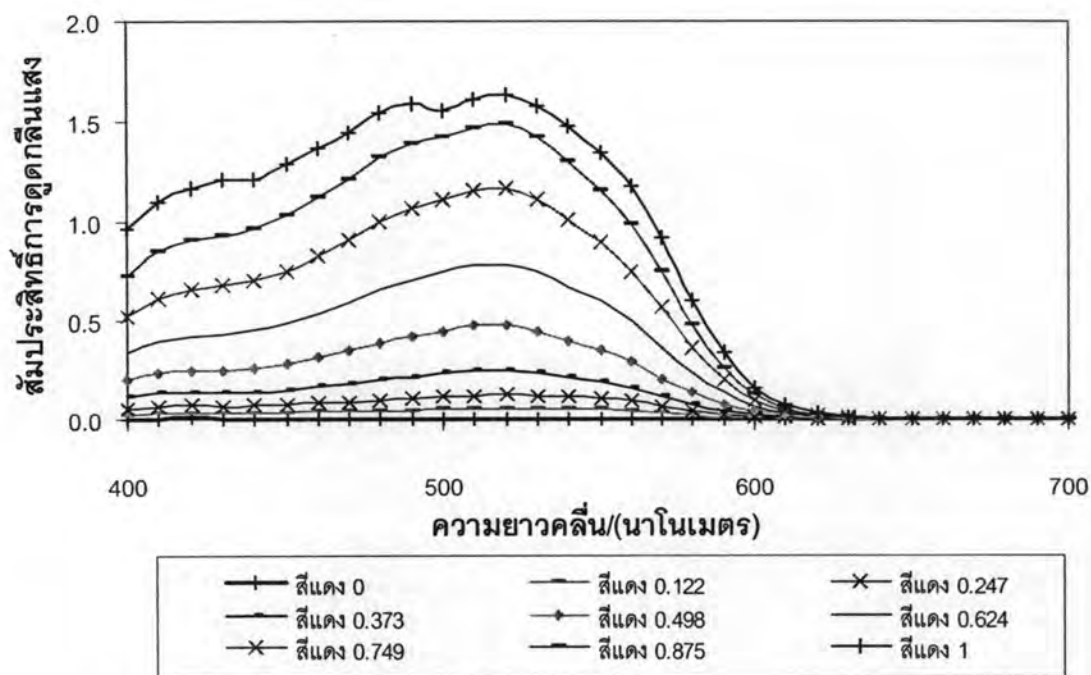
จากรูปที่ 4.4 เมื่อพิจารณาค่าสเปกตรัมของการสะท้อนแสงของแม่สีทั้งสามที่ความเข้มข้นของค่าสีเท่ากับ 1 บนกระดาษขาวและบนกระดาษดำ และค่าสเปกตรัมของการสะท้อนแสงของกระดาษพิมพ์ในบริเวณขาวและดำของวัสดุพิมพ์ พบว่าการสะท้อนแสงของสีแดงบนกระดาษขาวมีค่าในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 600 - 700 นาโนเมตร และสีเขียวอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 500 - 600 นาโนเมตร สีน้ำเงินอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 400 - 500 นาโนเมตร แต่การสะท้อนแสงของแม่สีทั้งสามบนกระดาษดำนั้นมีค่าเท่า ๆ กันในทุกช่วงความยาวคลื่น และมีค่าใกล้เคียงกับการสะท้อนแสงของกระดาษดำที่ไม่มีการพิมพ์สีใดลงไป แสดงให้เห็นว่าหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทเป็นหมึกพิมพ์ที่โปร่งแสง จึงต้องมีการคำนวณหาค่าการสะท้อนแสงของชั้นหมึกพิมพ์ที่บดแสง เพื่อให้การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงด้วยสมการคูเบลคา-มังก์มีความถูกต้อง



รูปที่ 4.4 การสะท้อนแสงของกระดาษพิมพ์ในบริเวณสีขาว ($R_{g,w}$) และสีดำของวัสดุพิมพ์ ($R_{g,b}$) บริเวณของแม่สีบนกระดาษขาว (R_w) และบริเวณของแม่สีบนกระดาษดำ (R_b)

ผลของการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของสีแดง สีเขียว และ สีน้ำเงินที่ระดับความเข้มข้นของค่าสีต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ

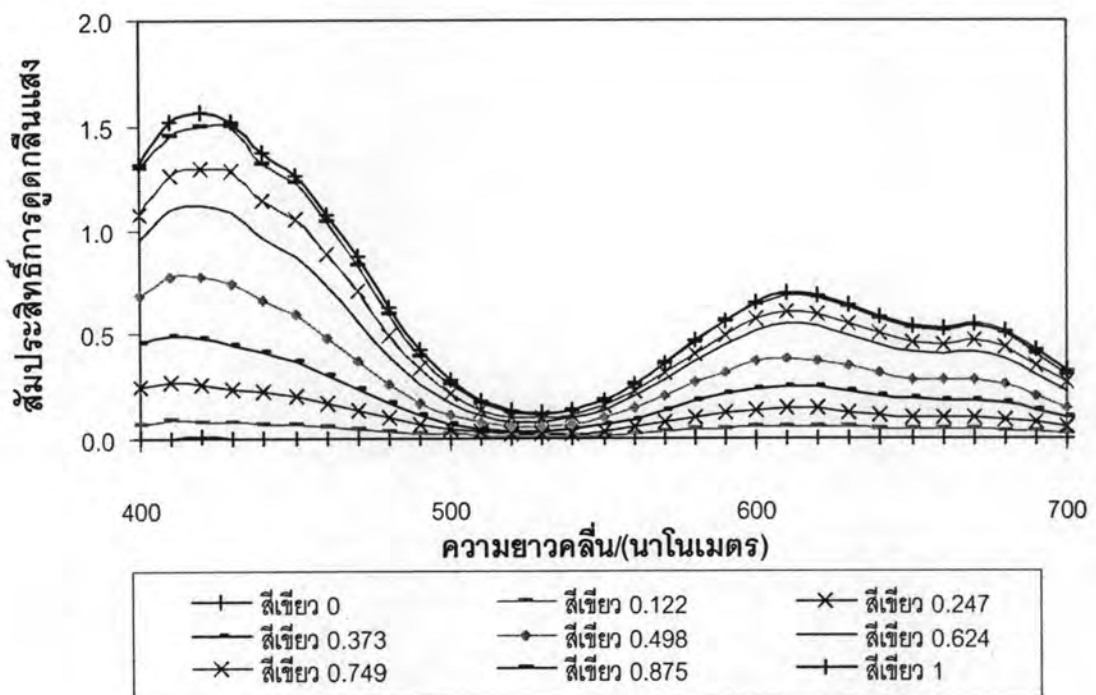
จากรูปที่ 4.5 พบว่าสีแดงมีการดูดกลืนแสงน้อยในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 600 - 700 นาโนเมตร มีค่าเท่ากับในทุกระดับความเข้มข้นของค่าสี ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 400 - 600 นาโนเมตร มีการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นของค่าสีสูงขึ้น ซึ่งผลการทดลองนี้ สอดคล้องกับผลค่าการสะท้อนแสงที่แสดงในรูปที่ 4.1 ในลักษณะผกผัน กล่าวคือ เมื่อมีการดูดกลืนแสงมากจะมีการสะท้อนแสงน้อย ดังจะเห็นได้จากสีแดงที่ระดับความเข้มข้นของค่าสี เท่ากับ 1 มีการดูดกลืนแสงสูงสุดในช่วงความยาวคลื่น 400 - 600 นาโนเมตร จะมีการสะท้อนแสง ในช่วงนี้น้อย ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง จึงใช้เชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของค่าสีกับค่าการสะท้อนแสงในสเปกตรัมได้



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของค่าสีแดง

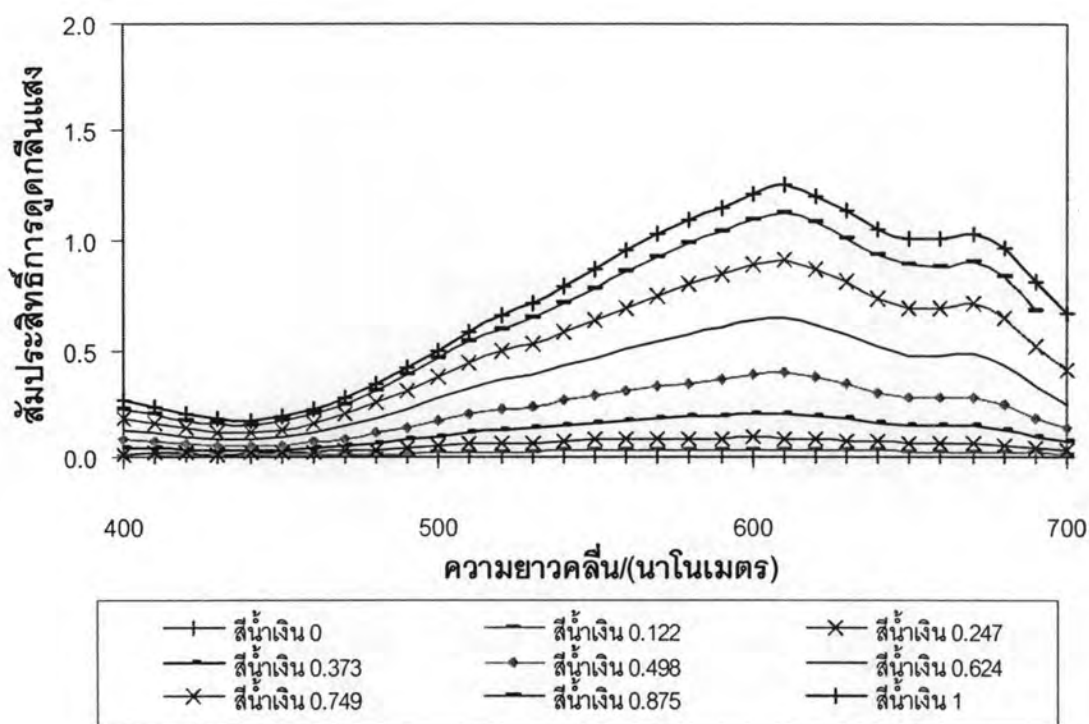
จากรูปที่ 4.6 พบว่าสีเขียวมีการดูดกลืนแสงน้อยในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 500 - 600 นาโนเมตร และมีค่าเท่า ๆ กันในทุกระดับความเข้มข้นของค่าสี ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 400 - 500 นาโนเมตร และในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 600 - 700 นาโนเมตร มีการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นของค่าสีสูงขึ้น ซึ่งผลการทดลองนี้ สอดคล้องกับผลค่าการ

สะท้อนแสงที่แสดงในรูปที่ 4.2 ในลักษณะผกผัน กล่าวคือ เมื่อมีการดูดกลืนแสงมากจะมีการสะท้อนแสงน้อย ดังจะเห็นได้จากสีเขียวที่ระดับความเข้มข้นของค่าสีเท่ากับ 1 และมีการดูดกลืนแสงน้อยที่สุดในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 500 - 600 นาโนเมตร จะมีการสะท้อนแสงในช่วงนี้มาก ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง จึงใช้เชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของค่าสีกับค่าการสะท้อนแสงในสเปกตรัมได้



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของค่าสีเขียว

จากรูปที่ 4.7 พบว่าสีน้ำเงินมีการดูดกลืนแสงน้อยในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 400 - 500 นาโนเมตร มีค่าใกล้เคียงในทุกระดับความเข้มข้นของค่าสี ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 500 - 700 นาโนเมตร มีการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นของค่าสีสูงขึ้น ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลค่าการสะท้อนแสงที่แสดงในรูปที่ 4.3 ในลักษณะผกผัน กล่าวคือ เมื่อมีการดูดกลืนแสงมาก จะมีการการสะท้อนแสงน้อย ดังจะเห็นได้จากสีน้ำเงินที่ระดับความเข้มข้นของค่าสีเท่ากับ 1 มีการดูดกลืนแสงสูงสุดในช่วงความยาวคลื่น 500 - 700 นาโนเมตร จะมีการสะท้อนแสงในช่วงนี้น้อย ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง จึงใช้เชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของค่าสีกับค่าการสะท้อนแสงในสเปกตรัมได้



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูคลิ่นแสงและความเข้มข้นของค่าสีน้ำเงิน

4.2 ผลการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองลักษณะเฉพาะ

4.2.1 ผลการทดสอบการทำนายค่าสเปกตรัม

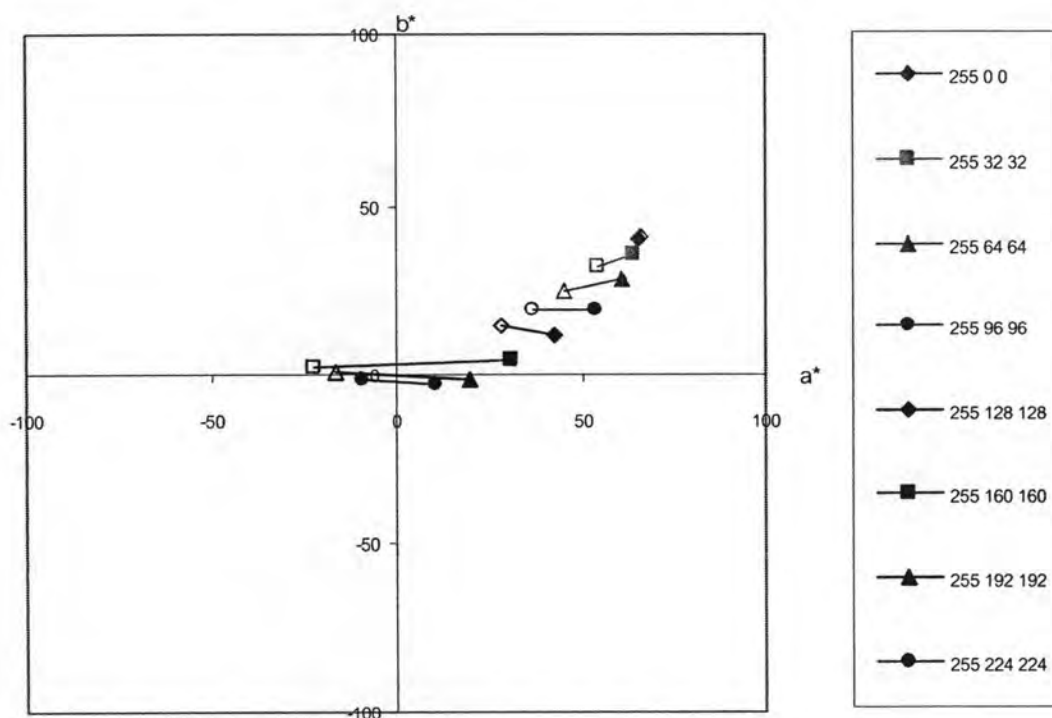
การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองลักษณะเฉพาะที่สร้างขึ้นใช้ชุดตัวอย่างสีที่ประกอบด้วย ตัวอย่างสีทดสอบจำนวน 50 ตัวอย่างสี ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชุดตัวอย่างสี ได้แก่ 1.ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน จำนวน 24 ตัวอย่างสี 2.ชุดตัวอย่างสีทดสอบ Gray scale จำนวน 8 ตัวอย่างสี และ 3.ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีผสมจำนวน 18 ตัวอย่างสี จากการทดสอบทั้ง 3 ชุดตัวอย่างสีทดสอบ ได้ผลการกระจายตัวของค่าสี a' b' ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน D65, A และ F11 ดังนี้

4.2.1.1 ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีแดง

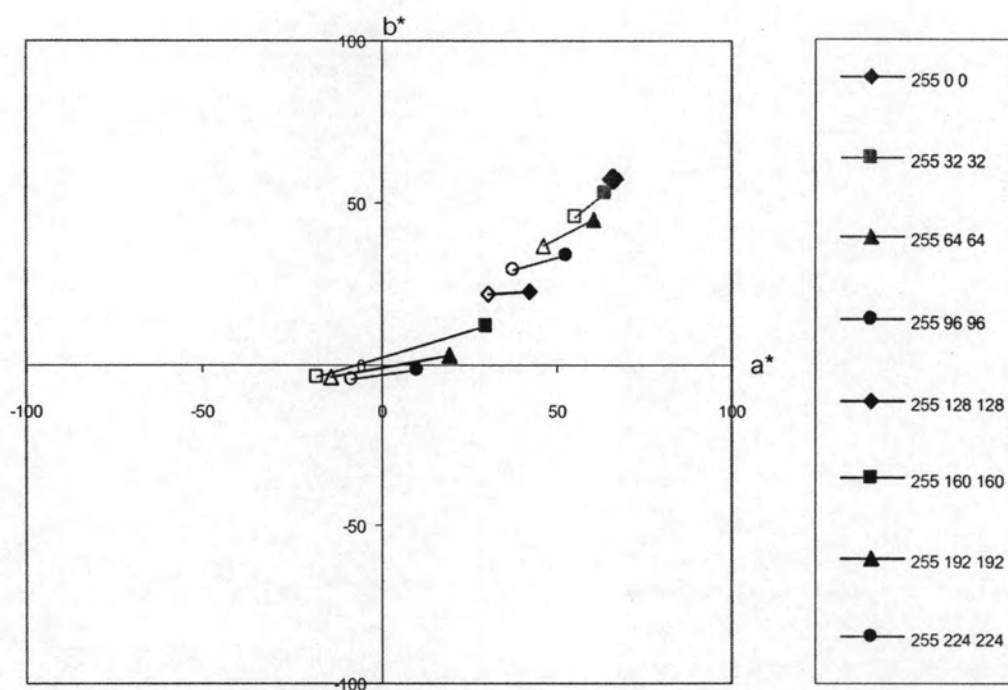
ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีแดงจำนวน 8 ตัวอย่างสี มีการกระจายตัวของค่าสี a' b' ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน D65, A และ F11 ดังแสดงในรูปที่ 4.8 - 4.10 ตามลำดับ โดย

รูปสัญลักษณ์ที่บแสดงค่าสีเริ่มต้น และสัญลักษณ์โปร่งแสดงค่าสีทำนายเส้นตรงเชื่อมระหว่างคู่สีแสดงทิศทางและขนาดความผิดพลาดในการทำนายค่าสี

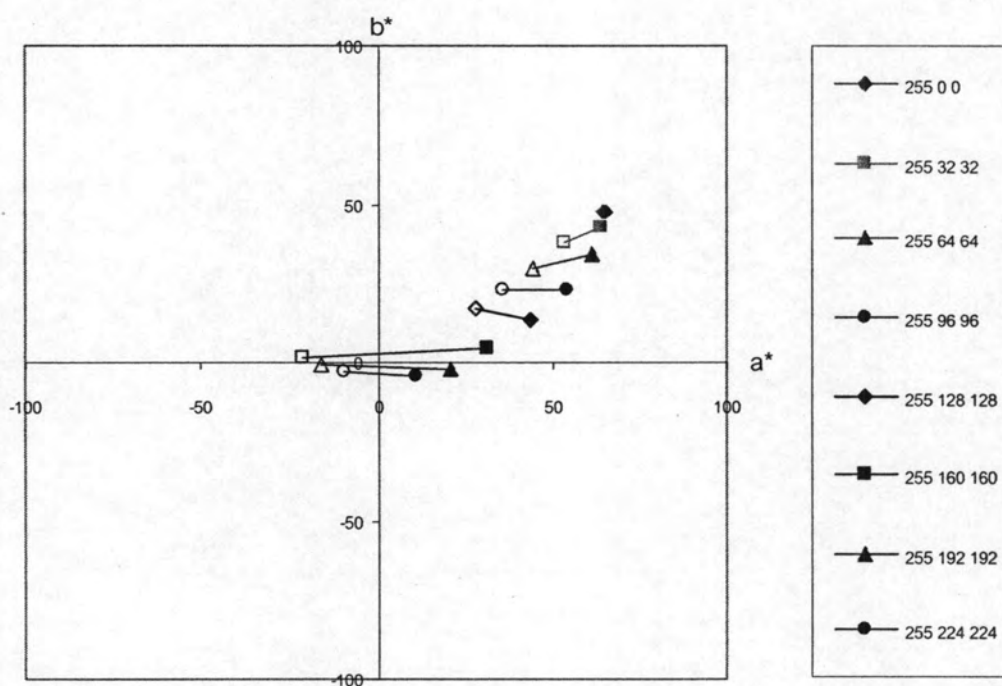
จากรูปที่ 4.8 - 4.10 พบว่า a^* b^* ของชุดตัวอย่างทดสอบของสีแดงมีการกระจายตัวอยู่ในบริเวณขอบเขตสีแดงที่ระดับความอิ่มตัวสีแตกต่างกัน ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงทั้ง 3 แหล่ง โดยภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A ค่าสี a^* b^* จะค่อนข้างไปทางแกน $+b^*$ มากกว่าภายใต้อีก 2 แหล่งกำเนิดแสง (นั่นคือมี hue-angle มากกว่า) แสดงว่าตัวอย่างสีเหล่านี้เมื่อมองภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A จะมีเฉดสีค่อนข้างสีเหลืองมากขึ้น และเมื่อพิจารณาทิศทางและขนาดความผิดพลาดของค่าที่ทำนาย พบว่าค่าสีภายใต้แหล่งกำเนิดแสงทั้ง 3 แหล่งให้ผลที่มีแนวโน้มเดียวกัน คือ สีที่ทำนายได้จะมีความผิดพลาดไปในทิศทางของสีเหลือง และมีค่าความอิ่มตัวสีลดลง โดยในตัวอย่างสีที่มีความอิ่มตัวสีสูงจะมีความผิดพลาดของความอิ่มตัวสีสูงกว่าตัวอย่างสีที่มีความอิ่มตัวสีต่ำ แต่ในตัวอย่างสีที่มีความอิ่มตัวต่ำนี้ จะมีความผิดพลาดของเฉดสีมากกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าตัวอย่างสีที่มีความอิ่มตัวสีสูงมีความผิดพลาดในการทำนายน้อยกว่าตัวอย่างสีที่มีความอิ่มตัวสีต่ำ



รูปที่ 4.8 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีแดง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65



รูปที่ 4.9 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีแดง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A



รูปที่ 4.10 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีแดง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11

ในการวิเคราะห์ผลเชิงปริมาณของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีแดง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65, A และ F11 จากค่าความแตกต่างสี ($\Delta E'_{ab}$) และค่า RMS ได้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่า $\Delta E'_{ab}$ และค่า RMS ของสีแดง ในการทำนายค่าสเปกตรัม

ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสี แดง	$\Delta E'_{ab}$			RMS
	D65	A	F11	
Median	28.91	30.09	30.47	29.32
Mean	28.44	28.65	29.34	26.87
Minimum	0.60	0.66	0.43	0.49
Maximum	53.58	53.24	53.97	45.89
Standard deviation	16.97	16.78	17.14	14.43

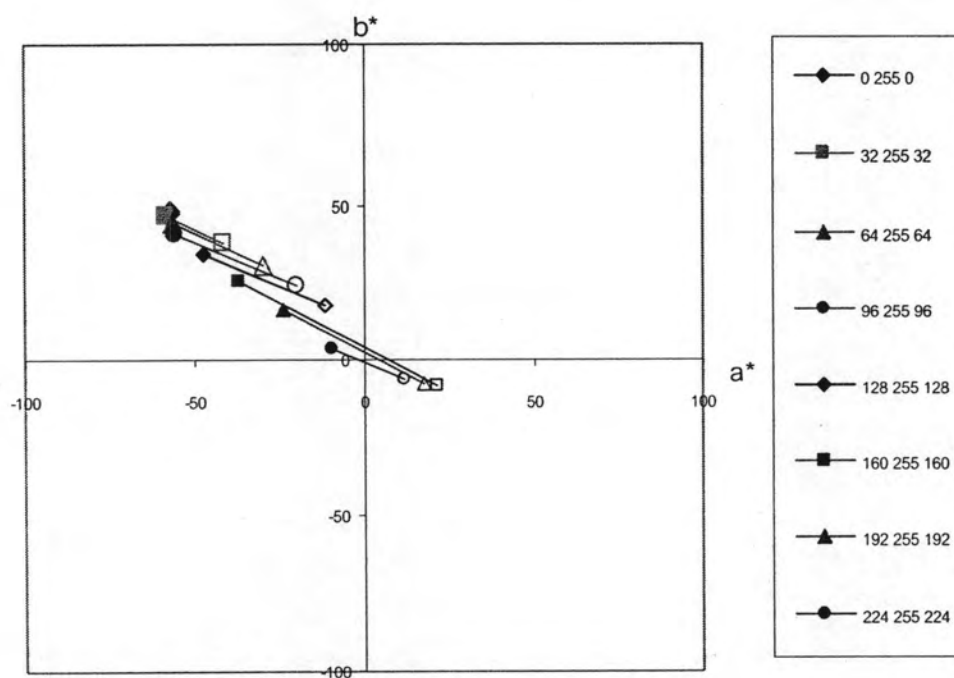
จากตารางที่ 4.1 พบว่าค่า $\Delta E'_{ab}$ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงทั้ง 3 แหล่ง มีค่า Median และค่า Mean ไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อพิจารณาที่ค่า Standard deviation พบว่าภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65, A และ F11 มีค่าใกล้เคียงกัน ในส่วนของค่า RMS มีค่า Median และค่า Mean แตกต่างกันอย่างเล็กน้อย แต่เมื่อพิจารณาค่า Standard deviation ถือได้ว่าค่าทั้งสองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าความผิดพลาดของการทำนายค่าสีภายใต้แหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกัน มีค่าใกล้เคียงกันมากและไม่เกิดปรากฏการณ์เมแทเมอร์ซีมเนื่องด้วยแหล่งกำเนิดแสง

4.2.1.2 ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีเขียว

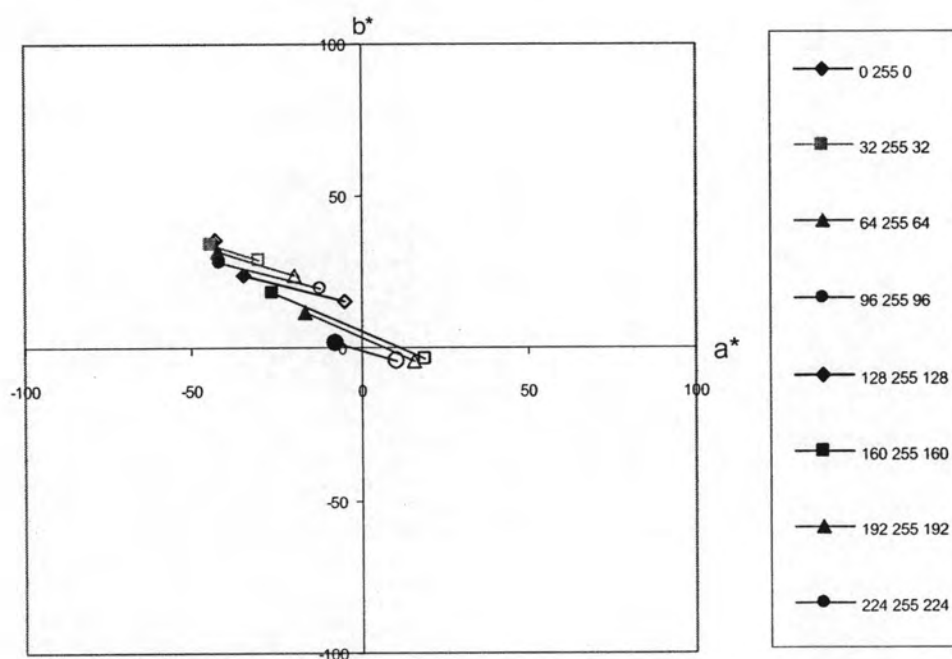
ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีเขียวจำนวน 8 ตัวอย่างสี มีการกระจายตัวของค่าสี a' b' ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน D65, A และ F11 ดังแสดงในรูปที่ 4.11 - 4.13 ตามลำดับ โดยสัญลักษณ์ที่บ่งแสดงค่าสีตัวอย่าง และสัญลักษณ์โปร่งแสดงค่าสีทำนาย เส้นตรงเชื่อมระหว่างคู่สีแสดงทิศทางและขนาดความผิดพลาดของการทำนาย

จากรูปที่ 4.11 - 4.13 พบว่า a' b' ของชุดตัวอย่างทดสอบของสีเขียวมีการกระจายตัวอยู่ในบริเวณขอบเขตสีเขียวที่ระดับความอิ่มตัวต่าง ๆ กัน โดยภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A ตัวอย่างสีจะปรากฏมีความอิ่มตัวสีต่ำกว่าภายใต้แหล่งกำเนิดแสงอื่น เมื่อพิจารณาทิศทางความผิดพลาดของค่าสีที่ทำนาย พบว่าค่าสีที่ทำนายมีแนวโน้มมีค่าความอิ่มตัวสีน้อยกว่าสี

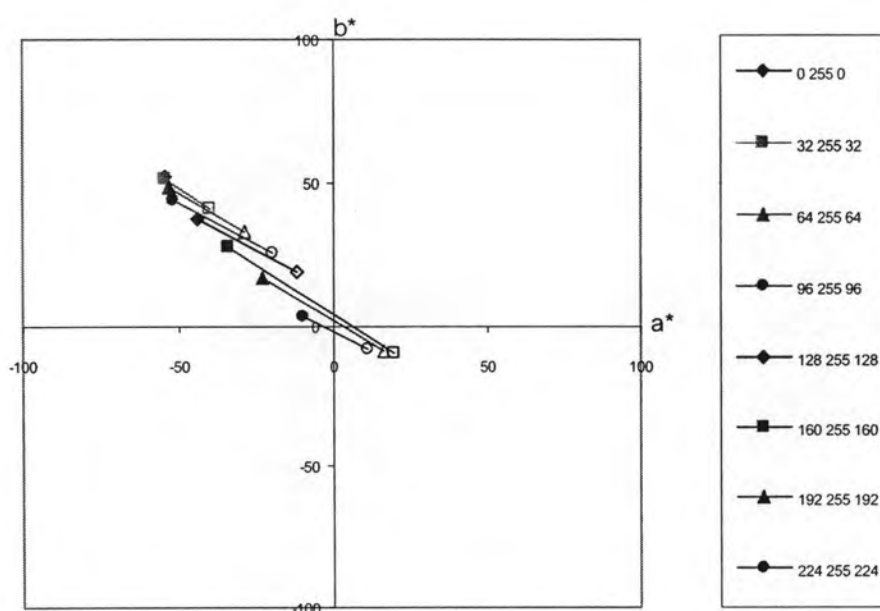
ตัวอย่าง โดยยังคงเป็นเฉดสีเดิมยกเว้นตัวอย่างสีที่มีความอิ่มตัวสีต่ำ ยิ่งสีตัวอย่างที่มีความอิ่มตัวสีมาก อัตราความผิดพลาดของค่าความอิ่มตัวสีจะน้อยกว่าเมื่อตัวอย่างสีมีความอิ่มตัวสีน้อย



รูปที่ 4.11 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีเขียว ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65



รูปที่ 4.12 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีเขียว ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A



รูปที่ 4.13 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีเขียว ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11

ในการวิเคราะห์ผลเชิงปริมาณของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีเขียว ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65, A และ F11 จากค่าความแตกต่างสี (ΔE_{ab}^*) และค่า RMS ได้ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่า ΔE_{ab}^* และค่า RMS ของสีเขียว ในการทำนายค่าสเปกตรัม

ชุดตัวอย่างสีทดสอบของ สีเขียว	ΔE_{ab}^*			RMS
	D65	A	F11	
Median	42.27	34.66	40.84	19.67
Mean	38.97	31.47	38.01	18.02
Minimum	0.36	0.39	0.35	0.12
Maximum	71.25	53.70	69.97	31.62
Standard deviation	22.57	17.79	22.13	9.97

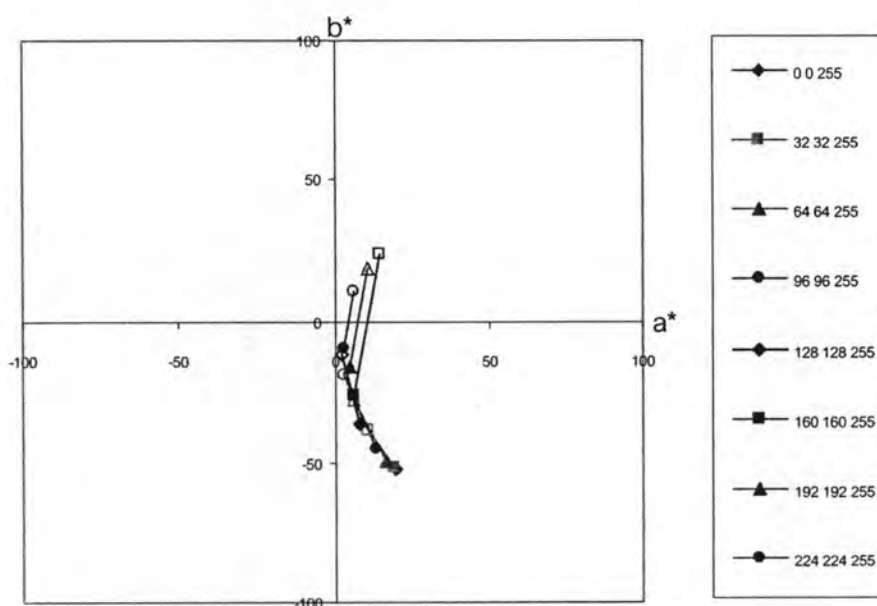
จากตารางที่ 4.2 พบว่าค่า ΔE_{ab}^* ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงทั้ง 3 แหล่ง มีค่า Median และค่า Mean ไม่แตกต่างกันมาก เมื่อพิจารณาที่ค่า Standard deviation พบว่าภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65, A และ F11 มีค่าเท่ากับ 22.57, 17.79 และ 22.13 ตามลำดับ ในส่วนของค่า RMS มีค่า Median

และค่า Mean ไม่แตกต่างกัน จากผลการทดลองแสดงว่าความผิดพลาดในการทำนายค่าสีภายใต้แหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกันมีค่าใกล้เคียง ไม่มีผลให้เกิดเมแทเมอร์ซิม

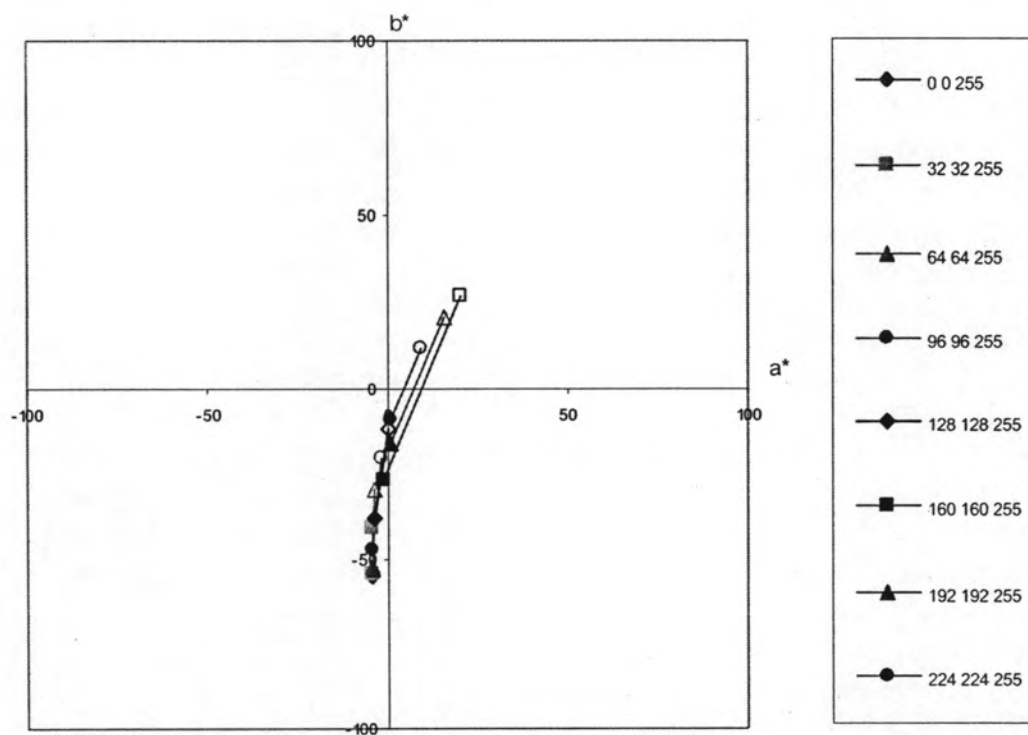
4.2.1.3 ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีน้ำเงิน

ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีน้ำเงินจำนวน 8 ตัวอย่างสี มีการกระจายตัวของค่าสี a^* b^* ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน D65, A และ F11 ดังแสดงในรูปที่ 4.14 - 4.16 ตามลำดับ โดยสัญลักษณ์ที่บ่งแสดงค่าสีตัวอย่าง และสัญลักษณ์โปร่งแสดงค่าสีทำนาย เส้นตรงเชื่อมระหว่างคู่สีแสดงทิศทางและขนาดความผิดพลาดของการทำนาย

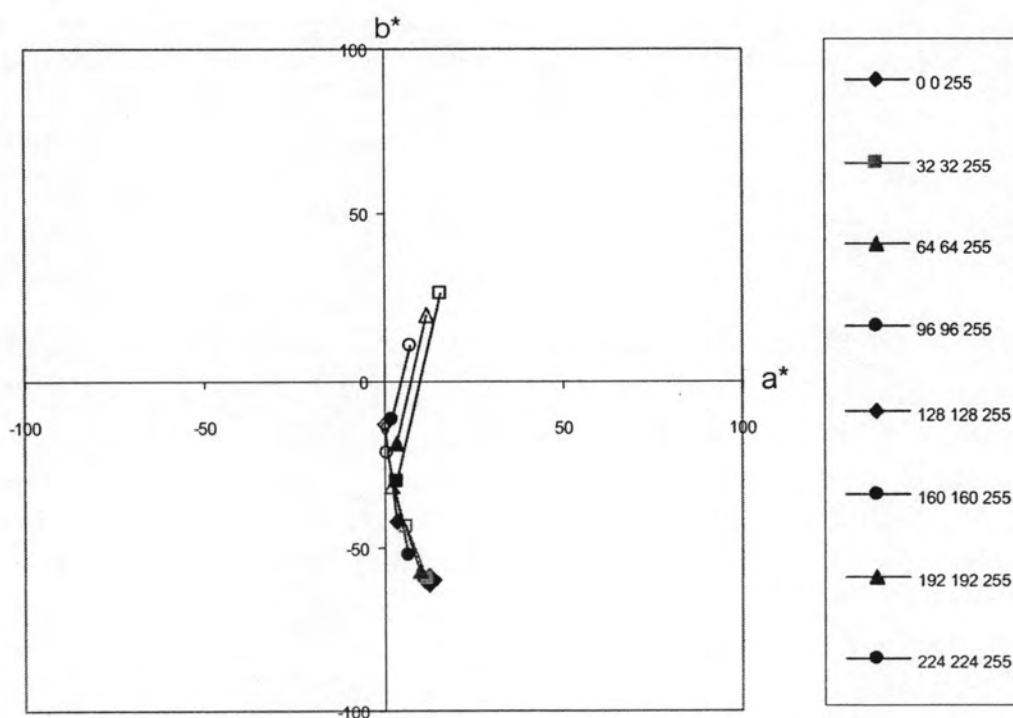
จากรูปที่ 4.14 - 4.16 พบว่า a^* b^* ของชุดตัวอย่างทดสอบของสีน้ำเงินมีการกระจายตัวอยู่ในบริเวณขอบเขตสีน้ำเงินที่ระดับความอิ่มตัวต่าง ๆ กัน โดยภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65 และ F11 ตัวอย่างสีจะปรากฏสีค่อนข้างไปทางเฉดสีม่วงน้ำเงิน ส่วนตัวอย่างสีภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A จะปรากฏสีค่อนข้างไปทางเฉดสีไซแอน เมื่อพิจารณาความผิดพลาดของการทำนายค่าสี พบว่าสีที่ทำนายได้มีความอิ่มตัวน้อยกว่าสีตัวอย่าง และที่ความอิ่มตัวสีต่ำ ๆ จะเบี่ยงเบนไปทางของเฉดสีแดง ซึ่งมีแนวโน้มเหมือนกันทั้ง 3 แหล่งกำเนิดแสง



รูปที่ 4.14 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีน้ำเงิน ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65



รูปที่ 4.15 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีน้ำเงิน ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A



รูปที่ 4.16 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีน้ำเงิน ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11

ในการวิเคราะห์ผลเชิงปริมาณของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีน้ำเงิน ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65, A และ F11 จากค่าความแตกต่างสี ($\Delta E'_{ab}$) และค่า RMS ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่า $\Delta E'_{ab}$ และค่า RMS ของสีน้ำเงิน ในการทำนายค่าสเปกตรัม

ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสี น้ำเงิน	$\Delta E'_{ab}$			RMS
	D65	A	F11	
Median	32.45	30.95	34.27	24.44
Mean	29.82	30.62	32.09	22.16
Minimum	0.38	0.34	0.36	0.27
Maximum	51.55	58.29	58.31	38.71
Standard deviation	16.73	18.32	18.29	12.63

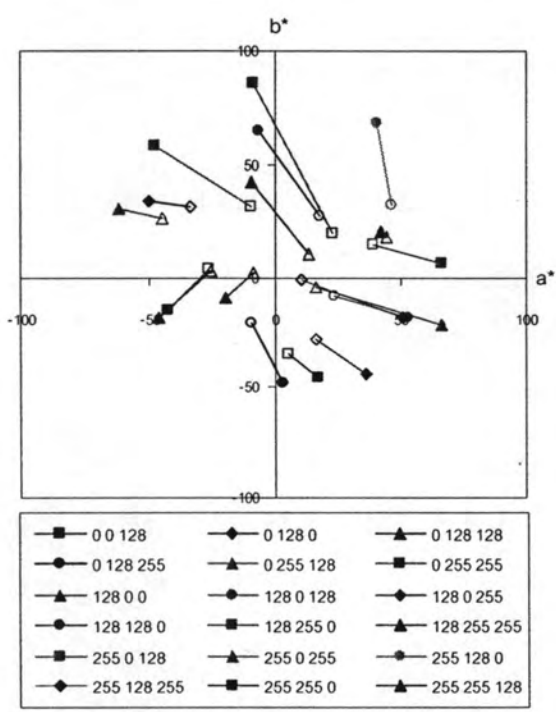
จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่า $\Delta E'_{ab}$ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65 มีค่า Median และค่า Mean ไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาที่ค่า Standard deviation พบว่าภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65, A และ F11 มีค่าเท่ากับ 16.73, 18.32 และ 18.29 ตามลำดับ ในส่วนของค่า RMS มีค่า Median เท่ากับ 24.44 และค่า Mean เท่ากับ 22.16 แสดงให้เห็นว่าความผิดพลาดของการทำนายค่าสีภายใต้แหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกัน มีค่าใกล้เคียงกันมากและไม่เกิดปรากฏการณ์เมแทเมอร์ซีมเนื่องด้วยแหล่งกำเนิดแสง

4.2.1.4 ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีผสม

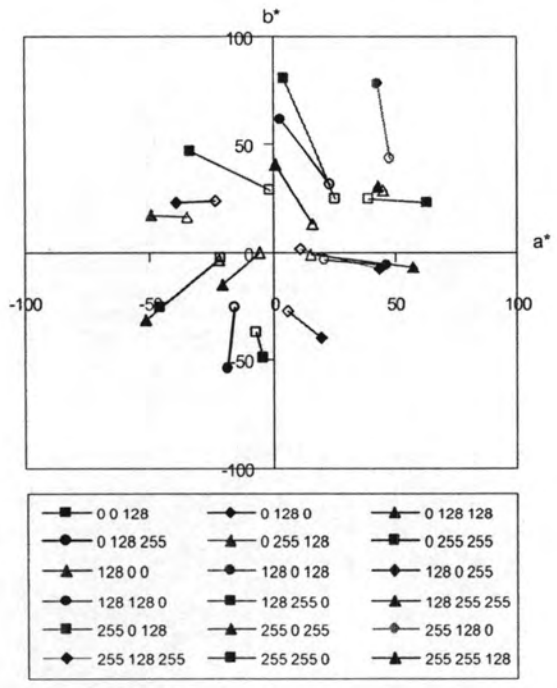
ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีผสมจำนวน 18 ตัวอย่างสี มีการกระจายตัวของค่าสี a' b' ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน D65, A และ F11 ดังแสดงในรูปที่ 4.17 - 4.19 ตามลำดับ โดยสัญลักษณ์ที่บแสดงค่าสีตัวอย่าง และสัญลักษณ์โปร่งแสดงค่าสีทำนาย เส้นตรงเชื่อมระหว่างคู่สีแสดงทิศทางและขนาดความผิดพลาดของการทำนาย

จากรูปที่ 4.17 - 4.19 พบว่า a' b' ของชุดตัวอย่างทดสอบของสีผสมมีการกระจายตัวครอบคลุมทุกเฉดสี โดยเฉดสีที่ปรากฏภายใต้แหล่งกำเนิดแสงที่ต่างกันของตัวอย่างสีมีความแตกต่างกันเล็กน้อย เมื่อพิจารณาโดยรวมพบว่าความผิดพลาดของการทำนายค่าสีมีทิศทางไปในทางที่มีความอึมตัวสีต่ำลงในทุกเฉดสี ความผิดพลาดในการทำนายเฉดสีพบมากที่สุดใ

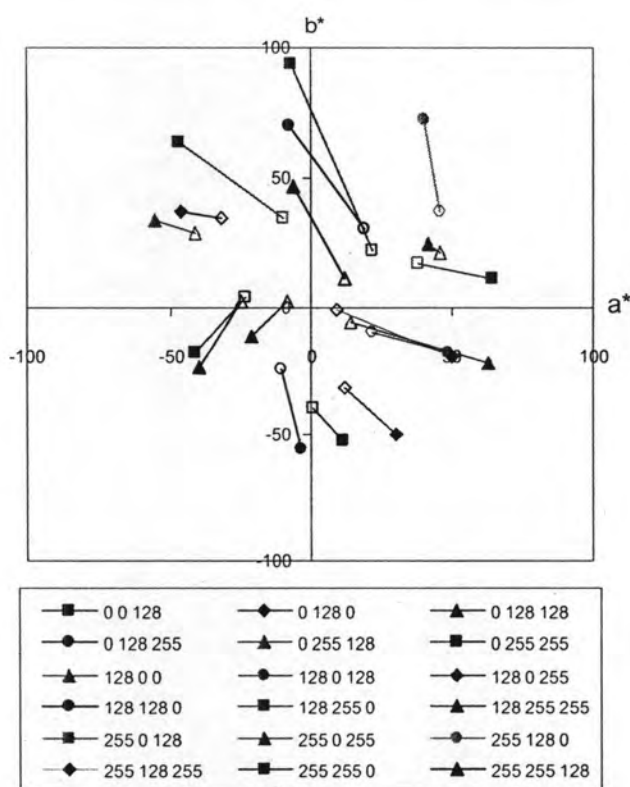
ตัวอย่างสีเหลือง ค่าสีที่ทำนายได้จะมีเฉดสีไปทางสีแดง ในขณะที่ตัวอย่างสีอื่น ๆ จะมีการเบี่ยงเบนของเฉดสีเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 4.17 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีผสม ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65



รูปที่ 4.18 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีผสม ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A



รูปที่ 4.19 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีผสม ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11

ในการวิเคราะห์ผลเชิงปริมาณของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีผสม ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65, A และ F11 จากค่าความแตกต่างสี (ΔE_{ab}^*) และค่า RMS ได้ผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่า ΔE_{ab}^* และค่า RMS ของสีผสม ในการทำนายค่าสเปกตรัม

ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีผสม	ΔE_{ab}^*			RMS
	D65	A	F11	
Median	42.20	39.86	43.35	31.24
Mean	46.92	44.36	47.53	32.09
Minimum	23.72	20.99	22.08	7.14
Maximum	94.45	84.07	98.39	65.49
Standard deviation	19.34	17.61	20.25	18.25

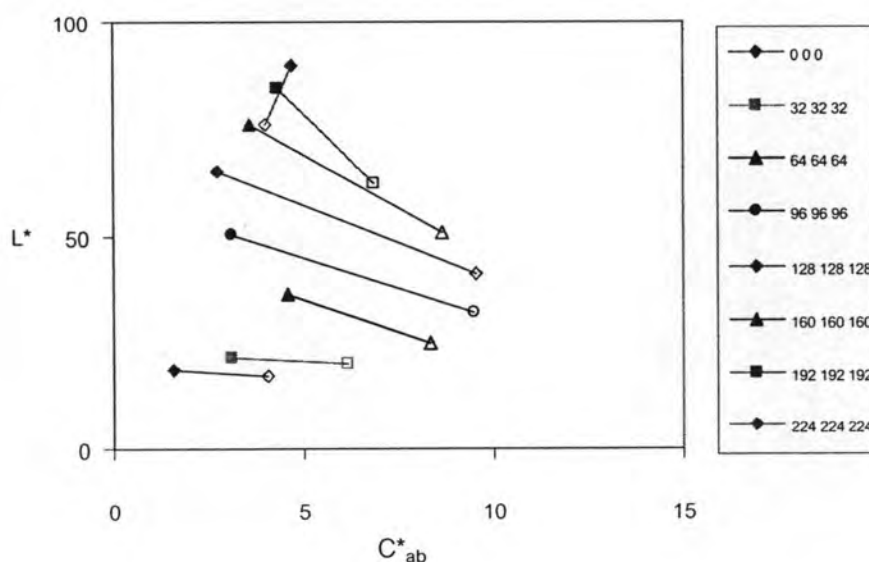
จากตารางที่ 4.4 พบว่าค่า ΔE_{ab}^* ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงทั้ง 3 แหล่ง มีค่า Median และค่า Mean ไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาที่ค่า Standard deviation พบว่าภายใต้แหล่งกำเนิดแสง

D65, A และ F11 มีค่าเท่ากับ 19.34, 17.61 และ 20.25 ตามลำดับ ในส่วนของค่า RMS มีค่า Median เท่ากับ 31.24 และค่า Mean เท่ากับ 32.09 จะเห็นได้ว่าความผิดพลาดของการทำนายมีค่าใกล้เคียงกันในทุกแหล่งกำเนิดแสง จึงมีแนวโน้มในการเกิดเมแทเมอร์ซีมเนื่องด้วยแหล่งกำเนิดแสงต่ำ

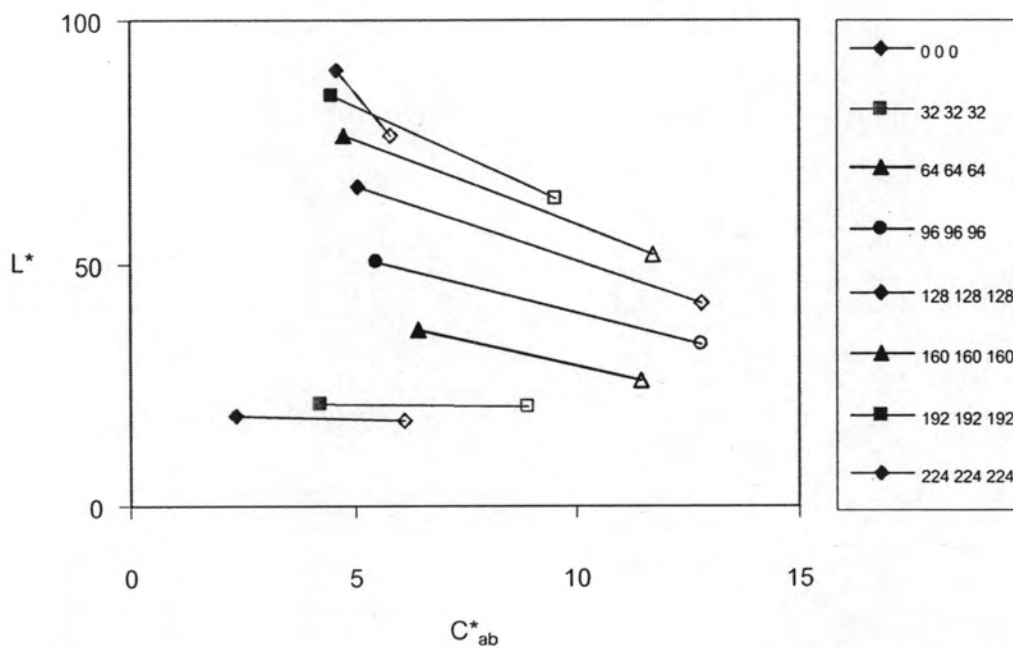
4.2.1.5 ชุดตัวอย่างสีทดสอบ Gray scale

ชุดตัวอย่างสีทดสอบของ Gray scale จำนวน 8 ตัวอย่างสี มีการกระจายตัวของค่า L^* กับ C^*_{ab} ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน D65, A และ F11 ดังแสดงในรูปที่ 4.20 - 4.22 ตามลำดับ โดยสัญลักษณ์ที่บ่งแสดงค่าสีตัวอย่าง และสัญลักษณ์โปร่งแสดงค่าสีทำนาย เส้นตรงเชื่อมระหว่างคู่สีแสดงทิศทางและขนาดความผิดพลาดของการทำนาย

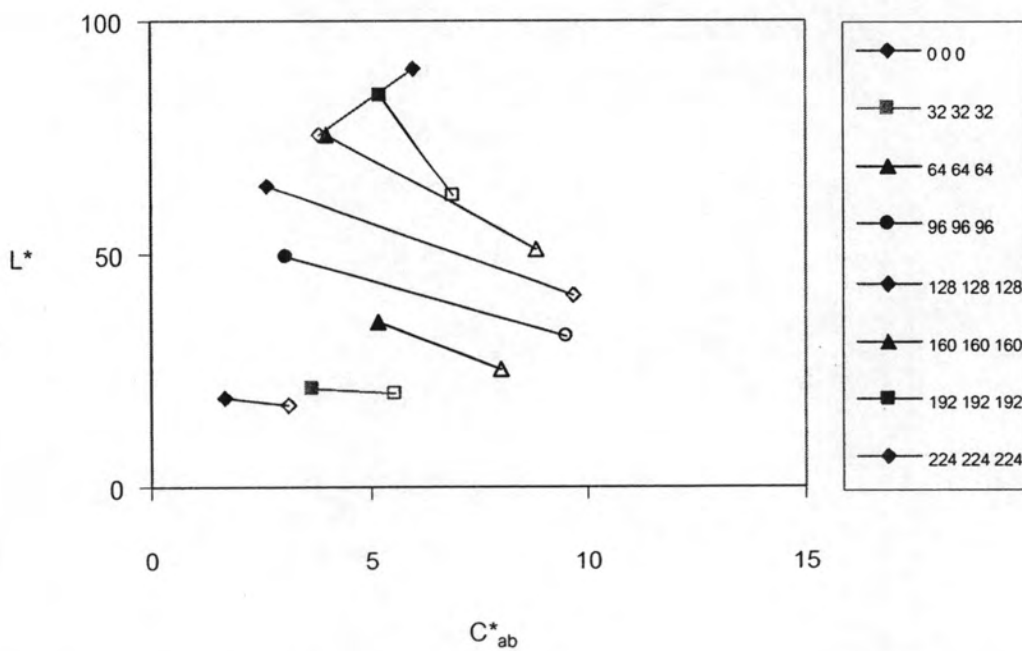
จากรูปที่ 4.20 - 4.22 พบว่า การกระจายตัวของสีเทาตัวอย่างครอบคลุมระดับความสว่าง (L^*) ต่าง ๆ โดยทั้ง 3 แหล่งกำเนิดแสงค่า C^*_{ab} ของสีเทาไม่ได้มีค่าอยู่ที่ศูนย์ เนื่องจากอิทธิพลของสีของแหล่งกำเนิดแสง ทำให้ตัวอย่างสีมีสีอ่อนเล็กน้อย อย่างไรก็ตามตัวอย่างสีมีค่า C^*_{ab} ที่ต่ำมาก จึงไม่มีผลต่อความผิดพลาดของสมมูลสีเทา จากการพิจารณาความผิดพลาดของการทำนายภายใต้แหล่งกำเนิดแสงทั้ง 3 แหล่ง พบว่าสีที่ทำนายได้ยังคงรักษาระดับความสว่างได้ใกล้เคียงกับสีต้นฉบับ แต่มีความเป็นสีมากขึ้น



รูปที่ 4.20 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของ Gray scale ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65



รูปที่ 4.21 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของ Gray scale ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A



รูปที่ 4.22 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของ Gray scale ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11

ในการวิเคราะห์ผลเชิงปริมาณของชุดตัวอย่างสีทดสอบของ Gray scale ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65, A และ F11 จากค่าความแตกต่างสี ($\Delta E'_{ab}$) และค่า RMS ได้ผลดังตารางที่

4.5

ตารางที่ 4.5 ค่า $\Delta E'_{ab}$ และค่า RMS ของ Gray scale ในการทำนายค่าสเปกตรัม

ชุดตัวอย่างสีทดสอบ	$\Delta E'_{ab}$			RMS
	D65	A	F11	
Gray scale				
Median	17.33	17.40	17.26	17.88
Mean	16.97	17.39	16.90	17.00
Minimum	4.01	4.97	4.00	0.55
Maximum	26.21	26.09	26.20	34.83
Standard deviation	8.08	7.48	8.04	13.83

จากตารางที่ 4.5 พบว่าค่า $\Delta E'_{ab}$ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงทั้ง 3 แหล่ง มีค่า Median และค่า Mean ไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาที่ค่า Standard deviation พบว่าภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65, A และ F11 มีค่าเท่ากับ 8.08, 7.48 และ 8.04 ตามลำดับ ในส่วนของค่า RMS มีค่า Median เท่ากับ 17.88 และค่า Mean เท่ากับ 17.00 จากผลการทดลองพบว่าความผิดพลาดจากการทำนายไม่แตกต่างกันมากภายใต้แหล่งกำเนิดแสงที่ต่างกัน แสดงให้เห็นว่าไม่มีแนวโน้มที่จะเกิดเมแทเมอร์ซิมเนื่องด้วยแหล่งกำเนิดแสง

4.2.1.6 ผลการทดสอบรวมทุกชุดตัวอย่างสี

จากผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณข้างต้น เมื่อนำผลของทุกชุดตัวอย่างสีมาเปรียบเทียบเพื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการทำนายค่าสเปกตรัมของแบบจำลองลักษณะเฉพาะด้วยค่าเฉลี่ยความแตกต่างสีแยกตามชุดตัวอย่างสีที่แตกต่างกัน 3 ชุดตัวอย่างสี ผลของค่าเฉลี่ยจากทั้ง 3 ชุดตัวอย่างสี แสดงดังตารางที่ 4.6

จากตารางที่ 4.6 พบว่าค่า $\Delta E'_{ab}$ ของสีผสมมีค่ามากที่สุด ตามด้วยค่า $\Delta E'_{ab}$ ของชุดตัวอย่างสี training set และ Gray scale ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองลักษณะเฉพาะนี้ให้ความผิดพลาดในการทำนายค่าสเปกตรัมของสีผสมสูงสุด และให้ความผิดพลาดในการแปลงค่าข้อมูลสีของสีเทาไปเป็นค่าสเปกตรัมได้ดีที่สุด เมื่อพิจารณาจากค่า $\Delta E'_{ab}$ เฉลี่ยของทุกตัวอย่างสี

พบว่ามีความผิดพลาดสูงมาก ทำให้เกิดการแปลงค่าสีผิดเพี้ยนไปเป็นคนละสีได้ความผิดพลาดนี้อาจเกิดเนื่องมาจากการใช้ฐานข้อมูลสี RGB ซึ่งเป็นระบบการผสมสีแบบบวก ในการทำนายค่าสเปกตรัมโดยผ่านทางความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงจากสมการคูเบลคา-มังก์มีพื้นฐานมาจากการผสมสีแบบลบ ทำให้เมื่อทำนายค่าสีของสีผสม จึงมีความผิดพลาดสูง เพราะการผสมกันของสีที่มีความเข้มข้นของค่าสีมากในการผสมสีแบบบวก ทำให้ได้สีผสมที่มีความสว่างมาก ในขณะที่ในการผสมสีแบบลบจะได้สีที่มีค่าสว่างน้อย

ตารางที่ 4.6 ค่า ΔE_{ab}^* ของชุดตัวอย่างสีทดสอบ ในการทำนายค่าสเปกตรัม

แหล่งกำเนิดแสง	สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน (24 ตัวอย่างสี)	สีผสม (18 ตัวอย่างสี)	สีเทา (8 ตัวอย่างสี)	ค่าเฉลี่ย (50 ตัวอย่างสี)
D65	32.41	46.92	16.97	35.17
A	30.25	44.36	17.39	33.27
F11	33.15	47.53	16.90	35.72

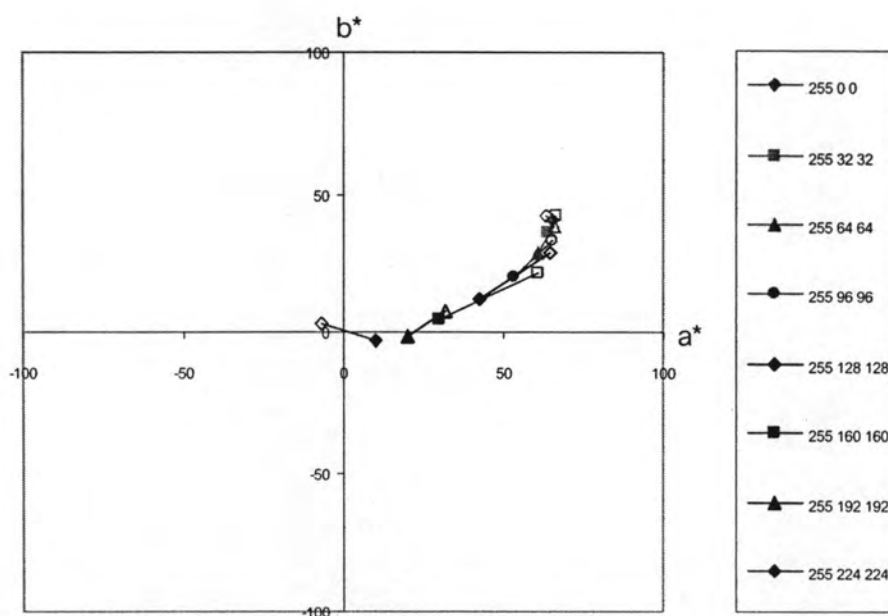
4.2.2 ผลการทดสอบการทำนายค่าสี RGB

เนื่องด้วยระหว่างทำการทดลองได้มีการเปลี่ยนชุดหมึกพิมพ์ชุดที่หนึ่ง (ชุดหมึกพิมพ์ที่สร้างฐานข้อมูลหาแบบจำลองลักษณะเฉพาะ) เป็นชุดหมึกพิมพ์ใหม่ทั้งหมดแปดสี เรียกว่า หมึกพิมพ์ชุดที่สอง เนื่องจากหมึกพิมพ์ชุดที่หนึ่งมีไม่เพียงพอในการพิมพ์ชุดตัวอย่างสีทดสอบทั้งหมด จึงได้ทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบถึงความต่างระหว่างหมึกพิมพ์ทั้งสองชุด ซึ่งจะแสดงผลการเปรียบเทียบในหัวข้อ 4.3 ต่อไป โดยในหัวข้อนี้จะนำเสนอผลการทำนายค่าสี RGB ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชุดที่สอง จากสมมติฐานว่าหมึกพิมพ์ชุดที่หนึ่งและชุดที่สองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเป็นหมึกพิมพ์ที่มาจากผู้ผลิตเดียวกัน มีเลขรหัสเหมือนกัน

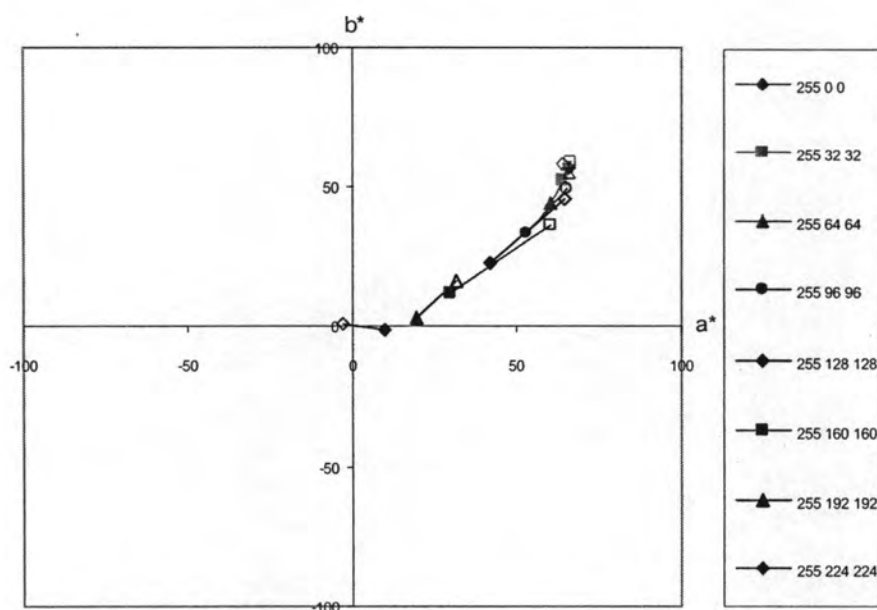
4.2.2.1 ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีแดงจากหมึกพิมพ์ชุดที่สอง

ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีแดงจำนวน 8 ตัวอย่างสี มีการกระจายตัวของค่าสี a^* b^* ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน D65, A และ F11 ดังแสดงในรูปที่ 4.23 - 4.25 ตามลำดับ

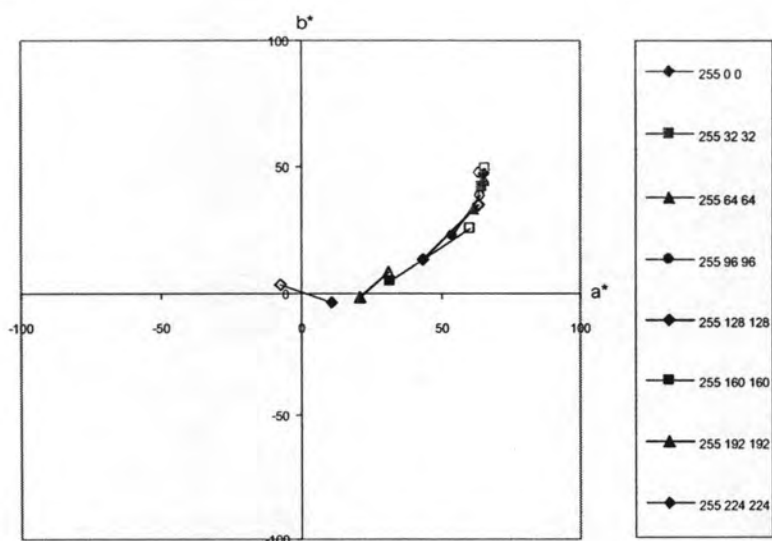
โดยรูปสัญลักษณ์ที่บแสดงค่าสีเริ่มต้น และสัญลักษณ์โปร่งแสดงค่าสีทำนายเส้นตรงเชื่อมระหว่าง
คู่สีแสดงทิศทางและขนาดความผิดพลาดในการทำนายค่าสี



รูปที่ 4.23 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีแดง
ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65



รูปที่ 4.24 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีแดง
ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A



รูปที่ 4.25 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีแดง
ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11

จากรูปที่ 4.23 - 4.25 พบว่า a^* b^* ของชุดตัวอย่างทดสอบของสีแดงมีการกระจายตัวอยู่ในบริเวณขอบเขตสีแดงที่ระดับความอิ่มตัวสีแตกต่างกัน ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงทั้ง 3 แหล่งกำเนิดแสง เมื่อพิจารณาทิศทางและขนาดความผิดพลาดของค่าที่ทำนาย พบว่าค่าสีภายใต้แหล่งกำเนิดแสงทั้ง 3 แหล่งให้ผลที่มีแนวโน้มเดียวกัน คือ สีที่ได้จากการทำนายจะมีค่าความอิ่มตัวสีน้อยกว่าตัวอย่างสีต้นฉบับ โดยยังคงมีเฉดสีเหมือนเดิม

ในการวิเคราะห์ผลเชิงปริมาณของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีแดง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65, A และ F11 จากค่าความแตกต่างสี (ΔE^*_{ab}) และค่า RMS ได้ผลดังตารางที่ 4.7

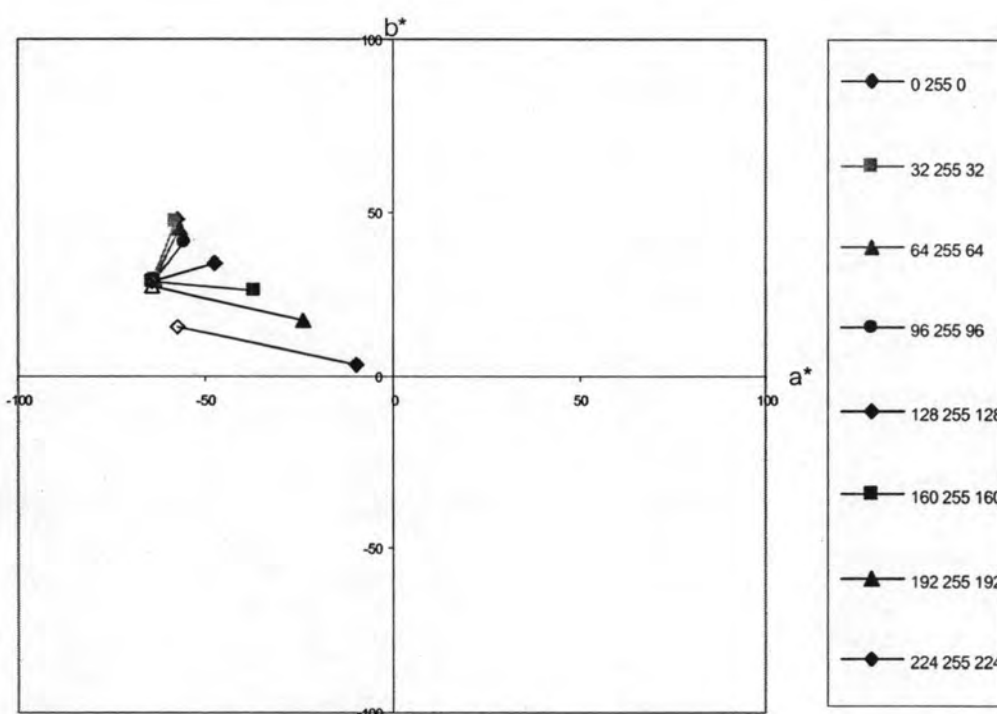
ตารางที่ 4.7 ค่า ΔE^*_{ab} และค่า RMS ของสีแดง ในการทำนายค่าสี RGB

ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีแดง	ΔE^*_{ab}			RMS
	D65	A	F11	
Median	30.15	31.17	29.80	17.61
Mean	26.64	26.94	26.50	23.29
Minimum	2.52	2.79	2.45	2.54
Maximum	47.58	48.13	46.33	57.78
Standard deviation	17.35	17.24	17.10	20.79

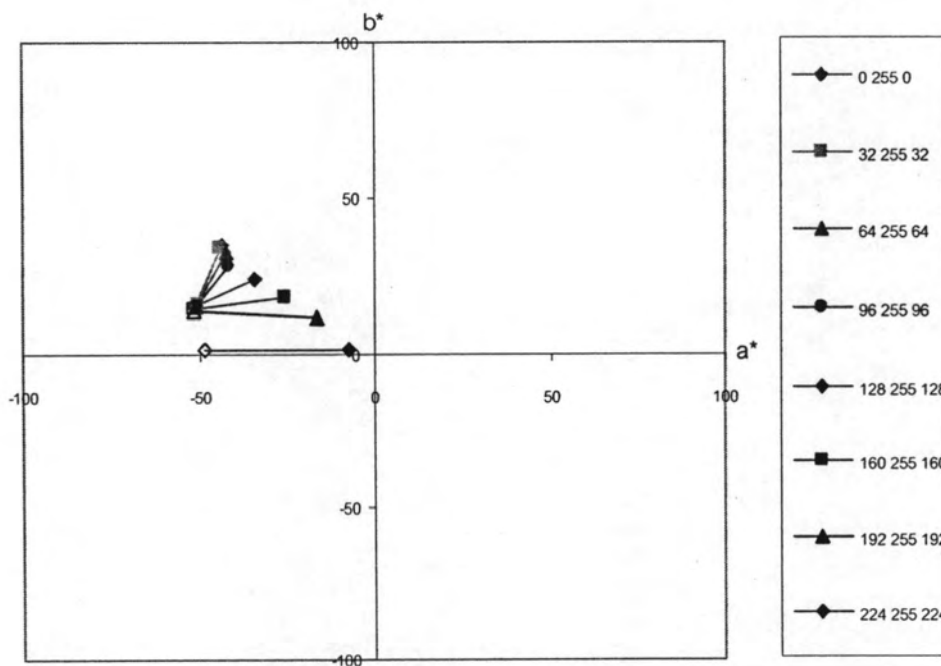
จากตารางที่ 4.7 พบว่าค่า $\Delta E'_{ab}$ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง 3 แหล่ง มีค่า Median และค่า Mean ไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาที่ค่า Standard deviation เท่ากับ 17.35, 17.24 และ 17.10 ตามลำดับ พบว่าภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65, A และ F11 มีค่าใกล้เคียงกัน ในส่วนของค่า RMS มีค่า Median เท่ากับ 17.61 และค่า Mean เท่ากับ 23.29 แสดงให้เห็นว่าความผิดพลาดของการทำนายค่าสีภายใต้แหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกันมีค่าใกล้เคียงกันมากและไม่เกิดปรากฏการณ์เมแทเมอร์ซีมเนื่องด้วยแหล่งกำเนิดแสง

4.2.2.2 ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีเขียวจากหมึกพิมพ์ชุดที่สอง

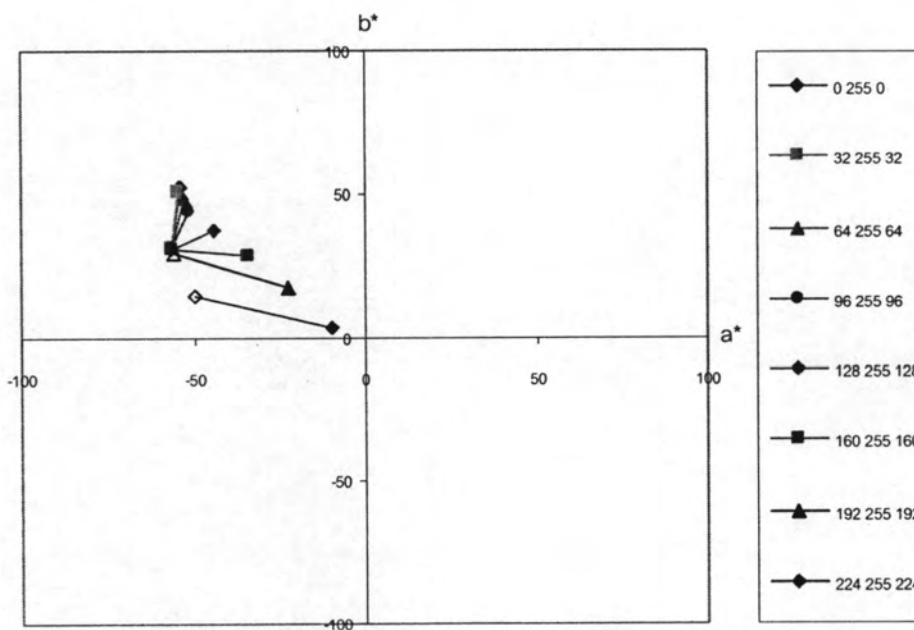
ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีเขียวจำนวน 8 ตัวอย่างสี มีการกระจายตัวของค่าสี a^* b^* ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน D65, A และ F11 ดังแสดงในรูปที่ 4.26 - 4.28 ตามลำดับ โดยสัญลักษณ์ที่บแสดงค่าสีตัวอย่าง และสัญลักษณ์โปร่งแสดงค่าสีทำนาย เส้นตรงเชื่อมระหว่างคู่สีแสดงทิศทางและขนาดความผิดพลาดของการทำนาย



รูปที่ 4.26 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีเขียวที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65



รูปที่ 4.27 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีเขียว ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A



รูปที่ 4.28 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีเขียว ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11



จากรูปที่ 4.26 - 4.28 พบว่า a^*b^* ของชุดตัวอย่างทดสอบของสีเขียวมีการกระจายตัวอยู่ในบริเวณขอบเขตสีเขียวที่ระดับความอิ่มตัวต่าง ๆ กัน โดยภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A ตัวอย่างสีจะปรากฏมีความอิ่มตัวสีต่ำกว่าภายใต้แหล่งกำเนิดแสงอื่น เมื่อพิจารณาทิศทางการผสมของค่าสีที่ทำนาย พบว่าค่าสีที่ทำนายมีแนวโน้มได้ค่าสีใกล้เคียงกันไม่ว่าจะเป็นสีเขียวที่ระดับความเข้มข้นของค่าสีเท่าใดก็ตาม

ในการวิเคราะห์ผลเชิงปริมาณ ของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีเขียว ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65, A และ F11 จากค่าความแตกต่างสี (ΔE^*_{ab}) และค่า RMS ได้ผลดังตารางที่ 4.8

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

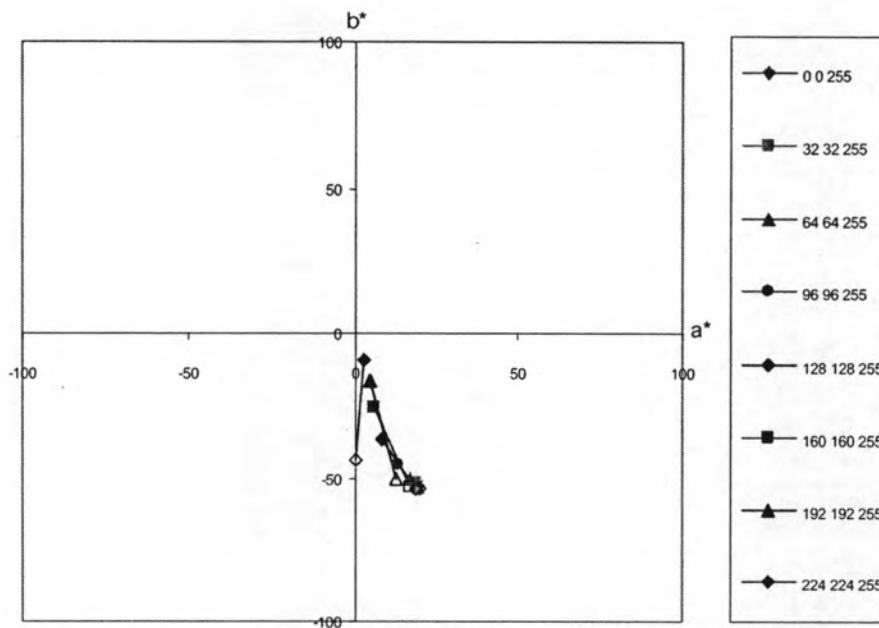
ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสี เขียว	ΔE^*_{ab}			RMS
	D65	A	F11	
Median	20.02	21.93	20.11	10.50
Mean	28.60	28.84	27.36	19.06
Minimum	14.88	17.04	15.27	5.22
Maximum	58.60	54.98	54.16	53.51
Standard deviation	16.33	13.93	14.06	18.10

จากตารางที่ 4.8 พบว่าค่า ΔE^*_{ab} ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงทั้ง 3 แหล่ง มีค่า Median และค่า Mean ไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาที่ค่า Standard deviation พบว่าภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65, A และ F11 มีค่าเท่ากับ 16.33, 13.93 และ 14.06 ตามลำดับ ในส่วนของค่า RMS มีค่า Median เท่ากับ 10.50 และค่า Mean เท่ากับ 19.06 จากผลการทดลองแสดงว่าความผิดพลาดในการทำนายค่าสีภายใต้แหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกันมีค่าใกล้เคียง ไม่มีผลให้เกิดเมแทเมอร์ซีม

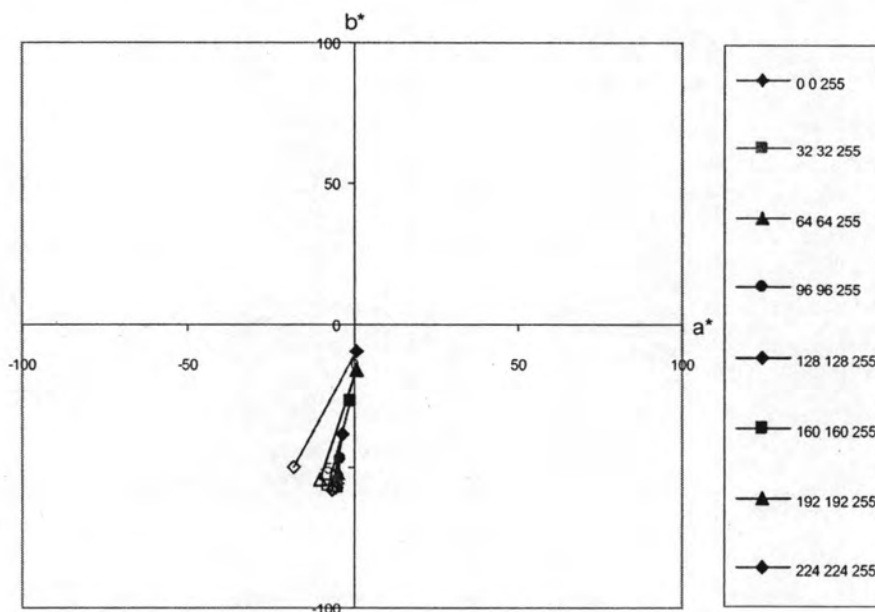
4.2.2.3 ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีน้ำเงินจากหมึกพิมพ์ชุดที่สอง

ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีน้ำเงินจำนวน 8 ตัวอย่างสี มีการกระจายตัวของค่าสี a^*b^* ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน D65, A และ F11 ดังแสดงในรูปที่ 4.29 - 4.31 ตามลำดับ

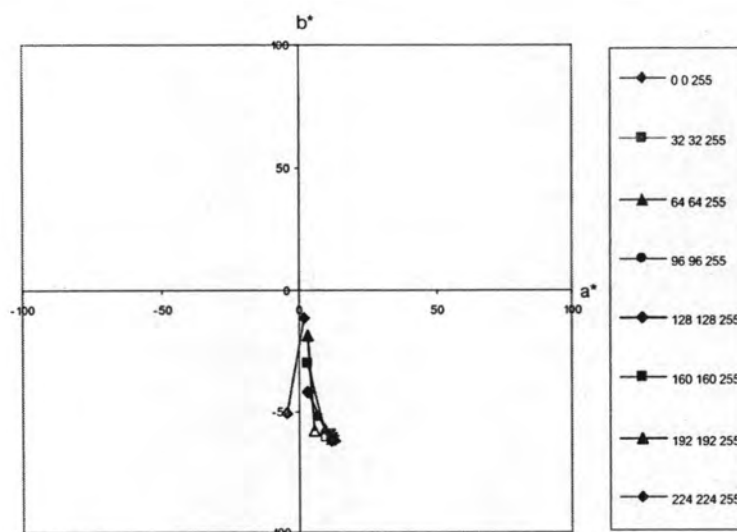
โดยสัญลักษณ์ที่บแสดงค่าสีตัวอย่าง และสัญลักษณ์โปร่งแสดงค่าสีทำนาย เส้นตรงเชื่อมระหว่าง
คู่สีแสดงทิศทางและขนาดความผิดพลาดของการทำนาย



รูปที่ 4.29 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีน้ำเงิน
ที่พิมพ์ด้วยหมึกชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65



รูปที่ 4.30 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีน้ำเงิน
ที่พิมพ์ด้วยหมึกชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A



รูปที่ 4.31 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีน้ำเงิน ที่พิมพ์ด้วยหมึกชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11

จากรูปที่ 4.29 - 4.31 พบว่า a^* b^* ของชุดตัวอย่างทดสอบของสีน้ำเงินมีการกระจายตัวอยู่ในบริเวณขอบเขตสีน้ำเงินที่ระดับความอิ่มตัวต่าง ๆ กัน โดยภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A ตัวอย่างสีจะปรากฏสีค่อนข้างไปทางเฉดสีไซแอน เมื่อพิจารณาความผิดพลาดของการทำนายค่าสี พบว่ามีความผิดพลาดน้อยมากทั้งความอิ่มตัวสีและเฉดสี

ในการวิเคราะห์ผลเชิงปริมาณของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีน้ำเงิน ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65, A และ F11 ตามลำดับ พิจารณาจากค่าความแตกต่างสี (ΔE^*_{ab}) และค่า RMS ได้ผลดังตารางที่ 4.9

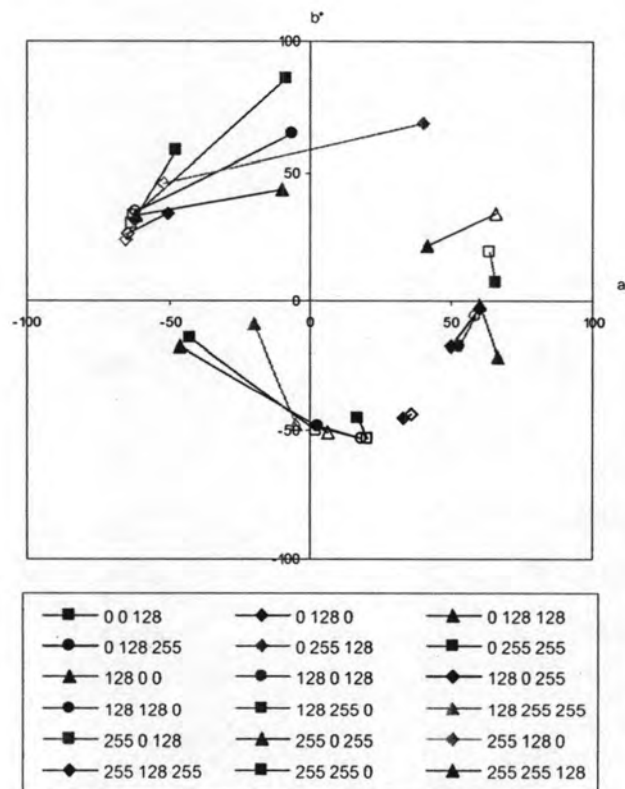
ตารางที่ 4.9 ค่า ΔE^*_{ab} และค่า RMS ของสีน้ำเงิน ในทำนายค่าสี RGB

ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสี น้ำเงิน	ΔE^*_{ab}			RMS
	D65	A	F11	
Median	25.96	26.85	27.01	19.59
Mean	27.83	30.54	29.68	24.39
Minimum	2.09	2.73	2.35	0.75
Maximum	55.95	65.47	61.19	58.57
Standard deviation	22.38	25.17	24.19	22.13

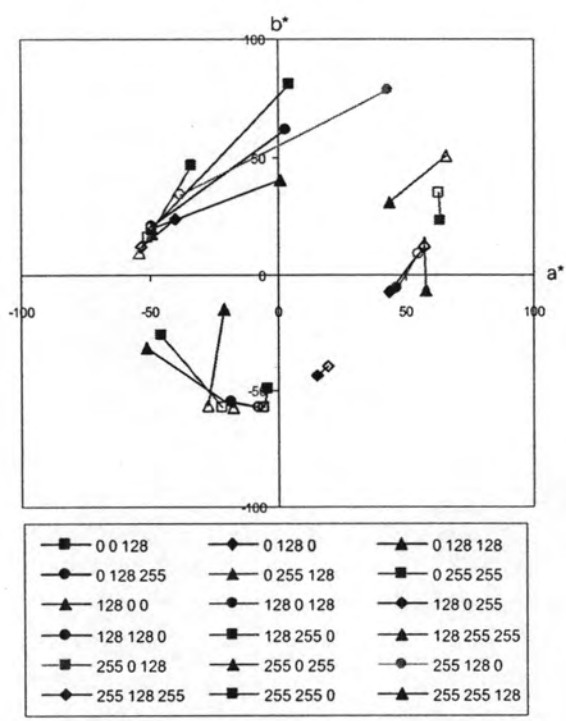
จากตารางที่ 4.9 พบว่าค่า $\Delta E'_{ab}$ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง 3 มีค่า Median และค่า Mean ไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาที่ค่า Standard deviation พบว่าภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65, A และ F11 มีค่าเท่ากับ 22.38, 25.17 และ 24.19 ตามลำดับ ในส่วนของค่า RMS มีค่า Median เท่ากับ 19.59 และค่า Mean เท่ากับ 24.39 แสดงให้เห็นว่า ความผิดพลาดของการทำนายค่าสี ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกัน มีค่าใกล้เคียงกันมากและไม่เกิดปรากฏการณ์เมแทเมอร์ซีม เนื่องจากด้วยแหล่งกำเนิดแสง

4.2.2.4 ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีผสมจากหมึกพิมพ์ชุดที่สอง

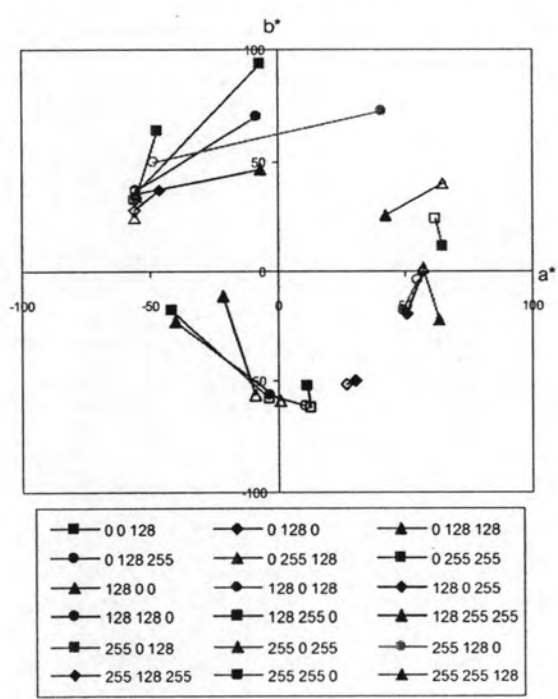
ชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีผสมจำนวน 18 ตัวอย่างสี มีการกระจายตัวของค่าสี a^* b^* ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน D65, A และ F11 ดังแสดงในรูปที่ 4.32 - 4.34 ตามลำดับ โดยสัญลักษณ์ที่บ่งแสดงค่าสีตัวอย่าง และสัญลักษณ์โปร่งแสดงค่าสีทำนาย เส้นตรงเชื่อมระหว่างคู่สีแสดงทิศทางและขนาดความผิดพลาดของการทำนาย



รูปที่ 4.32 การกระจายตัวของชุดทดสอบตัวอย่างสีของสีผสมที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65



รูปที่ 4.33 การกระจายตัวของชุดทดสอบตัวอย่างสีของสีผสม
ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A



รูปที่ 4.34 การกระจายตัวของชุดทดสอบตัวอย่างสีของสีผสม
ที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11

จากรูปที่ 4.32 - 4.34 พบว่า a^*b^* ของชุดตัวอย่างทดสอบของสีผสมมีการกระจายตัวครอบคลุมทุกเฉดสี โดยเฉดสีที่ปรากฏภายใต้แหล่งกำเนิดแสงที่ต่างกันของตัวอย่างสีมีความแตกต่างกันเล็กน้อย เมื่อพิจารณาโดยรวมพบว่าความผิดพลาดของการทำนายค่าสีมีทิศทางการเบี่ยงเบนของเฉดสีไปต่าง ๆ กันขึ้นกับสีตัวอย่างตั้งต้น โดยตัวอย่างเฉดสีเหลืองจะทำนายเป็นเฉดสีเขียว ตัวอย่างสีเขียวจะทำนายเป็นเฉดสีน้ำเงิน ตัวอย่างเฉดสีน้ำเงินและสีแดงมีผลการทำนายเฉดสีได้ใกล้เคียงต้นฉบับ

ในการวิเคราะห์ผลเชิงปริมาณของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีผสม ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65, A และ F11 จากค่าความแตกต่างสี (ΔE^*_{ab}) และค่า RMS ได้ผลดังตารางที่ 4.10

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

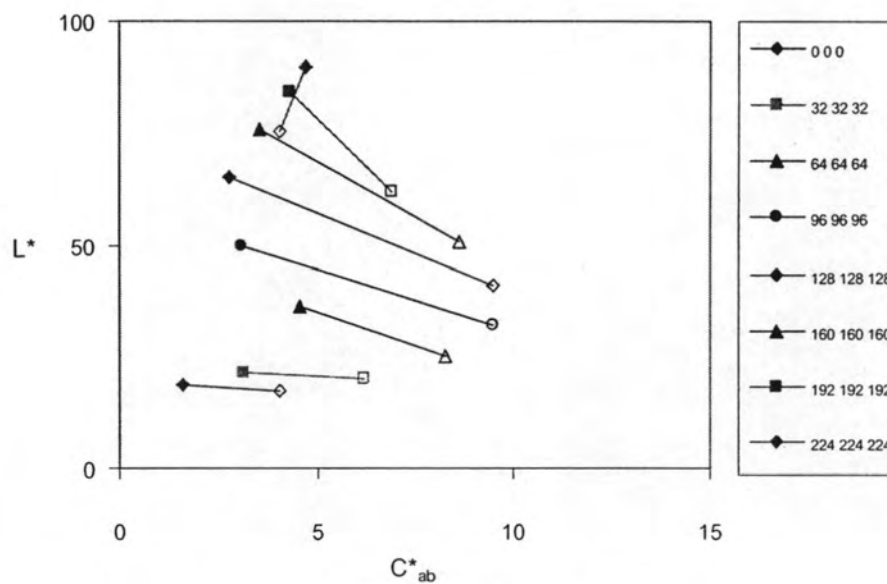
ชุดตัวอย่างทดสอบ สีผสม	ΔE^*_{ab}			RMS
	D65	A	F11	
Median	31.00	34.43	32.12	15.03
Mean	38.85	38.31	38.53	21.66
Minimum	8.63	10.26	9.13	5.73
Maximum	94.86	93.33	92.43	52.31
Standard deviation	26.57	26.42	25.67	15.90

จากตารางที่ 4.10 พบว่าค่า ΔE^*_{ab} ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงทั้ง 3 แหล่ง มีค่า Median และค่า Mean ไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาที่ค่า Standard deviation พบว่าภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65, A และ F11 มีค่าเท่ากับ 26.57, 26.42 และ 25.67 ตามลำดับ ในส่วนของค่า RMS มีค่า Median เท่ากับ 15.03 และค่า Mean เท่ากับ 21.66 จะเห็นได้ว่าความผิดพลาดของการทำนายมีค่าใกล้เคียงกันในทุกแหล่งกำเนิดแสง จึงมีแนวโน้มในการเกิดเมแทเมอร์ซึมเนื่องด้วยแหล่งกำเนิดแสงต่ำ

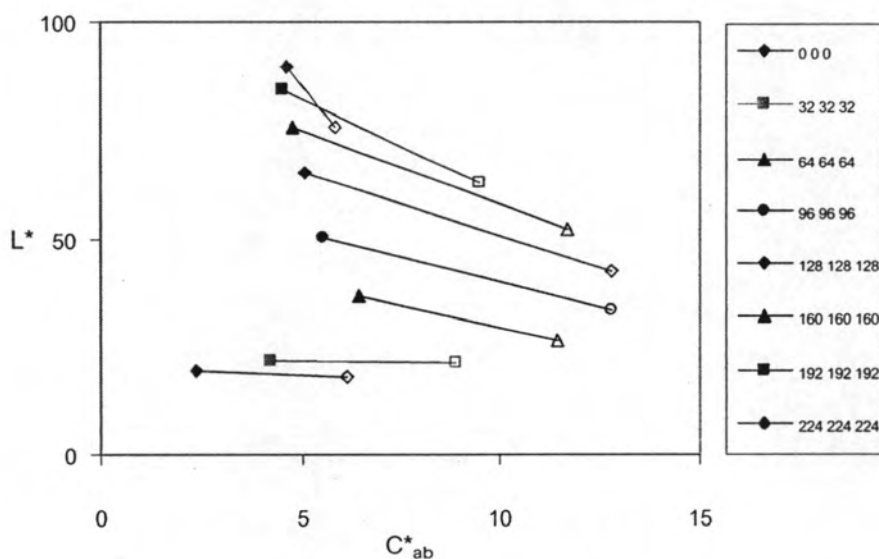
4.2.2.5 ชุดตัวอย่างสีทดสอบ Gray scale ของหมึกพิมพ์ชุดที่สอง

ชุดตัวอย่างสีทดสอบของ Gray scale จำนวน 8 ตัวอย่างสี มีการกระจายตัวของค่า L^* กับ C^*_{ab} ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน D65, A และ F11 ดังแสดงในรูปที่ 4.35 - 4.37

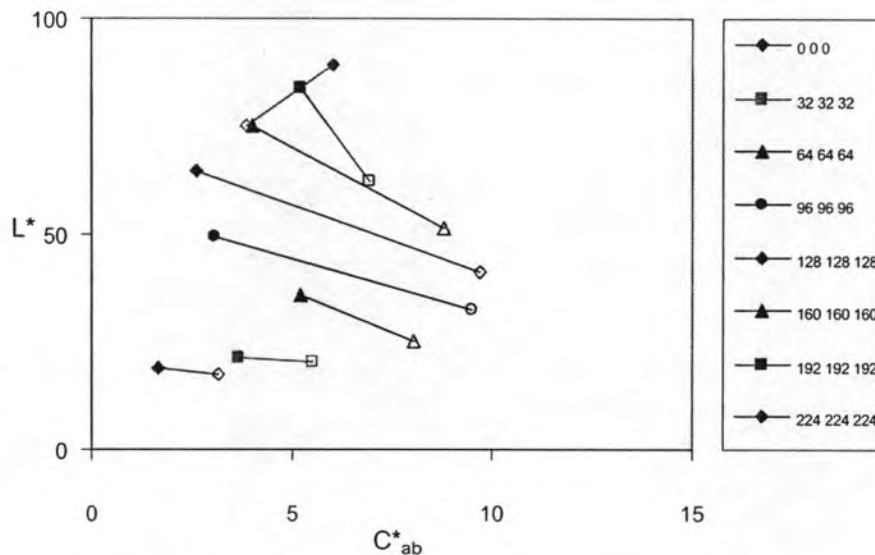
ตามลำดับ โดยสัญลักษณ์ที่บแสดงค่าสีตัวอย่าง และสัญลักษณ์โปร่งแสดงค่าสีทำนาย เส้นตรง
เชื่อมระหว่างคู่สีแสดงทิศทางและขนาดความผิดพลาดของการทำนาย



รูปที่ 4.35 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบ Gray scale
ที่พิมพ์ด้วยหมึกชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65



รูปที่ 4.36 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบ Gray scale
ที่พิมพ์ด้วยหมึกชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง A



รูปที่ 4.37 การกระจายตัวของชุดตัวอย่างสีทดสอบ Gray scale
ที่พิมพ์ด้วยหมึกชุดที่สอง ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง F11

จากรูปที่ 4.35 - 4.37 พบว่า การกระจายตัวของสีเทาตัวอย่างครอบคลุมระดับความสว่าง (L^*) ต่าง ๆ โดยทั้ง 3 แหล่งกำเนิดแสงค่า C^*_{ab} ของสีเทาไม่ได้มีค่าอยู่ที่ศูนย์ เนื่องจากอิทธิพลของสีของแหล่งกำเนิดแสง ทำให้ตัวอย่างสีมีสีเข้มเล็กน้อย อย่างไรก็ตามตัวอย่างสีมีค่า C^*_{ab} ที่ต่ำมาก จึงไม่มีผลต่อความผิดเพี้ยนของสมดุลสีเทา จากการพิจารณาความผิดพลาดของการทำนายภายใต้แหล่งกำเนิดแสงทั้ง 3 แหล่ง พบว่าสีที่ทำนายได้ยังคงรักษาระดับความสว่างได้ใกล้เคียงกับสีต้นฉบับ แต่มีความเป็นสีมากขึ้น

ในการวิเคราะห์ผลเชิงปริมาณของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสี Gray scale ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65, A และ F11 ตามลำดับ พิจารณาจากค่าความแตกต่างสี (ΔE^*_{ab}) และค่า RMS ได้ผลดังตารางที่ 4.11

จากตารางที่ 4.11 พบว่าค่า ΔE^*_{ab} ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง 3 แหล่ง มีค่า Median และค่า Mean ไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาที่ค่า Standard deviation พบว่าภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65, A และ F11 มีค่าเท่ากับ 9.03, 7.82 และ 8.84 ตามลำดับ ในส่วนของค่า RMS มีค่า Median เท่ากับ 18.06 และค่า Mean เท่ากับ 26.72 จากผลการทดลองพบว่าความผิดพลาดจาก

การทำนายไม่แตกต่างกันมากภายใต้แหล่งกำเนิดแสงที่ต่างกัน แสดงให้เห็นว่าไม่มีแนวโน้มที่จะเกิดเมแทเมอร์ซีมเนื่องด้วยแหล่งกำเนิดแสง

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

ชุดตัวอย่างสีทดสอบ Gray scale	ΔE^*_{ab}		
	D65	A	F11
Median	39.60	39.46	41.46
Mean	38.22	38.76	40.33
Minimum	24.01	29.31	26.36
Maximum	47.59	51.46	49.60
Standard deviation	9.03	7.82	8.84

4.2.2.6 ผลการทดสอบรวมทุกชุดตัวอย่างสี

จากผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณข้างต้น เมื่อนำผลการทดสอบของชุดตัวอย่างสี มาเปรียบเทียบกับเพื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการทำนายค่าสเปกตรัมของแบบจำลองลักษณะ เฉพาะด้วยค่าเฉลี่ย ความแตกต่างสีแยกตามชุดตัวอย่างสีที่แตกต่างกัน 3 ชุดตัวอย่างสี ผลของค่า เฉลี่ยจากทั้ง 3 ชุดตัวอย่างสี ดังแสดงผลดังตารางที่ 4.12

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

แหล่งกำเนิดแสง	สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน (24 ตัวอย่างสี)	สีผสม (18 ตัวอย่างสี)	สีเทา (8 ตัวอย่างสี)	ค่าเฉลี่ย (50 ตัวอย่างสี)
D65	27.69	38.85	38.22	33.39
A	28.77	38.31	38.76	33.81
F11	27.85	38.53	40.33	33.69

จากตารางที่ 4.12 พบว่าค่า ΔE^*_{ab} ของสีผสมและสีเทามีใกล้เคียงกัน ในขณะที่ ค่า ΔE^*_{ab} ของชุดตัวอย่างสี training set มีค่าต่ำกว่า แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองลักษณะ เฉพาะนี้ ให้ความถูกต้องในการทำนายค่า RGB ของชุดตัวอย่างสี training set ดีที่สุด เมื่อพิจารณาจากค่า

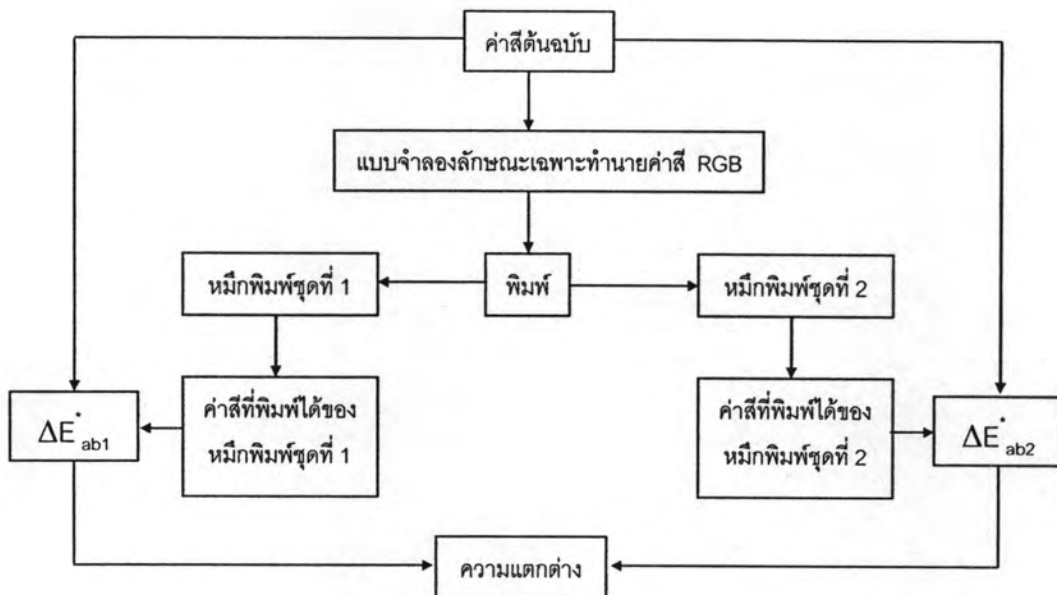
$\Delta E'_{ab}$ เฉลี่ยของทุกตัวอย่างสี พบว่ามีความผิดพลาดสูงมาก ทำให้เกิดการแปลงค่าสีผิดเพี้ยนไปเป็นคนละสีได้ ความผิดพลาดนี้อาจเกิดเนื่องมาจากการใช้ฐานข้อมูลสี RGB ซึ่งเป็นระบบการผสมสีแบบบวก ทำนายค่าสเปกตรัมโดยผ่านทางความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงจากสมการคูเบลคา-มังก์ ซึ่งมีพื้นฐานมาจากการผสมสีแบบลบ ทำให้มีความผิดพลาดสูง เพราะการผสมกันของสีที่มีความเข้มข้นของค่าสีมากในการผสมสีแบบบวก ทำให้ได้สีที่มีความสว่างสีมาก ในขณะที่การผสมสีแบบลบจะได้สีที่มีสว่างสีน้อย

จากการพิจารณาเปรียบเทียบผลการทำนายค่าสเปกตรัม และผลการทำนายค่าสี RGB ของแบบจำลองลักษณะเฉพาะพบว่าการทำนายทั้งสองลักษณะมีความผิดพลาดเท่า ๆ กัน ดังนั้นไม่ว่าจะนำแบบจำลองลักษณะเฉพาะนี้ไปใช้งานในลักษณะใดความถูกต้องก็ไม่แตกต่างกัน

4.3 ความแตกต่างระหว่างหมึกพิมพ์ชุดที่หนึ่งกับหมึกพิมพ์ชุดที่สอง

เนื่องจากหมึกพิมพ์ชุดที่หนึ่งที่ใช้ในการสร้างฐานข้อมูลเพื่อการทำนายค่าสีมีปริมาณเหลือไม่เพียงพอในการพิมพ์ชุดตัวอย่างสีทดสอบทั้งหมด 50 ตัวอย่างสี จึงได้มีการเปลี่ยนใช้หมึกพิมพ์ชุดที่สองดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เมื่อพิจารณาผลความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้หมึกพิมพ์สองชุดที่แตกต่างกัน จึงได้มีการทดสอบความแตกต่างระหว่างหมึกพิมพ์ชุดที่หนึ่งและชุดที่สอง โดยการพิมพ์ผลการทำนายค่าสี RGB ของชุดตัวอย่างสีทดสอบของสีผสมจำนวน 18 ตัวอย่างสี ด้วยหมึกพิมพ์ชุดที่หนึ่งและชุดที่สอง และคำนวณหาค่าความแตกต่างสี ($\Delta E'_{ab}$) ระหว่างค่าสีต้นฉบับกับค่าสีที่พิมพ์ได้จากหมึกพิมพ์ทั้งสองชุด จากนั้นจึงทำการหาความแตกต่างของค่า $\Delta E'_{ab}$ ที่คำนวณได้จากหมึกพิมพ์สองชุดที่แตกต่างกัน ดังแผนผังที่ 4.1

ผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างหมึกพิมพ์ชุดที่หนึ่งและชุดที่สองแสดงในตารางที่ 4.13 หากหมึกพิมพ์ทั้งสองชุดไม่มีความแตกต่างกัน ผลความผิดพลาดของการทำนายค่าสีก็จะไม่แตกต่างกัน ซึ่งทำให้ผลความแตกต่างของค่า $\Delta E'_{ab}$ มีค่าน้อย เนื่องจากเป็นการคำนวณเปรียบเทียบด้วยตัวอย่างสีต้นฉบับเดียวกัน ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าค่า $\Delta E'_{ab}$ ของหมึกพิมพ์ชุดที่หนึ่งและชุดที่สองมีความแตกต่างกันไม่มากนัก จึงอาจกล่าวได้ว่าหมึกพิมพ์ทั้งสองชุดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



แผนผังที่ 4.1 ขั้นตอนการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างหมึกพิมพ์ชุดที่หนึ่งและชุดที่สอง

ตารางที่ 4.13 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างหมึกพิมพ์ชุดที่หนึ่งและชุดที่สอง

หมึกพิมพ์ชุดที่หนึ่งกับหมึกพิมพ์ชุดที่สอง	ความแตกต่างของค่า ΔE_{ab}^*		
	D65	A	F11
Median	3.80	3.25	4.39
Mean	4.64	5.08	4.55
Minimum	0.10	0.00	0.07
Maximum	13.24	14.42	15.22
Standard deviation	3.95	4.54	4.15