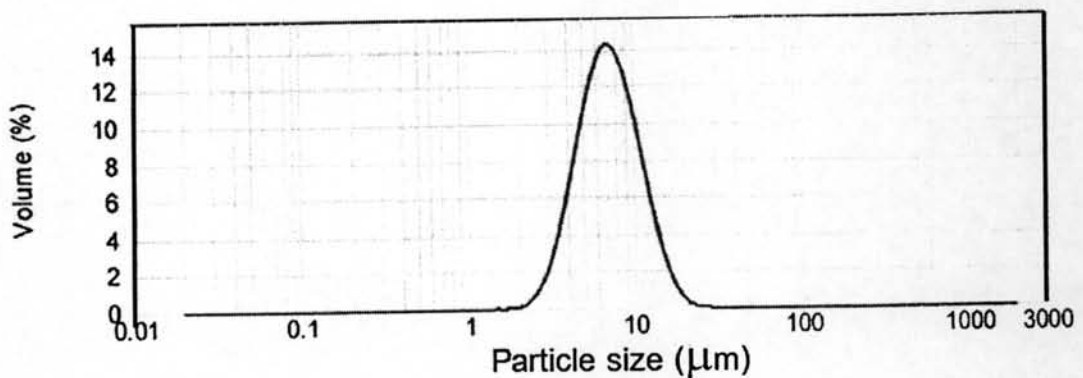


บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

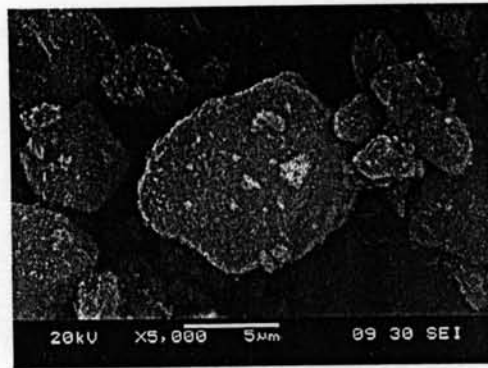
4.1 สมบัติของซิลิกาจากถ้ำกลบ ดินขาวนิวซีแลนด์ และแคลเซียมคาร์บอเนตบด

4.1.1 สมบัติของซิลิกาจากถ้ำกลบ

จากวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของซิลิกาที่สังเคราะห์ได้จากถ้ำกลบ พบว่ามีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 6.970 ไมโครเมตร ดังแสดงในภาพที่ 4.1 พบว่ามี การกระจายตัวของอนุภาคแบบแคบ อนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดใกล้เคียงกัน และจากภาพถ่าย SEM ของอนุภาคซิลิกาที่สังเคราะห์ได้จากถ้ำกลบที่กำลังขยาย 5000 เท่า (ภาพที่ 4.2) พบว่ารูปร่างอนุภาคของซิลิกามีรูปร่างค่อนข้างกลมมน มีผิวหน้าไม่เรียบ ซึ่งเมื่อตรวจสอบด้วยเครื่อง BET Surface Area Analyzer พบว่ามีปริมาตรรูพรุนเฉลี่ย 0.811 ซีซีต่อกรัม ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีรูพรุนจำนวนมาก ซิลิกาที่สังเคราะห์ได้นี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะเฉลี่ย 235.236 ตารางเมตรต่อกรัม และเส้นผ่าศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ย 0.0138 ไมโครเมตร



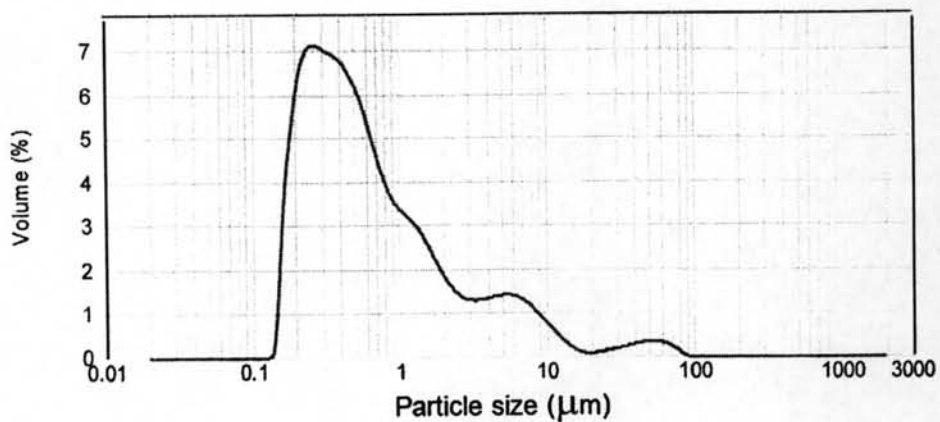
ภาพที่ 4.1 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคซิลิกาที่สังเคราะห์จากถ้ำกลบ



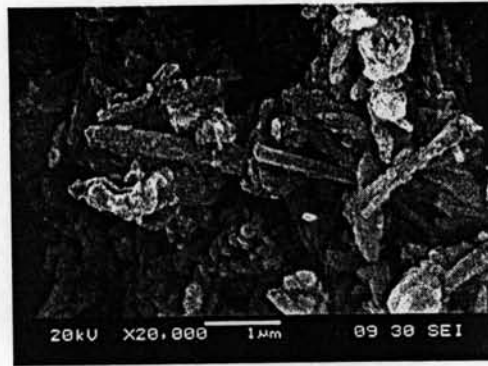
ภาพที่ 4.2 ภาพถ่าย SEM ของชิลิกาที่กำลังขยาย 5000 เท่า

4.1.2 สมบัติของดินขาวนิวซีแลนด์

จากวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาคดินขาวนิวซีแลนด์ พบว่ามีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 0.512 ไมโครเมตร ดังแสดงในภาพที่ 4.3 พบว่า มีการกระจายตัวของอนุภาคแบบกว้างกว่าชิลิกา จากภาพถ่าย SEM ของอนุภาคดินขาวนิวซีแลนด์ที่กำลังขยาย 20000 เท่า (ภาพที่ 4.4) พบว่าอนุภาคของดินขาวนิวซีแลนด์ส่วนใหญ่มีรูปร่างเป็นแท่งยาวโดยมีทั้งทรงกระบอกและทรงสี่เหลี่ยม มีการกระจายตัวแบบกว้างกว่าชิลิกา เมื่อตรวจสอบด้วยเครื่อง BET Surface Area Analyzer พบว่ามีพื้นที่ผิวจำเพาะเฉลี่ย 24.087 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุนเฉลี่ย 0.079 ซีซีต่อกรัม และเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ย 0.0131 ไมโครเมตร



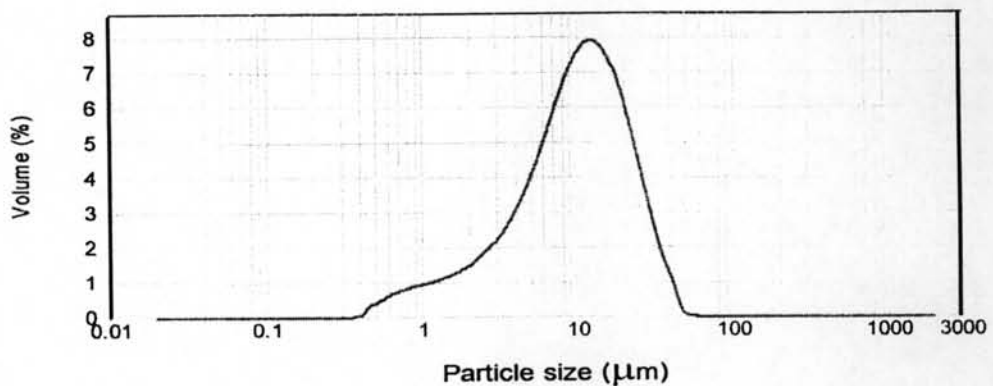
ภาพที่ 4.3 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคดินขาวนิวซีแลนด์



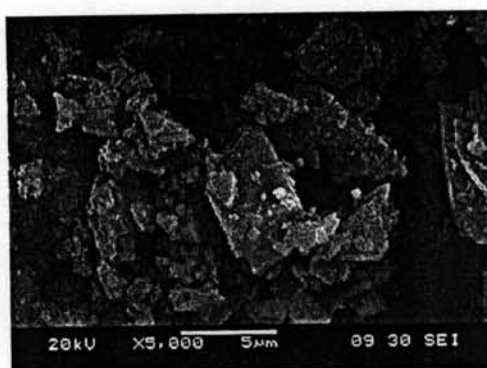
ภาพที่ 4.4 ภาพถ่าย SEM ของดินขาวนิวซีแลนด์ที่กำลังขยาย 20000 เท่า

4.1.3 สมบัติของแคลเซียมคาร์บอเนตบด

จากวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตบด พบว่ามีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 10.040 ไมโครเมตร ดังแสดงในภาพที่ 4.5 มีการกระจายตัวของอนุภาคกว้างกว่าของซิลิกาที่สังเคราะห์ได้ มีทั้งอนุภาคขนาดเล็กและขนาดใหญ่รวมอยู่ด้วยกัน ซึ่งสังเกตเห็นได้ชัดเจนจากภาพที่ 4.6 ซึ่งเป็นภาพถ่าย SEM ของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตบดที่กำลังขยาย 5000 เท่า และพบว่าอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตบดมีรูปร่างเป็นผลึกเหลี่ยม เมื่อตรวจสอบด้วยเครื่อง BET Surface Area Analyzer พบว่ามีพื้นที่ผิวจำเพาะเฉลี่ย 2.560 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุนเฉลี่ย 0.007 ซีซีต่อกรัม และเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ย 0.0102 ไมโครเมตร



ภาพที่ 4.5 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตบด



ภาพที่ 4.6 ภาพถ่าย SEM ของแคลเซียมคาร์บอเนตบดที่กำลังขยาย 5000 เท่า

หากพิจารณาจากภาพถ่าย SEM ของสารสีทั้ง 3 ชนิด พบว่าลักษณะผิวของอนุภาคของซิลิกาไม่เรียบเมื่อเทียบกับดินขาวนิวซีแลนด์และแคลเซียมคาร์บอเนตบดตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่าปริมาตรรูพรุนที่วัดได้

4.1.4 ผลการเปรียบเทียบสมบัติของสารสี

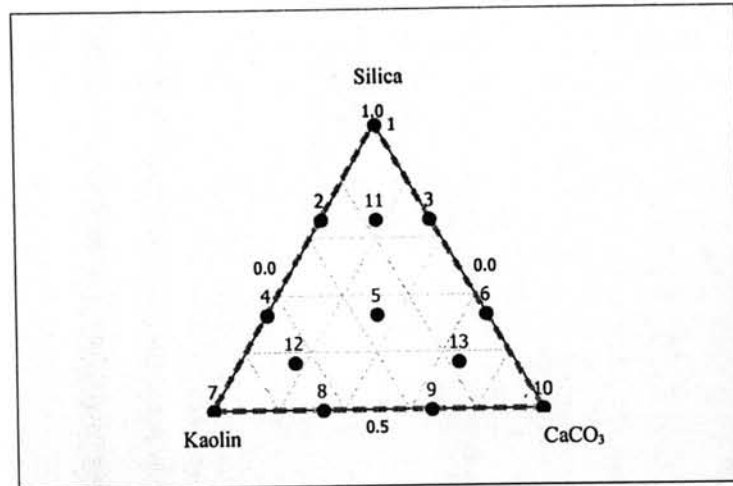
การเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของซิลิกาที่สังเคราะห์ได้จากเถ้าแกลบ ดินขาวนิวซีแลนด์ และแคลเซียมคาร์บอเนตบด พบว่าซิลิกาที่สังเคราะห์ได้จากเถ้าแกลบมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงกว่าดินขาวนิวซีแลนด์ และแคลเซียมคาร์บอเนตบดมาก แสดงให้เห็นว่าซิลิกามีรูพรุนภายในอนุภาคจำนวนมาก และจากค่าสี CIE L^* a^* b^* ที่วัดในสภาวะ $D65/10^\circ$ ไม่รวมแสง specular ด้วยเครื่อง spectrophotometer รุ่น Sp62 (ตารางที่ 4.1) พบว่าซิลิกาที่สังเคราะห์ได้จากเถ้าแกลบ กับแคลเซียมคาร์บอเนตบดมีสีขาว แต่ดินขาวนิวซีแลนด์มีสีขาวอมเหลือง เพราะเมื่อพิจารณาค่า a^* b^* พบว่า ค่า a^* ใกล้เคียงศูนย์ ขณะที่ค่า b^* ที่บอกความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน มีค่ามากกว่าศูนย์ และมีค่าเป็นบวกนั่นคือมีความเป็นสีเหลือง และเมื่อวัดค่าความขาวแล้วซิลิกา แคลเซียมคาร์บอเนตบด และดินขาวนิวซีแลนด์ มีค่าความขาว 68.29, 76.33 และ 51.48 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพของสารสี 3 ชนิด

สารสี	รูปร่าง ลักษณะ	ขนาด	พื้นที่ผิว จำเพาะ (m ² /g)	ปริมาตร รูพรุน (cc/g)	เส้นผ่า		L*	a*	b*
		อนุภาค เฉลี่ย (µm)			ศูนย์กลาง รูพรุน (µm)	ความ ขาว			
ซิลิกา	กลมมน มีรูพรุน	6.97	235.236	0.811	0.0138	68.29	90.36	+0.04	+2.00
ดินขาว นิวซี แลนด์	แท่ง กระบอก	0.51	24.087	0.079	0.0131	51.48	89.28	+0.32	+5.33
แคล เซียม คาร์บอ เนตบด	ผลึก เหลี่ยม	10.04	2.560	0.007	0.0102	76.33	91.33	-0.27	+1.14

4.2 ผลการเตรียมสารเคลือบ

จากการใช้วิธีการออกแบบส่วนผสมเชิงสถิติแบบซิมเพล็กซ์ 3 ระดับ 3 องค์ประกอบ ในการวิเคราะห์หาสัดส่วนของซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบ ดินขาว นิวซีแลนด์ และแคลเซียมคาร์บอเนตบด ซึ่งกำหนดขอบเขตของปริมาณสูงสุดและต่ำสุดของซิลิกา ดินขาวนิวซีแลนด์ และแคลเซียมคาร์บอเนตบดไว้ที่ร้อยละ 50 - 100, 0 - 50, 0 - 50 ตามลำดับ ได้สูตรสารเคลือบที่มีสัดส่วนสารสีต่างกัน 13 สูตร ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.7 และใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นสารยึดหลักและสารยึดร่วมใน ปริมาณคงที่ตลอดการทดลอง สัดส่วนของสารสีต่อสารยึดต่อสารยึดร่วมเท่ากับ 100 : 30 : 2 ที่ ร้อยละของแข็ง 22 โดยสัดส่วนของสารสี และร้อยละของแข็งนี้อ้างอิงจากงานของ อนันต์ เขม พานิชกุล [19] ซึ่งให้ความหนืดของสารเคลือบไม่สูงมาก มีการไหลที่เหมาะสมกับการนำไปเคลือบ ผิวด้วยขดลวดเคลือบผิว ในงานวิจัยนี้ใช้ทั้งขดลวดเคลือบผิว และการประยุกต์เครื่องปรูฟแบบเฟล็กโซมาใช้เคลือบผิว นอกจากนี้สัดส่วนนี้ยังให้การยึดสารสีบนกระดาษได้ดีอีกด้วยโดยสังเกตจาก การที่ไม่มีสารเคลือบหลุดออกจากฐานกระดาษเมื่อเคลือบด้วยเครื่องปรูฟเฟล็กโซ



ภาพที่ 4.7 ตำแหน่งของสูตรที่ได้จากการออกแบบจากโปรแกรมมินิแทบ

จากตารางที่ 4.2 สารเคลือบที่มีซิลิกาเป็นส่วนประกอบเพียงชนิดเดียวให้ค่าความหนืดที่สูงที่สุด รองลงมาคือส่วนผสมระหว่างซิลิกากับดินขาวนิวซีแลนด์ ให้ค่าความหนืดสูงกว่าซิลิกากับแคลเซียมคาร์บอเนต หากพิจารณาจากปริมาตรพูนในตารางที่ 4.1 พบว่าซิลิกามีปริมาตรพูนสูงที่สุดทำให้ดูดซึมน้ำที่มีปริมาณเท่ากันในแต่ละสูตรได้มากที่สุด จึงทำให้สารเคลือบมีความหนืดสูง รองลงมาได้แก่ ดินขาวนิวซีแลนด์ และแคลเซียมคาร์บอเนตตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ความหนืดของสารเคลือบที่มีซิลิกาสังเคราะห์จากถ้ำกลบ ดินขาวนิวซีแลนด์ และแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารสี

สูตร	ซิลิกา : ดินขาว : แคลเซียมคาร์บอเนต	ความหนืด (cps)*	%Torque	SD
1	100.00 : 00.00 : 00.00	254.07	84.73	2.25
2	83.33 : 16.67 : 00.00	208.90	69.63	1.05
3	83.33 : 00.00 : 16.67	183.70	61.23	1.35
4	66.67 : 33.33 : 00.00	68.83	22.93	1.54
5	66.67 : 16.67 : 16.67	66.20	22.07	0.92
6	66.67 : 00.00 : 33.33	53.50	17.87	1.42
7	50.00 : 50.00 : 00.00	56.60	18.90	1.14
8	50.00 : 33.33 : 16.67	50.50	16.83	0.62
9	50.00 : 16.67 : 33.33	33.80	11.27	0.96
10	50.00 : 00.00 : 50.00	34.80	11.63	1.87
11	83.33 : 8.33 : 8.33	163.30	54.43	0.96
12	58.33 : 33.33 : 8.33	65.60	21.87	1.48
13	58.33 : 8.33 : 33.33	50.13	16.73	1.88

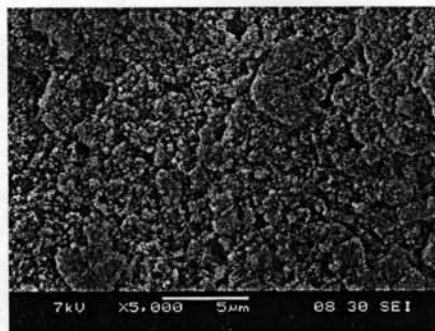
* วัดด้วยเครื่องวัดความหนืด Brookfield Digital Viscometer : Model LVDN-II+ เข็มเบอร์ 31 ความเร็วรอบ 100 rpm อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส

4.3 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของกระดาษเคลือบผิวอิงก์เจ็ต

4.3.1 ลักษณะทางกายภาพของกระดาษเคลือบผิว

จากสารเคลือบที่ได้ในตารางที่ 4.2 เมื่อนำมาเคลือบบนกระดาษฐานซึ่งเป็นกระดาษคอมพิวเตอร์แบบม้วน แล้วนำกระดาษที่ได้ไปตรวจสอบหาลักษณะผิวหน้าของชั้นสารเคลือบ ด้วยการถ่ายภาพ SEM ที่กำลังขยาย 5000 ให้ผลดังภาพที่ 4.8 – 4.20 พบว่าสารสีมีการกระจายตัวปิดผิวกระดาษฐานได้สม่ำเสมอไม่เท่ากัน ซึ่งเมื่อใช้สูตรของสารเคลือบเป็นเกณฑ์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ด้วยกันคือ

กลุ่มที่ 1 สารเคลือบด้วยสารสีชนิดเดียว ได้แก่ สารเคลือบผิวสูตรที่ 1 ซึ่งใช้เพียงซิลิกาเท่านั้นเป็นสารเคลือบ จากลักษณะของผิวเคลือบ ดังภาพที่ 4.8 พบว่าลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคสอดคล้องกับผลการวัดการกระจายตัวของอนุภาคดังภาพที่ 4.1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอนุภาคซิลิกาที่ใช้มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร และอนุภาคส่วนใหญ่ หรืออนุภาคเจ็ลอยู่ในช่วง 5-6 ไมโครเมตร โดยมีอนุภาคขนาดเล็กกว่าอนุภาคเจ็ลกระจายตัวอยู่ด้วย

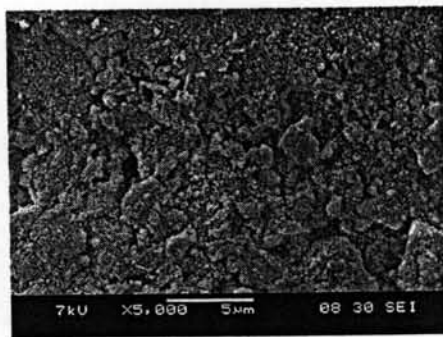


ภาพที่ 4.8 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษเคลือบที่มีสารสี ซิลิกาเพียงชนิดเดียว เท่ากับ 100.00:00.00:00.00 สูตรที่ 1 กำลังขยาย 5000 เท่า มีความมันวาว เท่ากับ 1.9

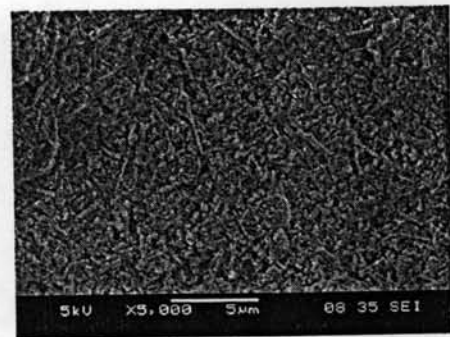
กลุ่มที่ 2 ใช้สารเคลือบด้วยสารสี 2 ชนิด ซึ่งแบ่งได้เป็นสองกลุ่มย่อยคือ กลุ่มที่ใช้ซิลิกาและดินขาวนิวซีแลนด์เป็นสารสี ได้แก่ สารเคลือบผิวสูตรที่ 2, 4 และ 7 กลุ่มที่ใช้ซิลิกาและแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารสี ได้แก่ สารเคลือบสูตรที่ 3, 6 และ 10

สำหรับกลุ่มที่ใช้ซิลิกาและดินขาวนิวซีแลนด์นั้น เป็นการนำสารสีที่มีขนาดที่แตกต่างกันมากมาใช้ร่วมกันคือ ดินขาวนิวซีแลนด์ที่มีขนาดของอนุภาคเจ็ลที่เล็กกว่าซิลิกาถึง

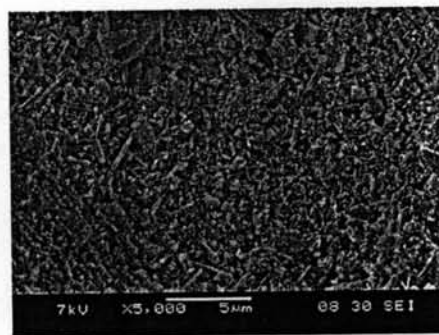
เกือบ 14 เท่า เมื่อขนาดอนุภาคเฉลี่ยของซิลิกาประมาณ 6.970 ไมโครเมตร ส่วนขนาดอนุภาคเฉลี่ยดินขาวนิวซีแลนด์ ประมาณ 0.51 ไมโครเมตร ดังนั้นปริมาณของดินขาวนิวซีแลนด์ที่เพิ่มขึ้นจึงส่งผลต่อลักษณะผิวเคลือบที่ปรากฏอย่างเห็นได้ชัด ดังภาพที่ 4.9 – 4.11 เมื่อปริมาณดินขาวนิวซีแลนด์เพิ่มขึ้นพบว่าช่องว่างระหว่างอนุภาคลดลง เนื่องจากอนุภาคดินขาวนิวซีแลนด์ที่เล็กกว่าสามารถลงไปอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคของซิลิกาได้และด้วยรูปร่างของอนุภาคที่แตกต่างกันของซิลิกาที่มีลักษณะค่อนข้างกลม และของดินขาวนิวซีแลนด์ที่มีลักษณะเป็นแท่งทำให้สามารถเห็นการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของอนุภาคทั้งสองชนิด



ภาพที่ 4.9 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษเคลือบที่มีสัดส่วนซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 83.33:16.67:00.00 สูตรที่ 2 กำลังขยาย 5000 เท่า ความมันวาว เท่ากับ 1.9

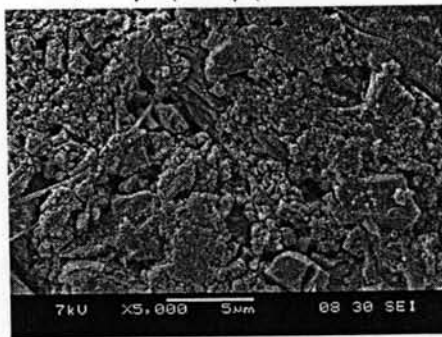


ภาพที่ 4.10 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษเคลือบที่มีสัดส่วนซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 66.67:33.33:00.00 สูตรที่ 4 กำลังขยาย 5000 เท่า ความมันวาว เท่ากับ 1.8

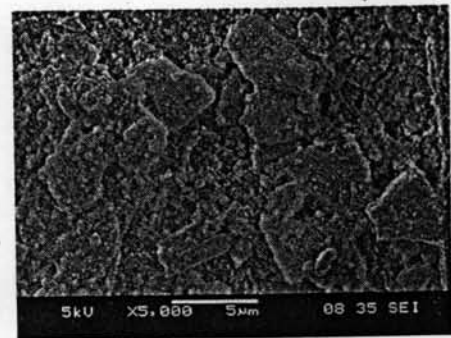


ภาพที่ 4.11 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษเคลือบที่มีสัดส่วนซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 50.00:50.00:00.00 สูตรที่ 7 กำลังขยาย 5000 เท่า ความมันวาว เท่ากับ 1.9

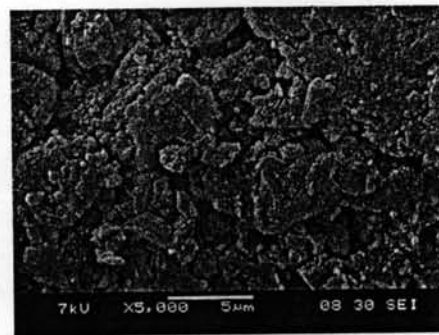
ส่วนกลุ่มที่ใช้ซิลิกาและแคลเซียมคาร์บอเนตบดเป็นสารสีนั้น จากข้อมูลการกระจายตัวของอนุภาคพบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตบดมีขนาดใหญ่กว่าซิลิกาไม่มากนัก และช่วงการกระจายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตบดครอบคลุมช่วงการกระจายตัวของซิลิกา (ภาพที่ 4.1 และ 4.5) ดังนั้นการสังเกตลักษณะของอนุภาคสองชนิดนี้จึงสังเกตได้จากรูปร่างของอนุภาคเท่านั้น ซึ่งความแตกต่างระหว่างผิวเคลือบที่มีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตบดมากขึ้นนั้นไม่ชัดเจน ดังภาพที่ 4.12-4.14 เนื่องจากขนาดของอนุภาคของสารสีที่ใกล้เคียงดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น อย่างไรก็ตาม หากสังเกตจากรูปร่างของอนุภาคพบว่าซิลิกาและแคลเซียมคาร์บอเนตบดกระจายตัวกันอย่างสม่ำเสมอ



ภาพที่ 4.12 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษเคลือบที่มีสัดส่วนซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 83.33:00.00:16.67 สูตรที่ 3 กำลังขยาย 5000 เท่า ความมันวาว เท่ากับ 2.0

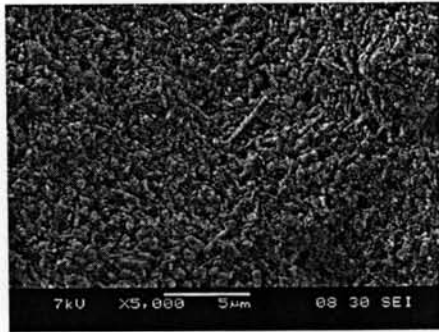


ภาพที่ 4.13 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษเคลือบที่มีสัดส่วนซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 66.67:0:33.33 สูตรที่ 6 กำลังขยาย 5000 เท่า ความมันวาว เท่ากับ 2.0

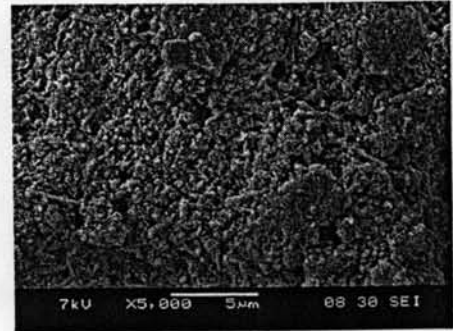


ภาพที่ 4.14 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษเคลือบที่มีสัดส่วนซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 50.00:00.00:50.00 สูตรที่ 10 กำลังขยาย 5000 เท่า ความมันวาวเท่ากับ 1.9

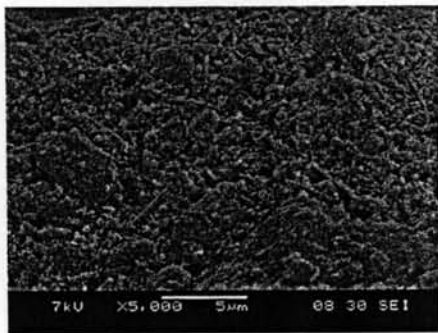
กลุ่มที่ 3 ใช้สารเคลือบด้วยสารสี 3 ชนิด คือ ซิลิกา แคลเซียมคาร์บอเนตบด และ ดินขาวนิวซีแลนด์ ได้แก่ สูตรที่ 5, 8, 9, 11, 12 และ 13 สำหรับลักษณะผิวเคลือบที่ปรากฏยังมีผลที่สังเกตได้ชัดจากปริมาณดินขาวที่ใช้ในแต่ละสูตร ดังเหตุผลที่กล่าวไว้แล้วข้างต้นถึงความสามารถในการแทรกตัวของดินขาวนิวซีแลนด์ในช่องว่างระหว่างอนุภาคของซิลิกาและแคลเซียมคาร์บอเนตบด เนื่องจากขนาดที่เล็กกว่ามาก ทำให้ผิวเคลือบที่มีดินขาวเป็นองค์ประกอบมีช่องว่างน้อยลง ดังภาพที่ 4.15 – 4.20



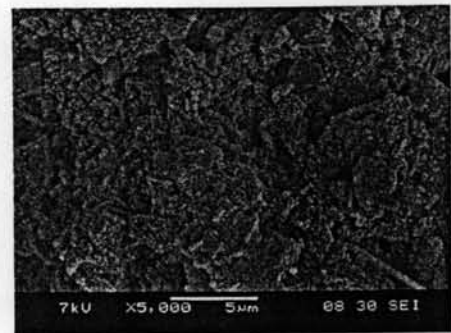
ภาพที่ 4.15 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษเคลือบที่มีสัดส่วนซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 50.00:33.33:16.67 สูตรที่ 8 กำลังขยาย 5000 เท่า ความมันวาว เท่ากับ 1.8



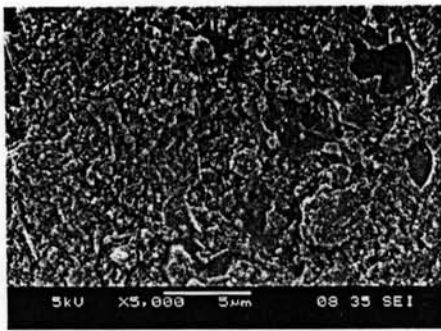
ภาพที่ 4.16 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษเคลือบที่มีสัดส่วนซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 50.00:16.67:33.33 สูตรที่ 9 กำลังขยาย 5000 เท่า ความมันวาว เท่ากับ 1.9



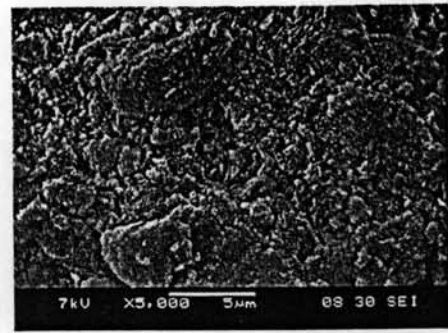
ภาพที่ 4.17 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษเคลือบที่มีสัดส่วนซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 58.33:33.33:8.33 สูตรที่ 12 กำลังขยาย 5000 เท่า ความมันวาว เท่ากับ 1.7



ภาพที่ 4.18 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษเคลือบที่มีสัดส่วนซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 58.33:8.33:33.33 สูตรที่ 13 กำลังขยาย 5000 เท่า ความมันวาว เท่ากับ 1.8



ภาพที่ 4.19 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษเคลือบที่มีสัดส่วนซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 66.67:16.67:16.67 สูตรที่ 5 กำลังขยาย 5000 เท่า ความมันวาว เท่ากับ 1.9



ภาพที่ 4.20 ภาพถ่าย SEM ของกระดาษเคลือบที่มีสัดส่วนซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 83.33:8.33:8.33 สูตรที่ 11 กำลังขยาย 5000 เท่า ความมันวาว เท่ากับ 1.8

ผิวของกระดาษเคลือบผิวที่มีส่วนประกอบของซิลิกาชนิดเดียวให้ผิวที่ดูขรุขระแต่เมื่อผสมด้วยดินขาวนิวซีแลนด์ในปริมาณมากพบว่าความขรุขระลดน้อยลง และมีการกระจายตัวของสารสีอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากขนาดของอนุภาคดินขาวนิวซีแลนด์มีขนาดเล็กมากสามารถเข้าไปเติมเต็มช่องว่างระหว่างซิลิกาทำให้ได้รูปพูนที่ผิวหน้าขนาดเล็กกลอง แต่เมื่อผสมแคลเซียมคาร์บอเนตบดซึ่งมีขนาดอนุภาคใหญ่และมีหลายขนาดทำให้ผิวหน้าจากภาพถ่าย SEM ดูเหมือนขรุขระมาก และมีรูปพูนขนาดใหญ่ แต่ลักษณะที่เห็นนั้นไม่ได้มีความสัมพันธ์กับค่าความมันวาว เนื่องจากเมื่อเพิ่มดินขาวนิวซีแลนด์มากขึ้นส่งผลให้กระดาษเคลือบผิวมีความมันวาวลดลง เมื่อเทียบกับแคลเซียมคาร์บอเนตบดเพิ่มขึ้นความมันวาวเพิ่มขึ้น แต่ความมันวาวที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงนั้นไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากจากทุกสูตรให้ค่าความมันวาวใกล้เคียงกันในช่วง 1.7 – 2.0 เมื่อวัดที่มุม 75 องศา (Tappi T480 specula gloss of paperboard มุม 2 องศา แหล่งกำเนิดแสง ทั้งสแตน)

4.3.2 สมบัติของกระดาษอิงก์เจ็ดและคุณภาพงานพิมพ์

เมื่อนำกระดาษเคลือบผิวที่ผลิตได้ด้วยวิธีการเคลือบผิวทั้ง 2 วิธี มาวัดสมบัติทางกายภาพของกระดาษ ได้แก่ น้ำหนักสารเคลือบ ค่าความขาวสว่าง ความขาว และความทึบแสง แล้วนำไปพิมพ์ โดยใช้ต้นฉบับแผ่นทดสอบ QEA (Quality Engineering Associates) ด้วยเครื่องพิมพ์แคนนอน i9950 แล้ววัดค่าความดำของหมึกพิมพ์ และร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์ ในตารางที่ 4.3 (เมื่อเคลือบด้วยเครื่องปรุฟเฟลกโซกราฟี) และตารางที่ 4.4 (เมื่อเคลือบด้วยขดลวดเคลือบผิว)

ตารางที่ 4.3 สมบัติของกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้กับคุณภาพงานพิมพ์ เมื่อเคลือบผิวด้วยเครื่องปรุฟเฟลกโซ

สูตร	SiO ₂ :Kaolin:CaCO ₃ (สัดส่วนร้อยละโดย น้ำหนัก)	น้ำหนัก สาร เคลือบ (g/m ²)	ความ ขาว สว่าง (%)	ความ ขาว	ความ ขาว	ค่าความดำของหมึกพิมพ์				ร้อยละ การซึม เข้าหา กันของ หมึก (%)
						C	M	Y	K	
1	100.00 : 00.00 : 00.00	6.50	93.28	108.49	92.75	0.91	1.26	1.24	1.30	4.00
2	83.33 : 16.67 : 00.00	7.46	91.61	105.29	92.70	0.95	1.28	1.26	1.35	2.00
3	83.33 : 00.00 : 16.67	6.55	92.64	107.35	92.93	0.93	1.26	1.23	1.30	3.00
4	66.67 : 33.33 : 00.00	8.38	91.45	103.73	93.09	0.93	1.25	1.25	1.31	5.00
5	66.67 : 16.67 : 16.67	6.42	91.97	105.19	92.81	0.92	1.27	1.30	1.31	5.00
6	66.67 : 00.00 : 33.33	6.52	92.71	107.79	92.99	0.93	1.26	1.28	1.31	5.50
7	50.00 : 50.00 : 00.00	9.62	90.01	100.80	93.39	0.93	1.26	1.27	1.36	6.00
8	50.00 : 33.33 : 16.67	9.60	90.73	102.13	93.43	0.90	1.25	1.32	1.28	7.00
9	50.00 : 16.67 : 33.33	6.90	92.06	105.93	92.86	0.96	1.29	1.28	1.36	5.00
10	50.00 : 00.00 : 50.00	7.31	92.84	107.48	92.99	0.90	1.26	1.33	1.28	10.00
11	83.33 : 8.33 : 8.33	7.22	92.86	107.32	92.69	0.96	1.31	1.28	1.36	5.50
12	58.33 : 33.33 : 8.33	10.40	91.93	103.93	93.37	0.94	1.27	1.31	1.32	9.00
13	58.33 : 8.33 : 33.33	8.11	92.48	105.92	93.07	0.90	1.26	1.29	1.27	6.00
*14	83.33 : 8.33 : 8.33	8.80	92.09	107.51	93.19	0.96	1.29	1.27	1.37	4.00
*15	58.33 : 33.33 : 8.33	9.49	92.05	107.71	95.68	0.94	1.27	1.29	1.32	7.00
*16	58.33 : 8.33 : 33.33	8.29	91.38	106.46	93.66	0.92	1.27	1.33	1.3	6.00
	กระดาษฐาน**	-	94.54	112.08	92.51	0.86	1.20	1.21	1.19	11.00

* สูตรทำซ้ำเพื่อรวมความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการทดลองเข้าไปในแบบจำลอง

** สมบัติต่าง ๆ ของกระดาษฐานเพื่อใช้เปรียบเทียบกับกระดาษเคลือบผิว

จุดประสงค์ของการเคลือบผิวกระดาษด้วยขดลวดเพิ่มเติม เนื่องจากต้องการศึกษาผลของน้ำหนักเคลือบผิวที่เพิ่มขึ้นต่อคุณภาพงานพิมพ์ ซึ่งพบว่าน้ำหนักสารเคลือบที่เพิ่มขึ้นจากที่เคลือบด้วยเครื่องปรุฟเฟลกโซอยู่ในช่วง 6.42 – 10.40 กรัมต่อตารางเมตร เป็น 26.05 – 50.79 กรัมต่อตารางเมตร นั้นไม่ได้ทำให้ความดำของหมึกพิมพ์เพิ่มขึ้น แต่กลับลดลง ส่วนความดำของสีเหลืองที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นเพราะกระดาษมีสีชาวมเหลืองมากขึ้น จนทำให้มีค่าความขาวลดต่ำลงด้วย อย่างไรก็ตามน้ำหนักสารเคลือบที่เพิ่มขึ้นนั้นให้ผลการซึมเข้าหากันของหมึกลดลงมาก และเมื่อสังเกตด้วยสายตา ก็เห็นชัดเจนว่าภาพมีความคมชัดมากขึ้น (ภาคผนวก ก)

ข้อมูลของสมบัติกระดาษในตารางที่ 4.3 เมื่อนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ และโมเดลที่เหมาะสม พบว่าเมื่อใช้การวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบขั้นตอน (stepwise multiple regression) ทั้งนี้โมเดลที่เหมาะสม ได้แก่ ควอดราติก เมื่อใช้การวิเคราะห์ถดถอยของผสม (mixture regression) พบว่าสัดส่วนของสารสีบางคู่ที่ผสมกันไม่มีอิทธิพลต่อสมบัติที่ทดสอบเลย (ตัวแปรตอบสนอง) แต่สารสีบางตัวมีอิทธิพลต่อสมบัติที่ทดสอบ ซึ่งสมการที่นำมาใช้ควรเป็นสมการที่ประกอบด้วย สารสีที่มีผลต่อสมบัติที่ทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่านั้น จึงเลือกใช้การวิเคราะห์ถดถอยแบบขั้นตอนเพื่อขจัดสารสีบางคู่ ที่ไม่มีผลต่อสมบัติที่ทดสอบอย่างมีนัยสำคัญออกไป ผลการวิเคราะห์ถดถอยของผสม แสดงใน ภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.4 สมบัติของกระดาษเคลือบผิวอังก์เจ็ตที่ผลิตได้กับคุณภาพงานพิมพ์ เมื่อเคลือบผิวด้วยขดลวดเคปาร์*

สูตร	SiO ₂ :Kaolin:CaCO ₃ (สัดส่วนร้อยละโดยน้ำหนัก)	น้ำหนักสารเคลือบ (g/m ²)	ความขาวสว่าง (%)	ความขาว	ความทึบแสง	ค่าความดำของหมึกพิมพ์				ร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึก (%)
						C	M	Y	K	
1	100.00 : 00.00 : 00.00	28.31	91.4	99.18	95.93	0.94	1.41	1.54	1.25	3.00
2	83.33 : 16.67 : 00.00	32.09	91.24	96.53	95.92	0.9	1.39	1.62	1.19	2.00
3	83.33 : 00.00 : 16.67	30.25	91.93	98.72	96.03	0.89	1.34	1.54	1.17	2.00
4	66.67 : 33.33 : 00.00	28.87	90.48	94.37	95.56	0.88	1.32	1.54	1.23	0.00
5	66.67 : 16.67 : 16.67	26.05	90.68	95.04	95.63	0.83	1.23	1.43	1.09	0.00
6	66.67 : 00.00 : 33.33	34.32	91.07	97.68	96.1	0.84	1.24	1.48	1.12	0.00
7	50.00 : 50.00 : 00.00	33.23	88.58	90.19	96.34	0.87	1.2	1.37	1.13	0.00
8	50.00 : 33.33 : 16.67	30.42	89.2	92.21	96.16	0.87	1.17	1.38	1.15	0.00
9	50.00 : 16.67 : 33.33	27.49	91.42	97.69	95.44	0.8	1.17	1.41	1.13	0.00
10	50.00 : 00.00 : 50.00	27.21	92.22	99.85	95.54	0.74	1.15	1.42	1.08	3.00
11	83.33 : 8.33 : 8.33	50.79	90.72	96.82	96.2	1	1.4	1.56	1.3	1.00
12	58.33 : 33.33 : 8.33	29.51	89.61	92.84	96.2	0.92	1.27	1.48	1.2	2.00
13	58.33 : 8.33 : 33.33	29.93	90.89	95.49	96.01	0.84	1.24	1.44	1.17	2.00

* ขดลวดเคลือบผิวเคปาร์ มีความหนาชั้นฟิล์มขณะเปียก 100 ไมโครเมตร

ตารางที่ 4.5 สมบัติของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าจำนวน 5 ชนิดกับคุณภาพงานพิมพ์

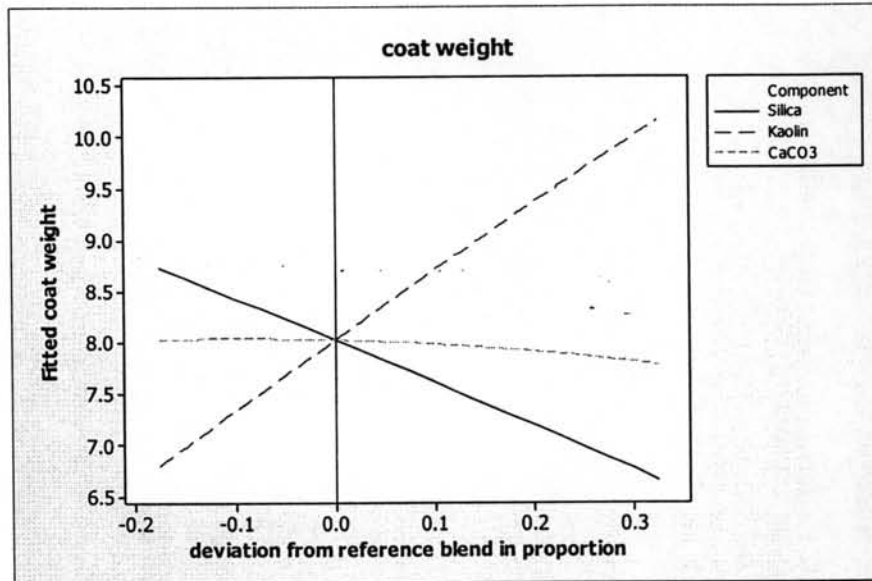
ยี่ห้อ	น้ำหนักกระดาษ (g/m ²)	ความ		ความ ทึบ แสง	ค่าความดำของหมึกพิมพ์				ร้อยละการซึม เข้าหากันของ หมึก (%)
		ขาว สว่าง (%)	ขาว		C	M	Y	K	
Euro jet	90	94.17	125.16	92.28	1.08	1.48	1.47	1.64	6.00
ez Art	90	91.45	117.28	97.80	1.10	1.61	1.46	1.79	3.00
IJ	90	98.35	121.14	92.77	1.14	1.57	1.35	1.87	9.00
Hi-jet	90	98.45	121.09	92.53	1.16	1.58	1.38	1.89	8.00
SG	90	91.54	111.42	94.97	1.15	1.66	1.52	1.93	7.00

จากตารางที่ 4.5 สมบัติของกระดาษเคลือบผิวชนิดด้านทางการค้าน้ำหนัก 90 แกรม จำนวน 5 ยี่ห้อตามท้องตลาด พบว่าค่าความดำของหมึกพิมพ์สีดำอยู่ระหว่าง 1.64 – 1.93 ในขณะที่กระดาษเคลือบผิวที่เคลือบด้วยเครื่องปรูฟเฟลกโซกราฟีที่ผลิตได้ให้ค่าความดำของหมึกพิมพ์สีดำอยู่ระหว่าง 1.27 – 1.37 พบว่ากระดาษเคลือบผิวทางการค้ามีความขาวสูง คือ 111 – 125 ในขณะที่กระดาษเคลือบผิวที่เคลือบด้วยเครื่องปรูฟเฟลกโซกราฟี ให้ความขาวของกระดาษเคลือบผิวระหว่าง 100 – 108 ให้ความขาวต่ำกว่ากระดาษเคลือบผิวทางการค้า มีผลให้ค่าความดำของหมึกพิมพ์สีดำมีค่าต่างกันสูง เพราะความขาวของกระดาษมีผลต่อความดำของหมึกพิมพ์สีดำด้วย

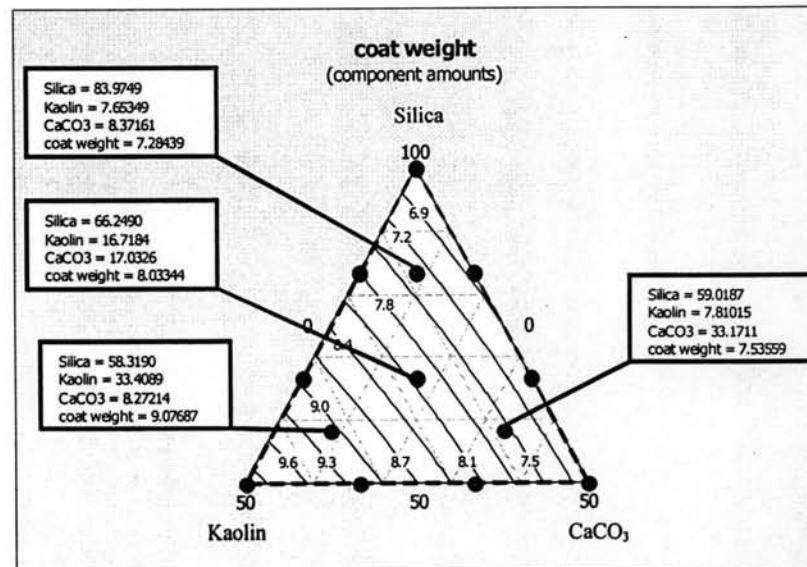
การวิเคราะห์สมบัติของกระดาษเคลือบผิวอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้วิเคราะห์ด้วยเทรซพลอต (response trace plot) และคอนทัวร์พลอต (contour plot) ซึ่งเป็นกราฟแสดงปริมาณของสารสีแต่ละชนิด และความสัมพันธ์ของสารสี 3 ชนิด ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และคุณภาพงานพิมพ์กราฟนี้สร้างโดยใช้โปรแกรมมินิแทบ

4.3.2.1 น้ำหนักของชั้นสารเคลือบ

จากการวิเคราะห์โดยเลือกความสัมพันธ์ดอดอยพหุแบบขั้นตอน และโมเดลแบบลิเนียร์เพื่อพิจารณาผลของชนิดสารสีต่อน้ำหนักสารเคลือบ โดยใช้ข้อมูลจากการทดลอง 16 สูตร สามารถแสดง เทรสปลอต และคอนทัวร์พลอต ได้ดังภาพที่ 4.21 และ 4.22 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.21 เทรสปลอตแสดงผลของสารสีแต่ละชนิดต่อน้ำหนักสารเคลือบผิวกระดาษอังก์เจ็ต



ภาพที่ 4.22 คอนทัวร์พลอตแสดงความสัมพันธ์ของสารสี 3 ชนิดกับน้ำหนักสารเคลือบผิวกระดาษอังก์เจ็ต

จากภาพที่ 4.21 กราฟแต่ละเส้นแทนสารสีแต่ละชนิด โดยมีเส้นตรงที่ขนานกับแกน Y เป็นจุดอ้างอิง โดยจุดอ้างอิงนั้นคือสูตรที่ 5 ซึ่งเป็นจุดที่มีสัดส่วนระหว่างซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบดที่ 66.67:16.67:16.67 จากกราฟในแกน x ด้านซ้ายมือจากเส้นอ้างอิงมีค่าเป็นลบแสดงถึงปริมาณของสารสีที่ลดลงจากจุดอ้างอิง โดยพิจารณาเฉพาะสารสีชนิดเดียวในขณะที่สารสีชนิดอื่นมีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วน (ผลรวมของสัดส่วนทั้งหมดเท่ากับ 100) ส่วนด้านขวามือจากเส้นอ้างอิงมีค่าบวกแสดงถึงปริมาณของสารสีที่เพิ่มขึ้นจากจุดอ้างอิง ในขณะที่สารสีชนิดอื่นลดลงตามสัดส่วน จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซิลิกามากขึ้นจากร้อยละ 66.67 (สารสีอีก 2 ชนิดลดลง) น้ำหนักสารเคลือบจะลดลง ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณดินขาวนิวซีแลนด์มีผลให้น้ำหนักสารเคลือบสูงขึ้น ส่วนการเพิ่มหรือลดปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตบดมีผลต่อน้ำหนักสารเคลือบน้อยมาก ให้ค่าค่อนข้างคงที่ และจากภาพที่ 4.22 (ดูตำแหน่งจุดในภาพที่ 4.7) แสดงผลของสัดส่วนของสารสีที่ผสมกัน 3 ชนิดต่อน้ำหนักสารเคลือบพบว่า ในสัดส่วนที่มีซิลิกาเท่ากัน เช่น ในจุดที่ 8 และ 9 แนวโน้มของน้ำหนักสารเคลือบสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณดินขาวนิวซีแลนด์ และจุดที่มีเพียงซิลิกาและดินขาวนิวซีแลนด์ เช่นจุดที่ 2 และ 4 พบว่าเมื่อดินขาวมากขึ้นส่งผลให้มีน้ำหนักสารเคลือบเพิ่มมากขึ้น และในสัดส่วนที่มีเพียงซิลิกาและแคลเซียมคาร์บอเนต เช่นจุดที่ 3 และ 6 พบแนวโน้มว่าเมื่อเพิ่มแคลเซียมคาร์บอเนตบดน้ำหนักสารเคลือบเพิ่มมากขึ้นเพียงเล็กน้อย จนถึงจุด ๆ หนึ่งแล้วน้ำหนักสารเคลือบไม่เพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อพิจารณาจุดที่มีสารสี 3 ชนิด เช่นจุดที่ 5, 11, 12 และ 13 แล้วพบว่าเมื่อปริมาณดินขาวนิวซีแลนด์มากขึ้นส่งผลให้น้ำหนักสารเคลือบมากขึ้น การเพิ่มซิลิกามีผลให้น้ำหนักสารเคลือบลดลงนั้นคาดว่าเป็นผลเนื่องจากสารเคลือบที่มีปริมาณซิลิกาสูงทำให้สารเคลือบมีความหนืดสูงมาก ดังนั้นเมื่อนำมาเคลือบด้วยเครื่องพู่เฟลกโซ โดยใส่สารเคลือบลงไประหว่างใบมีดและลูกแอนิลอกซ์ จากนั้นลูกแอนิลอกซ์หมุนไป 2 รอบเพื่อให้สารเคลือบลงไปในเซลล์ โดยมีใบมีดปาดสารเคลือบส่วนเกินออกไป ขั้นตอนนี้หากสารเคลือบเหนียวเกินไปทำให้ไม่สามารถไหลเข้าไปในเซลล์ได้ดี และค้างอยู่ที่ใบมีดในปริมาณมาก นอกจากนี้ในขั้นตอนถ่ายโอนสู่กระดาษสารเคลือบที่หนืดสูงไม่สามารถถ่ายโอนไปได้หมดทำให้น้ำหนักสารเคลือบต่ำลงเมื่อเทียบกับสารสีที่ผสมกันแล้วให้ความหนืดต่ำกว่า

จากการวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบขั้นตอน ค่าสัมประสิทธิ์ของส่วนผสมทั้ง 3 ชี้ให้เห็นว่า ดินขาวนิวซีแลนด์ (13.602) สามารถผลิตสารเคลือบผิวที่มีน้ำหนักสารเคลือบสูงกว่า แคลเซียมคาร์บอเนตบด (7.603) และซิลิกา (6.659) ที่มีผลต่อน้ำหนักสารเคลือบใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 4.6 ส่วนการผสมกันของสารสี ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ไม่มีผลต่อน้ำหนักสารเคลือบ อย่างมีนัยสำคัญเชิงสถิติ จึงได้แบบจำลองเชิงเส้นที่มีสัมประสิทธิ์ตามตารางที่ 4.6

และ ค่า $F_{\text{คำนวณ}} = 9.70 > F_{2,13,0.95} = 3.81$ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยที่ได้ สามารถนำมาใช้ในสมการถดถอยเชิงเส้นได้ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบขั้นตอน แสดงความสัมพันธ์ของสารสีต่อน้ำหนักสารเคลือบ

Term	Coef	SE Coef
Silica	6.659	0.542
Kaolin	13.602	1.325
CaCO ₃	7.603	1.325

S = 0.890 R-Sq = 59.87% R-Sq(pred) = 45.54% R-Sq(adj) = 53.69%

Analysis of Variance for coat weight (component proportions)

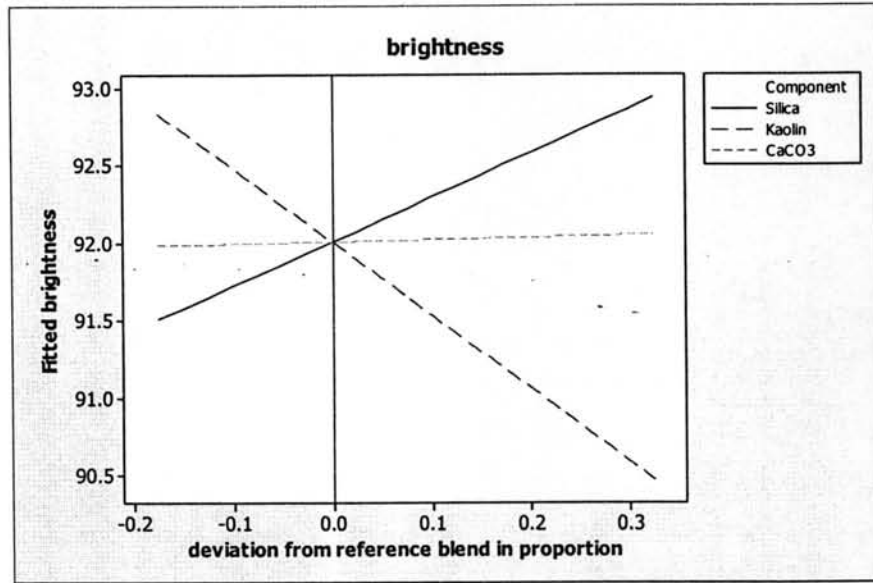
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	2	15.362	15.362	7.6808	9.70	0.003
Linear	2	15.362	15.362	7.6808	9.70	0.003
Residual Error	13	10.297	10.297	0.7921		
Lack-of-Fit	10	8.619	8.619	0.8619	1.54	0.399
Pure Error	3	1.678	1.678	0.5595		
Total*	15	25.659				

* Total คือผลรวม DF ของ Regression และ Residual Error

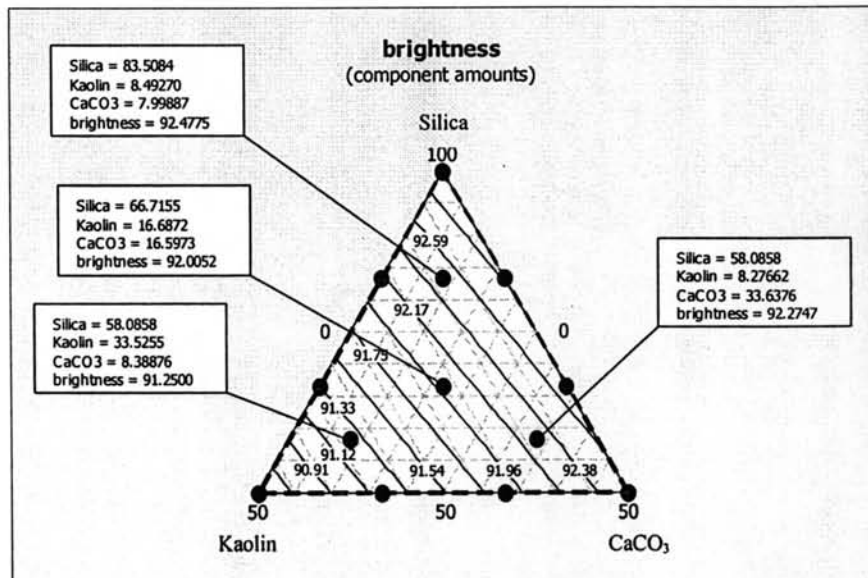
โดยทั่วไปน้ำหนักของสารเคลือบจะเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น แต่ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ร้อยละของแข็งมีค่า 22 เท่ากันทุกสูตร ดังนั้นน้ำหนักสารเคลือบขึ้นกับความหนาของชั้นสารเคลือบบนกระดาษ จากการทดลองพบว่าการเคลือบด้วยเครื่องปรูฟเฟลกโซให้น้ำหนักสารเคลือบต่ำ เนื่องจากลูกกลิ้งแอนิลอกซ์ที่ใช้มีความละเอียด 550 เซลล์ต่อนิ้วซึ่งค่อนข้างสูงในการใช้เคลือบผิว มีผลให้การถ่ายโอนสารเคลือบสู่กระดาษต่ำต่อการเคลือบ 1 รอบ ทำให้ต้องใช้จำนวนรอบในการเคลือบมากขึ้นถึง 30 รอบต่อสารเคลือบ 1 สูตร ในขณะที่การเคลือบด้วยขดลวดเคลือบผิว ให้ความหนาของชั้นฟิล์มขณะเปียก 100 ไมโครเมตร ให้น้ำหนักสารเคลือบสูงคือในช่วง 26-50 g/m² ในขณะที่เคลือบด้วยเครื่องปรูฟเฟลกโซให้น้ำหนักสารเคลือบอยู่ในช่วง 6.4 – 10.4 g/m²

4.3.2.2 ค่าความขาวและความขาวสว่าง

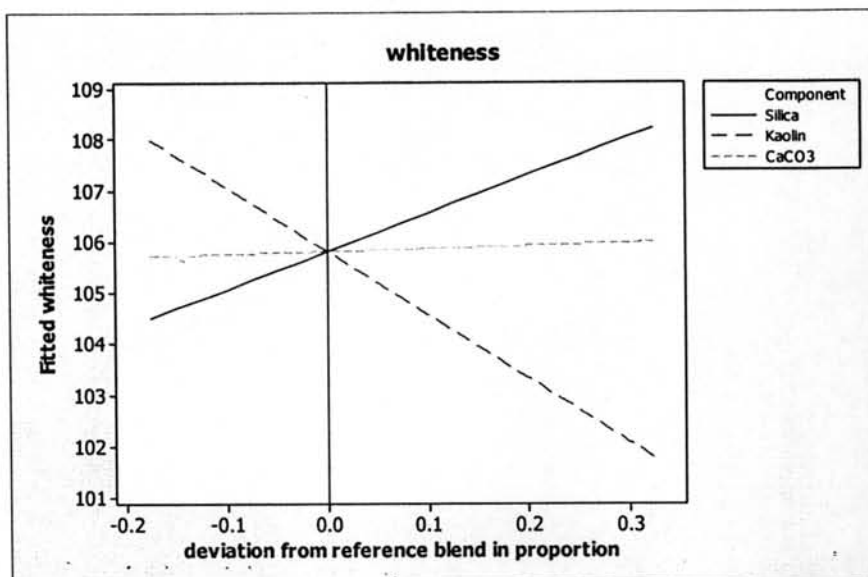
ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบเดียวกันกับการวิเคราะห์น้ำหนักสารเคลือบ เทรสปลอต และคอนทัวร์พลอตแสดงผลชนิดของสารสีต่อความขาวสว่าง แสดงดังภาพที่ 4.23 – 4.24 และ ความขาวได้ดังภาพที่ 4.25 -4.26 ตามลำดับ



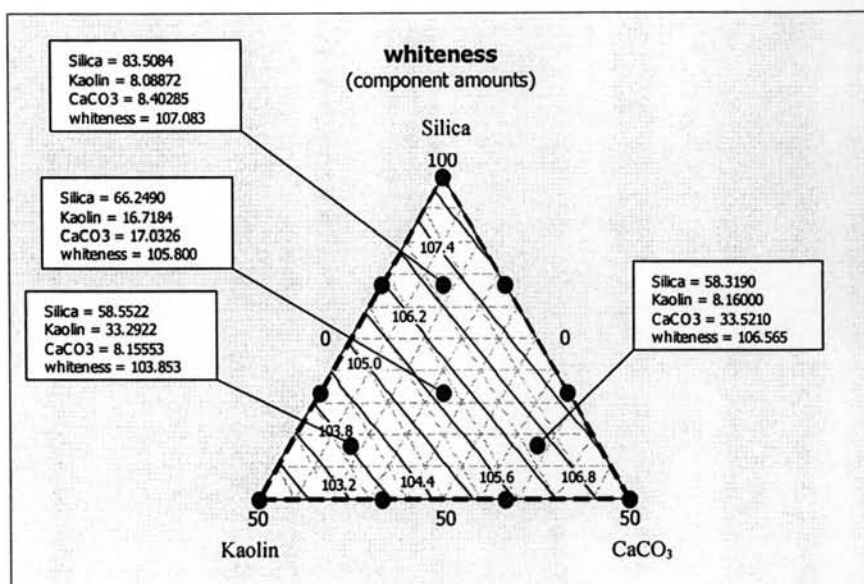
ภาพที่ 4.23 เทรสปลอตแสดงผลของสารสีแต่ละชนิดต่อความขาวสว่างบนกระดาษเคลือบผิวอังก์เจ็ด



ภาพที่ 4.24 คอนทัวร์พลอตแสดงความสัมพันธ์ของสารสี 3 ชนิดกับความขาวสว่างบนกระดาษเคลือบผิวอังก์เจ็ด



ภาพที่ 4.25 เทรสพลอตแสดงผลของสารสีแต่ละชนิดต่อความขาวบนกระดาษเคลือบผิวอิงก์เจ็ต



ภาพที่ 4.26 คอนทัวร์พลอตแสดงความสัมพันธ์ของสารสี 3 ชนิดกับความขาวบนกระดาษเคลือบผิวอิงก์เจ็ต

จากภาพที่ 4.23 และ 4.25 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซิลิกา (สารสีอีก 2 ชนิดลดลง) มีผลให้ความขาวสว่างและความขาวสูงขึ้น ส่วนการเพิ่มปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตมีผลต่อทั้งความขาวสว่างและความขาวเพียงเล็กน้อย ในขณะที่การเพิ่มปริมาณดินขาวนิวซีแลนด์ให้ความขาวและความขาวสว่างลดลง เนื่องจากดินขาวนิวซีแลนด์มีสีขาวอมเหลือง ในภาพที่ 4.24 และ 4.26 พบว่าเมื่อสัดส่วนของดินขาวนิวซีแลนด์เพิ่มมากขึ้นความขาวสว่างและความขาวมีแนวโน้มลดลง

จากตารางที่ 4.7 และ 4.8 ซึ่งให้เห็นว่าเมื่อใช้การวิเคราะห์ถดถอยแบบพหุขั้นตอนพบว่าความสัมพันธ์แบบลิเนียร์มีนัยสำคัญ และ lack of fit (การวัดความผิดพลาดของแบบจำลองในการนำเสนอข้อมูลจากการทดลอง) ไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้นการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์แบบลิเนียร์เพียงพอสำหรับสภาวะ และชุดข้อมูลนี้ ค่าสัมประสิทธิ์ของส่วนผสมทั้ง 3 (ตารางที่ 4.7 ความขาวสว่าง และตารางที่ 4.8 ความขาว) ซึ่งให้เห็นว่าซิลิกา (92.96 และ 108.29) สามารถผลิตสารเคลือบที่มีความขาวได้สูงที่สุด และใกล้เคียงกับแคลเซียมคาร์บอเนต (92.13 และ 106.27) ส่วนดินขาวนิวซีแลนด์ (88.07 และ 95.46) มีผลต่อความขาวน้อยที่สุด และเมื่อสารสี 2 ชนิดผสมกัน ไม่ได้ทำให้ความขาวสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นปฏิสัมพันธ์ของสารสี 2 ชนิดจึงถูกตัดทิ้งไปจากสมการ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับความขาวสว่าง

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบขั้นตอนแสดงความสัมพันธ์ของสารสีต่อความขาวสว่าง

Term	Coef	SE Coef
Silica	92.96	0.304
Kaolin	88.07	0.743
CaCO ₃	92.13	0.743

S = 0.499 R-Sq = 69.59% R-Sq(pred) = 53.60% R-Sq(adj) = 64.91%

Analysis of Variance for brightness (component proportions)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	2	7.418	7.418	3.709	14.880	0.000
Linear	2	7.418	7.418	3.709	14.880	0.000
Residual Error	13	3.241	3.241	0.249		
Lack-of-Fit	10	2.333	2.333	0.233	0.770	0.672
Pure Error	3	0.909	0.909	0.303		
Total*	15	10.659				

* Total คือผลรวม DF ของ Regression และ Residual Error

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบขั้นตอนแสดงความสัมพันธ์ของสารสีต่อความขาว

Term	Coef	SE Coef
Silica	108.29	0.775
Kaolin	95.46	1.895
CaCO ₃	106.27	1.895

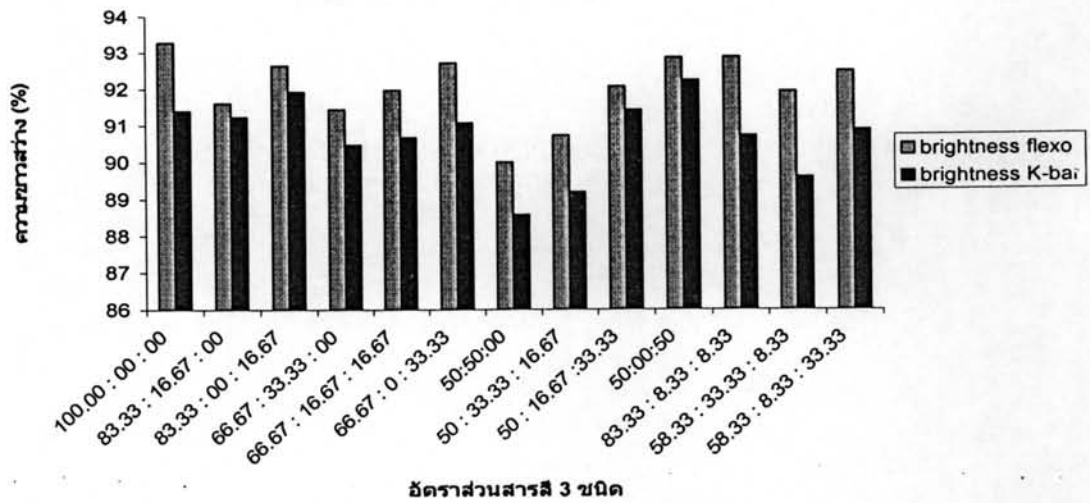
S = 1.273 R-Sq = 71.00% R-Sq(pred) = 58.53% R-Sq(adj) = 66.54%

Analysis of Variance for whiteness (component proportions)

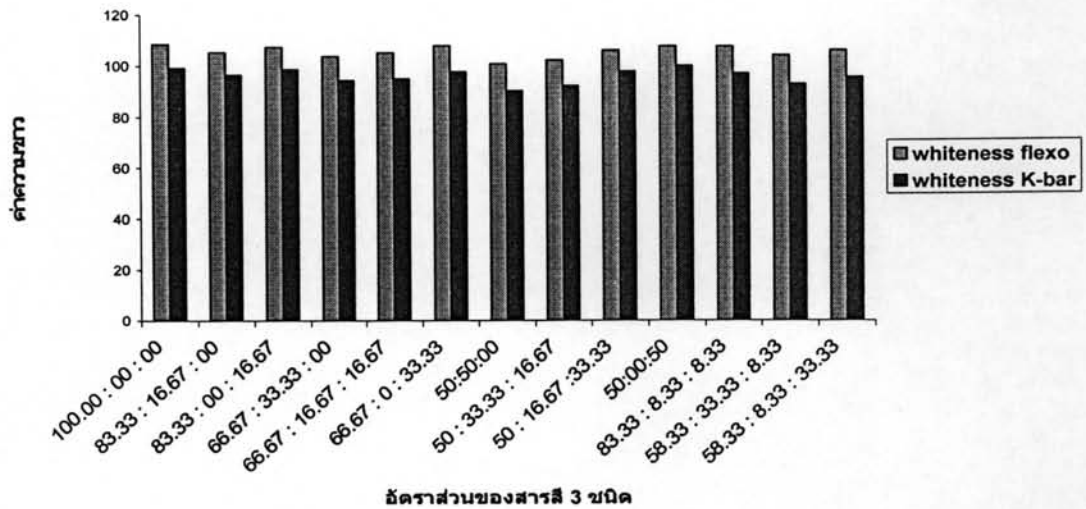
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	2	51.583	51.583	25.792	15.920	0.000
Linear	2	51.583	51.583	25.792	15.920	0.000
Residual Error	13	21.067	21.067	1.621		
Lack-of-Fit	10	13.759	13.759	1.376	0.560	0.784
Pure Error	3	7.308	7.308	2.436		
Total*	15	72.650				

* Total คือผลรวม DF ของ Regression และ Residual Error

หากความหนาในการเคลือบผิวเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ความขาวและความขาวสว่างลดลงซึ่งจะเห็นได้เมื่อเคลือบกระดาษโดยวิธีใช้ขดลวดเคลือบผิว ซึ่งจะเห็นความแตกต่างชัดเจนดังแสดงในภาพที่ 4.27 และ 4.28 ทั้งนี้อาจมีผลมาจากปริมาณสารเคลือบที่หนาขึ้นสามารถปิดผิวหน้ากระดาษฐานได้มากขึ้นทำให้ความขาวและความสว่างของกระดาษฐาน ไม่มีผลต่อความขาวและความขาวสว่างของกระดาษเคลือบผิว และความหนาของสารเคลือบที่มากขึ้น หมายความว่าปริมาณสารสีมากขึ้น และสารสีที่ใช้มีสีขาวอมเหลืองจึงมีผลให้ความขาวลดลง



ภาพที่ 4.27 ความขาวสว่างของกระดาษเคลือบผิว

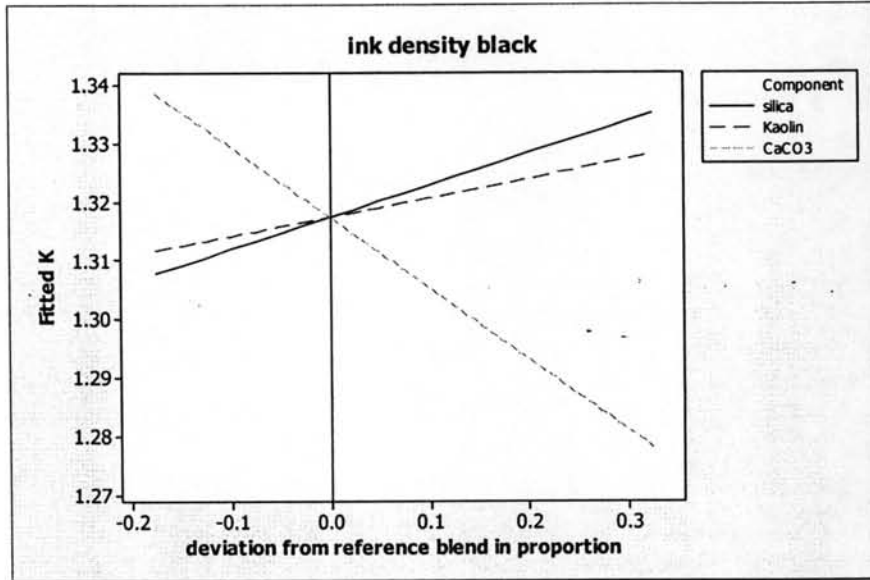


ภาพที่ 4.28 ความขาวของกระดาษเคลือบผิว

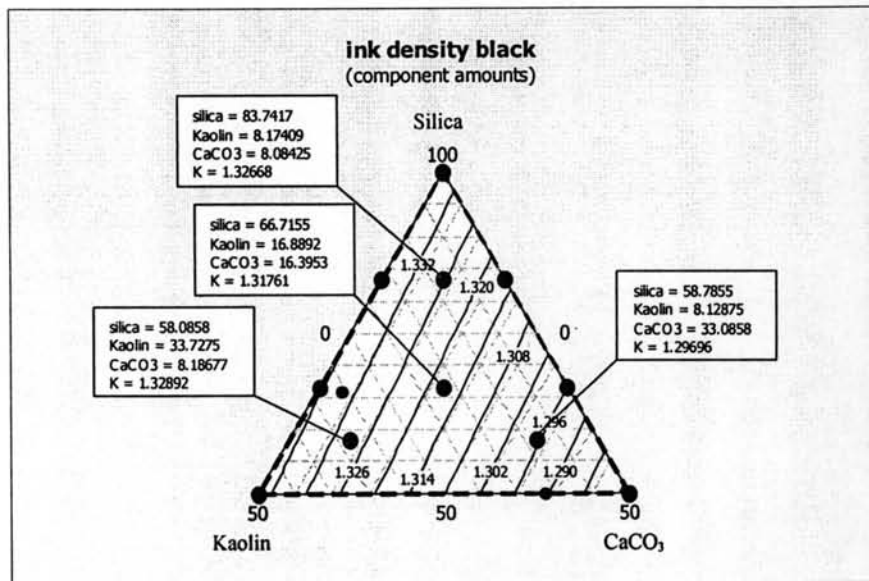
4.3.2.3 ค่าความดำของสีด้า

เมื่อพิมพ์แผ่นทดสอบมาตรฐาน QEA ลงบนกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้ด้วยเครื่องพิมพ์หย็้อแคนนอน รุ่น i9950 แล้วนำไปวัดค่าความดำของหมึกพิมพ์สีด้า เพื่อศึกษาผลของสารสีต่อความดำของหมึกพิมพ์ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซิลิกาจากจุดอ้างอิง (สารสีอีก 2 ชนิดลดลง) มีผลให้ความดำของหมึกพิมพ์มีค่าสูงขึ้น ดังแสดงในเทรสปล็อต (ภาพที่ 4.29) แต่หาก

ปริมาณซิลิกา ลดต่ำลงจากจุดอ้างอิง (สารสีอีก 2 ชนิดเพิ่มขึ้น) ค่าความต่ำลง ดินขาว นิวซีแลนด์ให้ผลเช่นเดียวกับซิลิกา ส่วนการเพิ่มแคลเซียมคาร์บอเนตลดจากจุดอ้างอิงทำให้ความต่ำลงต่ำลงอย่างรวดเร็ว และหากลดปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตลงทำให้ความต่ำเพิ่มขึ้นอย่างมากเช่นกัน



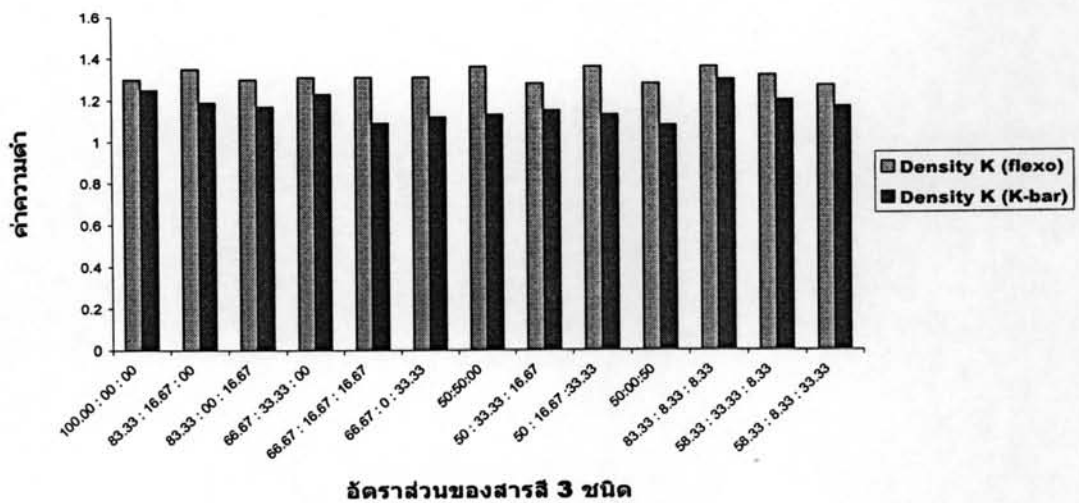
ภาพที่ 4.29 เทรสปล็อตแสดงผลของสารสีแต่ละชนิดต่อความต่ำของหมึกพิมพ์สีดำบนกระดาษเคลือบผิวอังก์เจ็ต



ภาพที่ 4.30 คอนทัวร์พล็อตแสดงความสัมพันธ์ของสารสีทั้ง 3 ชนิด กับความต่ำของหมึกพิมพ์สีดำบนกระดาษเคลือบผิวอังก์เจ็ต

จากภาพที่ 4.30 แสดงให้เห็นว่าเมื่อสัดส่วนระหว่างซิลิกากับดินขาวนิวซีแลนด์สูงขึ้น ให้ความต้านทานสูงกว่าส่วนผสมระหว่างซิลิกากับแคลเซียมคาร์บอเนตบดซึ่งให้ค่าความต้านทานที่ต่ำกว่า ดังนั้นในกรณีนี้สารเคลือบมีส่วนประกอบของสารสีมากกว่า 1 ชนิด โดยมีซิลิกาเป็นสารสีหลัก ดินขาวนิวซีแลนด์มีผลต่อค่าความต้านทานมากกว่าแคลเซียมคาร์บอเนตบด

เมื่อความหนาของชั้นสารเคลือบผิวเพิ่มขึ้นมาก (จากค่าเฉลี่ยประมาณ 8 กรัมต่อตารางเมตร เป็น 31 กรัมต่อตารางเมตร โดยการเคลือบผิวด้วยเคบาร์ พบว่าความต้านทานของหมึกพิมพ์ลดลง ดังแสดงในภาพที่ 4.31 อย่างไรก็ตาม ชั้นสารเคลือบผิวที่สูงขึ้นมีผลทำให้การซึมเข้าหากันของหมึกลดลง (ดังแสดงในภาพที่ 4.57) ซึ่งทำให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้น



ภาพที่ 4.31 ค่าความต้านทานของหมึกพิมพ์สีดำเมื่อเคลือบผิวด้วยเครื่องปรูฟเพลกโซกราฟี และเคบาร์

จากการวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบขั้นตอน พบว่าความสัมพันธ์แบบลิเนียร์มีนัยสำคัญ ค่าสัมประสิทธิ์ของส่วนผสมทั้ง 3 ซี้ให้เห็นว่า ซิลิกา (1.336) และดินขาวนิวซีแลนด์ (1.345) สามารถผลิตสารเคลือบที่มีความต้านทานของหมึกพิมพ์สีดำได้สูงใกล้เคียงกัน รองลงมาคือ แคลเซียมคาร์บอเนตบด (1.217) ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบขั้นตอนแสดงความสัมพันธ์ของสารสีต่อค่าความดำของสีดำ

Term	Coef	SE Coef
Silica	1.336	0.016
Kaolin	1.345	0.041
CaCO ₃	1.217	0.041

S = 0.025 R-Sq = 42% R-Sq(pred) = 0.00% R-Sq(adj) = -31.44%

Analysis of Variance for ink density black (component proportions)

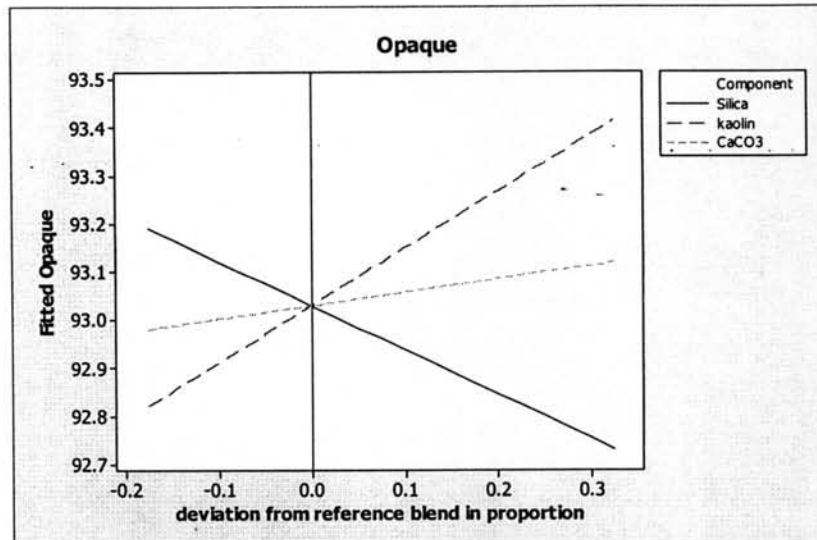
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	2	0.005	0.005	0.003	3.98	0.050
Linear	2	0.005	0.005	0.003	3.98	0.050
Residual Error	11	0.007	0.007	0.001		
Lack-of-Fit	8	0.007	0.007	0.001	4.92	0.109
Pure Error	3	0.001	0.001	0.000		
Total*	13	0.012				

* Total คือผลรวม DF ของ Regression และ Residual Error

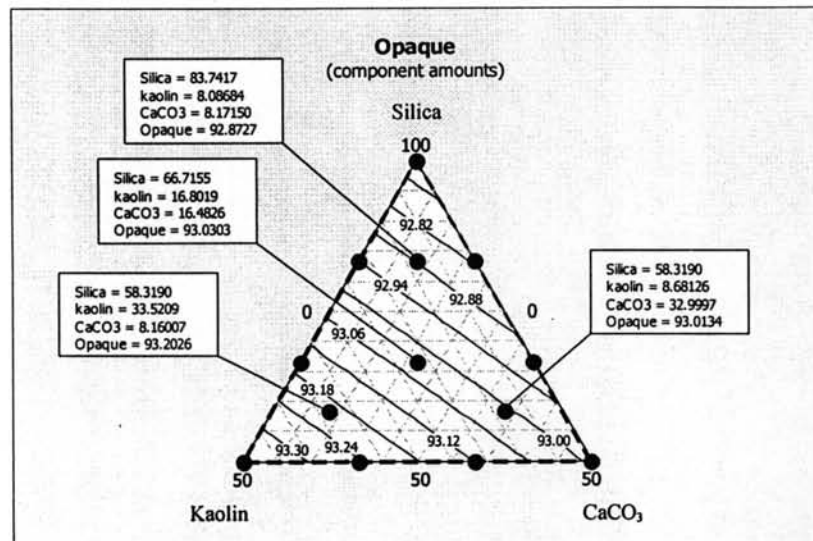
ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาค่าความดำของหมึกพิมพ์และการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์ เพราะความต้องการในการพิมพ์ให้มีสีสดใสสวยงาม คมชัดเหมือนกับต้นฉบับ จากภาพที่ 4.29 พบว่าแนวโน้มของค่าความดำเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของซิลิกามากขึ้น ค่าความดำที่สูงที่สุดอยู่ในช่วงที่มีซิลิกาผสมดินขาวนิวซีแลนด์ ในสัดส่วน 66.67:33.33 ซึ่งให้ค่าความดำสูงกว่าการมีซิลิกาเป็นสารสีเพียงชนิดเดียวหรือซิลิกาผสมแคลเซียมคาร์บอเนต ทั้งนี้อาจเป็นสาเหตุมาจากอนุภาคของดินขาวนิวซีแลนด์มีขนาดเล็กมากเพียง 0.512 ไมโครเมตร ซึ่งเล็กกว่าซิลิกาที่มีขนาด 6.97 ไมโครเมตร และแคลเซียมคาร์บอเนตบดที่มีขนาด 10.04 ไมโครเมตร ซึ่งต่างกันถึงประมาณ 14 และ 20 เท่า ตามลำดับ ทำให้ดินขาวสามารถเข้าไปอุดช่องว่างระหว่างซิลิกากับซิลิกา หรือซิลิกากับแคลเซียมคาร์บอเนตบดได้ดี จากภาพถ่าย SEM ในภาพที่ 4.10 เห็นรูพรุนที่มีขนาดเล็กมาก ซึ่งต่างกับสัดส่วนอื่น ๆ ที่มีซิลิกา และแคลเซียมคาร์บอเนตบดที่มีความไม่สม่ำเสมอมีช่องว่างระหว่างอนุภาคทำให้มองเห็นกระดาษฐาน

4.3.2.4 ความทึบแสงของกระดาษเคลือบผิวอังก์เจ็ด

เมื่อนำกระดาษเคลือบผิวอังก์เจ็ดที่ผลิตได้มาวัดความทึบแสงด้วยเครื่องวัดสมบัติเชิงแสงของกระดาษ Technidyne color touch PC แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ถดถอยพหุแบบขั้นตอน เพื่อพิจารณาผลของชนิดสารสีต่อความทึบแสง โดยใช้ข้อมูลจากการทดลอง 16 สูตร พบว่าโมเดลแบบลิเนียร์ เพียงพอที่ใช้อธิบายข้อมูลชุดนี้ โดยให้ค่า R-sq เท่ากับ 51.84 และสามารถแสดงเทอร์สพลอต และคอนทัวร์พลอต ดังภาพที่ 4.32 และ 4.33



ภาพที่ 4.32 เทอร์สพลอตแสดงผลของสารสีแต่ละชนิดต่อความทึบแสงของกระดาษเคลือบผิวอังก์เจ็ด



ภาพที่ 4.33 คอนทัวร์พลอตแสดงความสัมพันธ์ของสารสีทั้ง 3 ชนิด กับความทึบแสงของกระดาษเคลือบผิวอังก์เจ็ด

รูป 4.32 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณดินขาวนิวซีแลนด์ (สารสีอีก 2 ชนิด ลดลง) มีผลให้ความทึบแสงสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่การเพิ่มปริมาณซิลิกาให้ความทึบแสงลดลง ส่วนแคลเซียมคาร์บอเนตบดมีผลต่อความทึบแสงเพียงเล็กน้อย ในภาพที่ 4.33 แสดงผลของสัดส่วนของสารสีที่ผสมกัน 3 ชนิด ต่อความทึบแสง เห็นว่าเมื่อสัดส่วนของดินขาวนิวซีแลนด์ที่ใช้ร่วมกับสารสีอื่นเพิ่มมากขึ้นมีแนวโน้มทำให้ความทึบแสงสูงขึ้น

จากการวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบขั้นตอน ค่าสัมประสิทธิ์ของส่วนผสมทั้ง 3 สีให้เห็นว่า ดินขาวนิวซีแลนด์ (94.02) มีผลต่อความทึบแสงสูงที่สุด รองลงมาคือแคลเซียมคาร์บอเนตบด (93.26) และซิลิกา (92.72) ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบขั้นตอนแสดงความสัมพันธ์ของสารสีต่อความทึบแสง

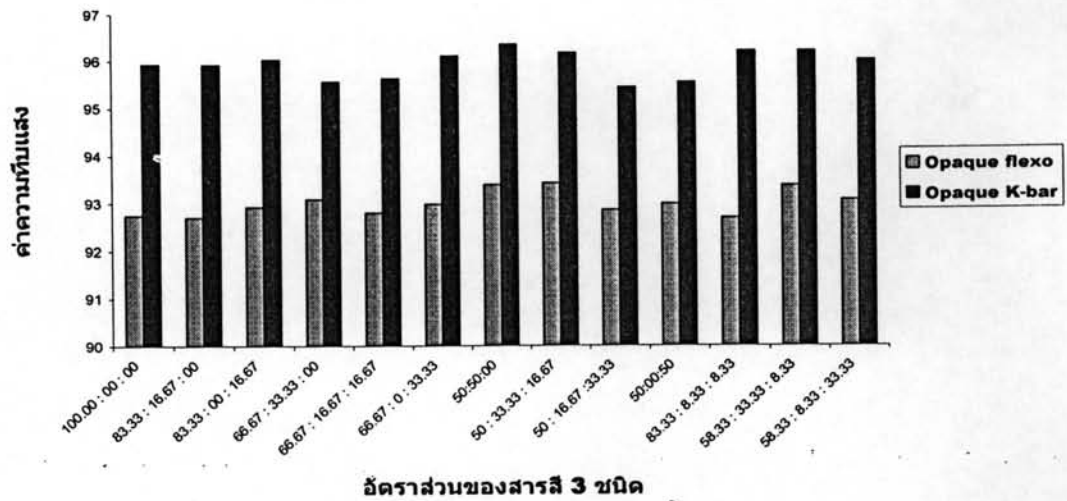
Term	Coef	SE Coef
Silica	92.72	0.116
Kaolin	94.02	0.298
CaCO ₃	93.26	0.298

S = 0.190 R-Sq = 51.84% R-Sq(pred) = 32.20% R-Sq(adj) = 43.09%

Analysis of Variance for Opaque (component proportions)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	2	0.429	0.429	0.215	5.92	0.018
Linear	2	0.429	0.429	0.215	5.92	0.018
Residual Error	11	0.399	0.399	0.036		
Lack-of-Fit	10	0.274	0.274	0.027	0.22	0.942
Pure Error	1	0.125	0.125	0.125		
Total*	13	0.828				

* Total คือผลรวม DF ของ Regression และ Residual Error



ภาพที่ 4.34 ค่าความทึบแสงของกระดาษเคลือบผิวอังก์เจ็ต

ภาพที่ 4.34 แสดงให้เห็นว่าความทึบแสงนอกจากจะขึ้นกับสารสีแล้วยังขึ้นกับความหนาของชั้นสารเคลือบด้วย เนื่องจากการเคลือบด้วยขดลวดเคบอาร์ ให้นำนักสารเคลือบที่สูงกว่าการเคลือบด้วยเครื่องปรูฟเพลกโซมากทำให้ความทึบแสงของการเคลือบด้วยขดลวดเคบอาร์ให้ค่าความทึบแสงที่สูงกว่า

การพิจารณาค่าความขาว ความขาวสว่าง ความทึบแสงพบว่าขึ้นกับสมบัติทางกายภาพของอนุภาคของสารสี คือความขาวและความขาวสว่างขึ้นกับสีของสารสีซึ่งเห็นชัดว่าดินขาวให้สีขาวอมเหลืองจึงทำให้เมื่อนำมาผลิตเป็นสารเคลือบได้ค่าความขาวและความขาวสว่างลดลง ในขณะที่ความทึบแสงขึ้นกับขนาดของอนุภาคเพราะอนุภาคขนาดเล็กให้ความทึบแสงสูงที่สุด

4.3.2.5 คุณภาพของเส้นและตัวอักษร

การวิเคราะห์คุณภาพของเส้น (line quality) ที่พิมพ์ลงบนกระดาษเคลือบผิวนั้นพิจารณาจากขนาดของเส้นที่เล็กที่สุดที่สามารถผลิตได้เมื่อใช้ QEA test target เป็นต้นฉบับ ซึ่งเส้นขนาด 1/8 พอยท์ โดยพิจารณาทั้งเส้นชนิดพอสทิฟและเนกาทีฟ ทั้งในแนวตั้งและแนวนอน ในตารางที่ 4.11 แสดงขนาดเส้นที่เล็กที่สุดที่สามารถพิมพ์บนกระดาษเคลือบผิวอังก์เจ็ตได้และยังคงมีความคมชัด

ตารางที่ 4.11 คุณภาพของเส้นที่เล็กที่สุดของกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้

สูตรที่	ซิลิกา:ดินขาว:แคลเซียมคาร์บอเนต สัดส่วนร้อยละโดยน้ำหนัก	คุณภาพของเส้นขนาดเล็กที่สุดที่ผลิตได้ (พอยท์)				
		C	M	Y	K	ชนิดของเส้น
1	100.00 : 00.00 : 00.00	1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวนอน
		1/4	1/4	1/2	1/4	เนกาทีฟแนวนอน
		1/4	1/4	1/2	1/4	เนกาทีฟแนวตั้ง
2	83.33 : 16.67 : 00.00	1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวนอน
		1/4	1/8	1/2	1/4	เนกาทีฟแนวนอน
		1/4	1/8	1/2	1/4	เนกาทีฟแนวตั้ง
3	83.33 : 00.00 : 16.67	1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวนอน
		1/4	1/4	1/2	1/4	เนกาทีฟแนวนอน
		1/4	1/4	1/2	1/4	เนกาทีฟแนวตั้ง
4	66.67 : 33.33 : 00.00	1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวนอน
		1/4	1/4	1/2	1/4	เนกาทีฟแนวนอน
		1/4	1/4	1/2	1/4	เนกาทีฟแนวตั้ง
5	66.67 : 16.67 : 16.67	1/8	1/8	1/8	1/8	พอลิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวนอน
		1/4	1/8	1/2	1/4	เนกาทีฟแนวนอน
		1/4	1/4	1/2	1/4	เนกาทีฟแนวตั้ง

สูตรที่	ชิลิกา:ดินขาว:แคลเซียมคาร์บอเนต สัดส่วนร้อยละโดยน้ำหนัก	คุณภาพของเส้นขนาดเล็กสุดที่ผลิตได้ (พอยท์)				
		C	M	Y	K	ชนิดของเส้น
6	66.67 : 00.00 : 33.33	1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวนอน
		1/4	1/4	1/2	1/4	เนกาทีฟแนวนอน
		1/4	1/4	1/2	1/4	เนกาทีฟแนวตั้ง
7	50.00 : 50.00 : 00.00	1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวนอน
		1/4	1/4	1/2	1/4	เนกาทีฟแนวนอน
		1/4	1/4	1/2	1/2	เนกาทีฟแนวตั้ง
8	50.00 : 33.33 : 16.67	1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวนอน
		1/4	1/4	1/2	1/4	เนกาทีฟแนวนอน
		1/4	1/4	1/2	1/4	เนกาทีฟแนวตั้ง
9	50.00 : 16.67 : 33.33	1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวนอน
		1/4	1/4	1/2	1/4	เนกาทีฟแนวนอน
		1/4	1/4	1/2	1/4	เนกาทีฟแนวตั้ง
10	50.00 : 00.00 : 50.00	1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวนอน
		1/4	1/4	1/2	1/2	เนกาทีฟแนวนอน
		1/4	1/4	1/2	1/2	เนกาทีฟแนวตั้ง

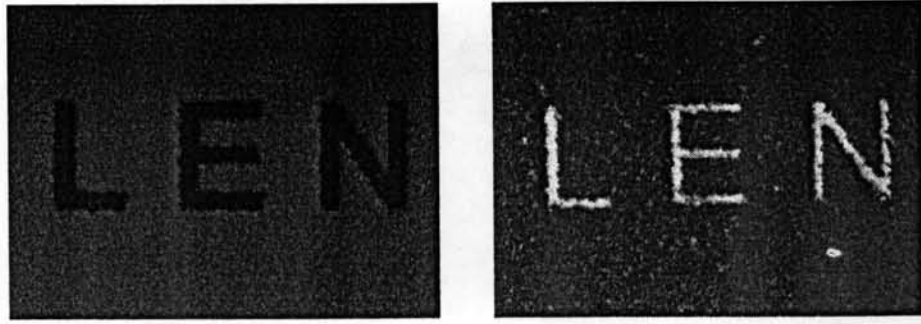
สูตรที่	ชิลิกา:ดินขาว:แคลเซียมคาร์บอเนต สัดส่วนร้อยละโดยน้ำหนัก	คุณภาพของเส้นขนาดเล็ที่สุดที่ผลิตได้ (พอยท์)				ชนิดของเส้น
		C	M	Y	K	
11	83.33 : 8.33 : 8.33	1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวนอน
		1/4	1/4	1/2	1/4	เนกาทีฟแนวนอน
		1/4	1/4	1/2	1/4	เนกาทีฟแนวตั้ง
12	58.33 : 33.33 : 8.33	1/8	1/8	1/8	1/8	พอลิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวนอน
		1/4	1/4	1/2	1/4	เนกาทีฟแนวนอน
		1/4	1/4	1/2	1/4	เนกาทีฟแนวตั้ง
13	58.33 : 8.33 : 33.33	1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวนอน
		1/4	1/8	1/2	1/2	เนกาทีฟแนวนอน
		1/4	1/4	1/4	1/4	เนกาทีฟแนวตั้ง
14	83.33 : 8.33 : 8.33	1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/8	1/8	พอลิทีฟแนวนอน
		1/4	1/4	1/2	1/4	เนกาทีฟแนวนอน
		1/4	1/8	1/2	1/4	เนกาทีฟแนวตั้ง
15	58.33 : 33.33 : 8.33	1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวนอน
		1/4	1/4	1/2	1/4	เนกาทีฟแนวนอน
		1/4	1/4	1/2	1/4	เนกาทีฟแนวตั้ง
16	58.33 : 8.33 : 33.33	1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวตั้ง
		1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวนอน
		1/4	1/4	1/4	1/4	เนกาทีฟแนวนอน
		1/4	1/4	1/4	1/4	เนกาทีฟแนวตั้ง

ตารางที่ 4.12 คุณภาพของเส้นที่เล็กที่สุดของกระดาษไม่เคลือบผิว และกระดาษเคลือบผิวอิงก์ เจ็ดทางการค้ายี่ห้อ SG

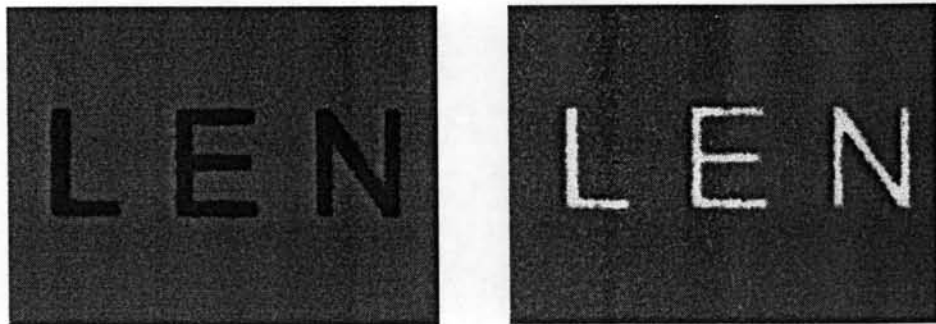
ชนิดของกระดาษ	คุณภาพของเส้นขนาดเล็กสุดที่ผลิตได้ (พอยท์)				ชนิดของเส้น
	C	M	Y	K	
กระดาษไม่เคลือบผิว	1/8	1/8	1/2	1/8	พอลิทีฟแนวตั้ง
	1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวนอน
	1/2	1/4	1/2	1/2	เนกาทีฟแนวนอน
	1/2	1/2	1/2	1/2	เนกาทีฟแนวตั้ง
กระดาษทางการค้า (ยี่ห้อ SG)	1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวตั้ง
	1/8	1/8	1/4	1/8	พอลิทีฟแนวนอน
	1/4	1/4	1/2	1/2	เนกาทีฟแนวนอน
	1/4	1/4	1/2	1/2	เนกาทีฟแนวตั้ง

คุณภาพของการผลิตเส้นบนกระดาษเคลือบผิวที่ผลิตได้ในทุกสูตรให้ผลที่ใกล้เคียงกัน เมื่อเทียบกับกระดาษที่ไม่ได้เคลือบผิวเลย (ตารางที่ 4.12) เห็นได้ชัดว่ากระดาษเคลือบผิวให้คุณภาพของเส้นที่ดีกว่า

การวิเคราะห์ตัวอักษรในที่นี้พิจารณาตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ซึ่งเป็นขนาดเล็กที่สุดในแบบ QEA Test โดยดูความคมชัดของตัวอักษรแบบเนกาทีฟที่มีลักษณะไม่ตัน และแบบพอลิทีฟไม่บวมออก โดยถ่ายด้วยเครื่องถ่ายภาพ Olympus รุ่น SZH10 จากประเทศญี่ปุ่น ที่กำลังขยาย 2 เท่า ดังภาพที่ 4.37 - 4.52 ส่วนภาพที่ 4.35 - 4.36 เป็นภาพของตัวอักษรแบบเดียวกันที่พิมพ์บนกระดาษไม่เคลือบผิว และบนกระดาษเคลือบผิวทางการค้ายี่ห้อ SG ตามลำดับ ซึ่งนำมาแสดงเพื่อเปรียบเทียบความคมชัดของตัวอักษร และเมื่อเปรียบเทียบผลของคุณภาพเส้นที่ผลิตได้ เมื่อใช้ซิลิการ้อยละ 100 (สูตรที่ 1) กับเมื่อใช้ ซิลิกาประมาณร้อยละ 83 ผสมกับดินขาวประมาณร้อยละ 16 ให้ผลใกล้เคียงกันมาก สอดคล้องกับงานของ Malla และ Devisetti [22]

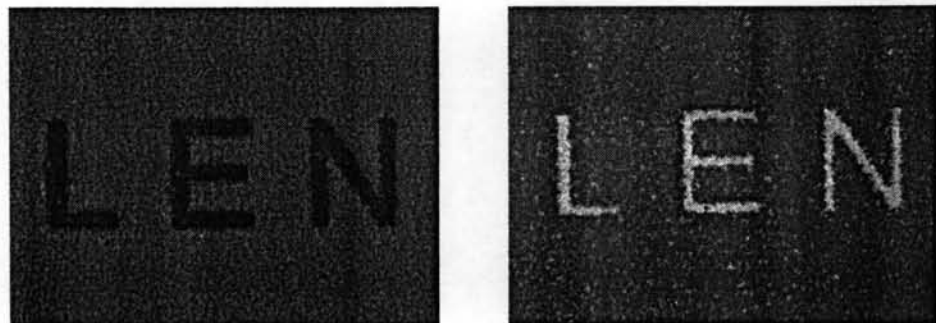


ภาพที่ 4.35 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษฐานน้ำหนัก 80 แกรม

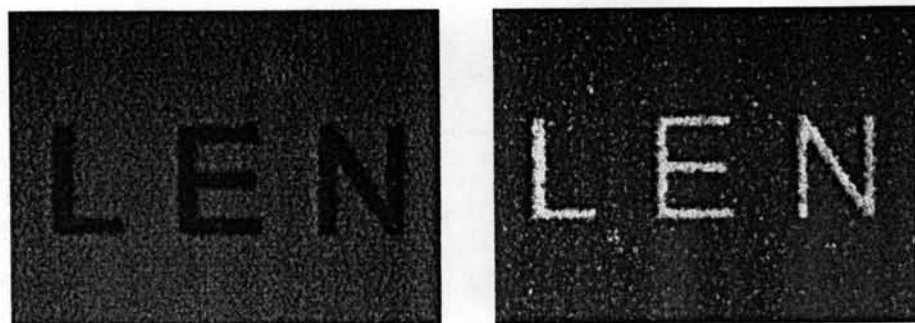


ภาพที่ 4.36 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษเคลือบผิวทางการค้ายี่ห้อ SG

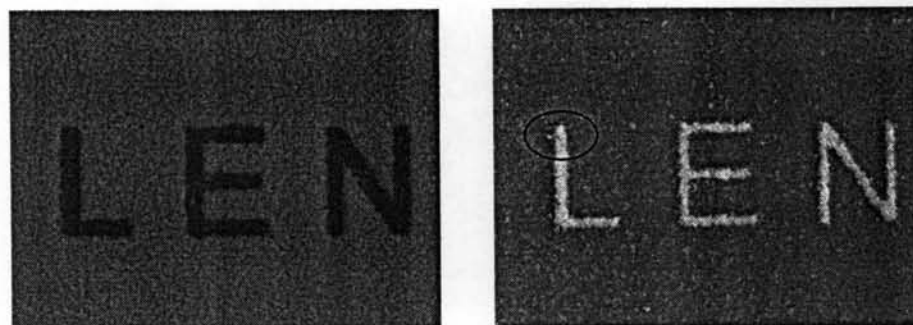
เมื่อพิจารณาจากภาพพบว่าตัวอักษรที่ดูคมชัด ตัวไม่ตันหรือบวมคือตัวอักษรที่พิมพ์บนกระดาษเคลือบผิวสูตรที่ 11 (ภาพที่ 4.47) และเมื่อทำการทดลองซ้ำ โดยใช้สูตรเดิม แต่ผสมใหม่เป็นลำดับการทดลองที่ 14 (ตั้งชื่อว่าสูตรที่ 14) (ภาพที่ 4.50) ก็ให้ผลที่ดีเช่นเดิม นอกจากนี้สูตรที่ 2 (ภาพที่ 4.38) ก็ให้ตัวอักษรที่คมชัดเช่นเดียวกัน



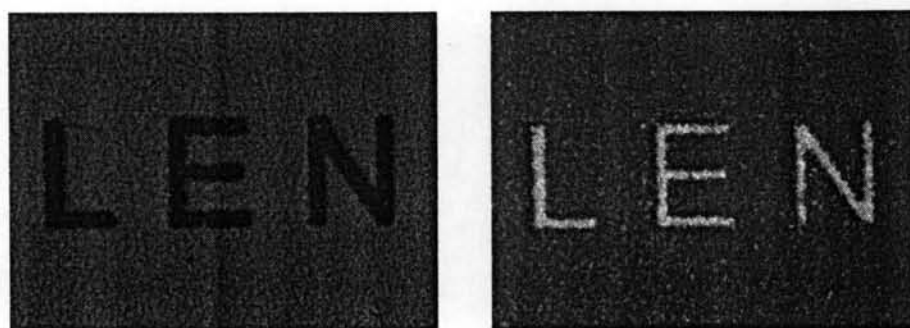
ภาพที่ 4.37 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 100.00 : 00.00 : 00.00 สูตรที่ 1



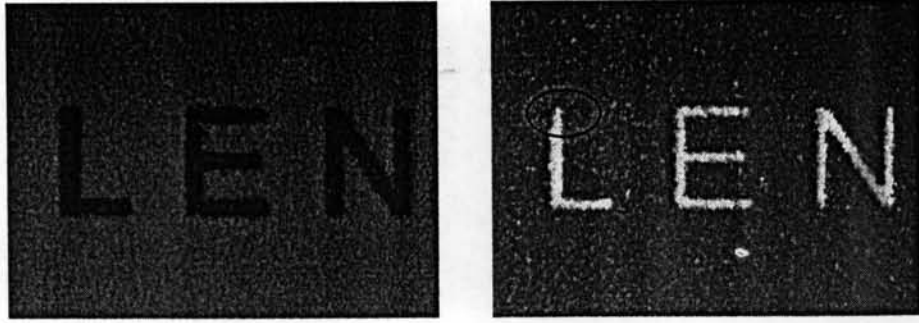
ภาพที่ 4.38 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อ
แคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 83.33 : 16.67 : 00.00 สูตรที่ 2



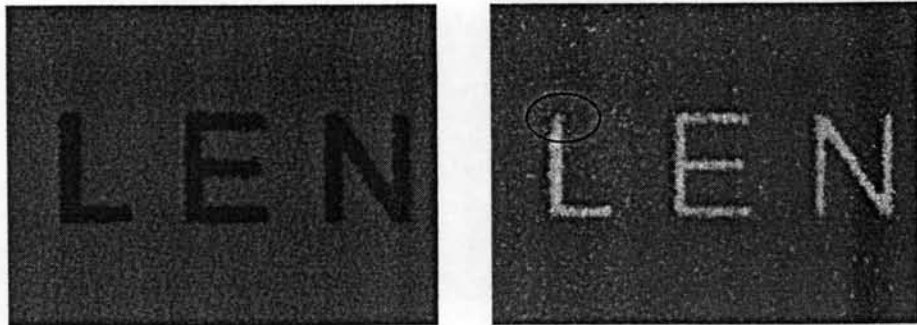
ภาพที่ 4.39 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อ
แคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 83.33 : 00.00 : 16.67 สูตรที่ 3



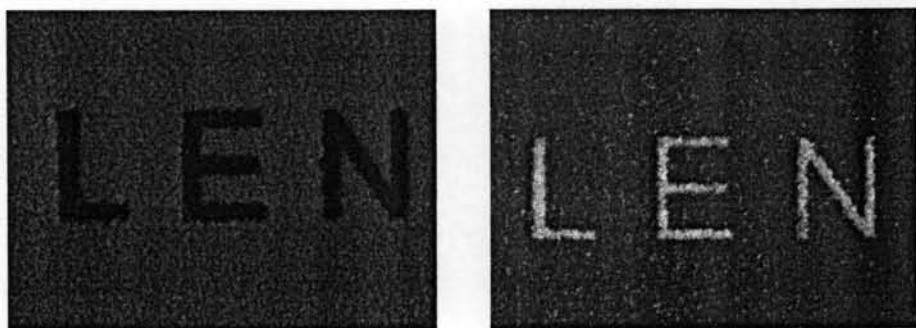
ภาพที่ 4.40 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อ
แคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 66.67 : 33.33 : 00.00 สูตรที่ 4



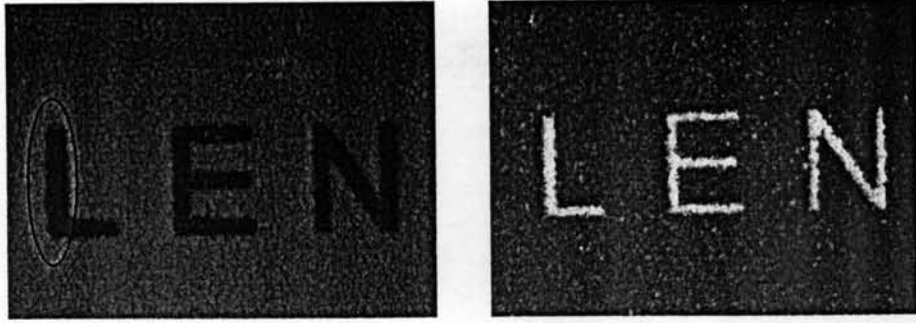
ภาพที่ 4.41 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อ
แคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 66.67 : 16.67 : 16.67 สูตรที่ 5



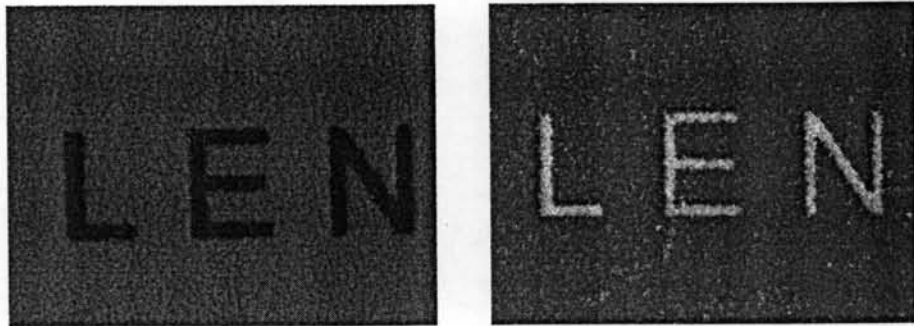
ภาพที่ 4.42 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อ
แคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 66.67 : 00.00 : 33.33 สูตรที่ 6



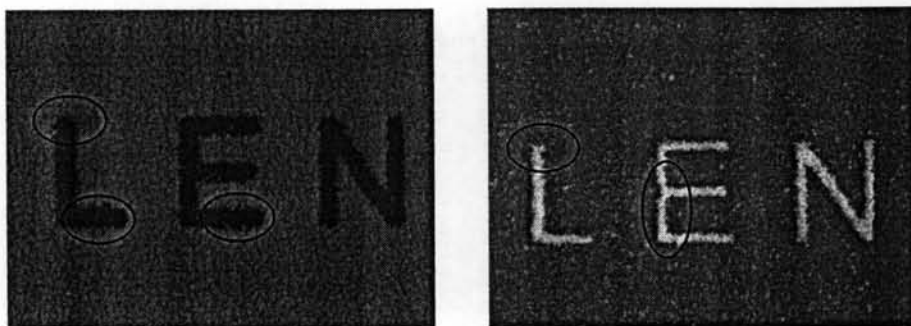
ภาพที่ 4.43 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อ
แคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 50.00 : 50.00 : 00.00 สูตรที่ 7



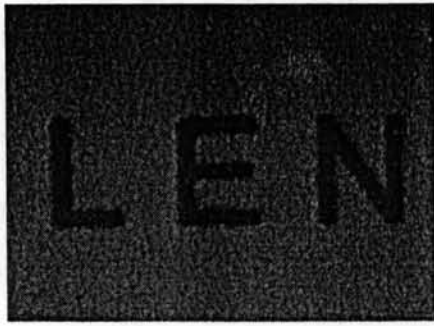
ภาพที่ 4.44 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อ
แคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 50.00 : 33.33 : 16.67 สูตรที่ 8



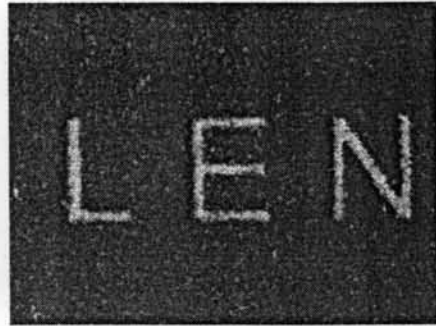
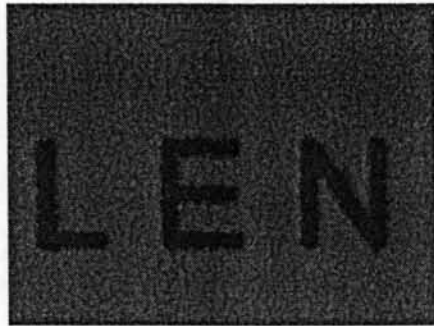
ภาพที่ 4.45 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อ
แคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 50.00 : 16.67 : 33.33 สูตรที่ 9



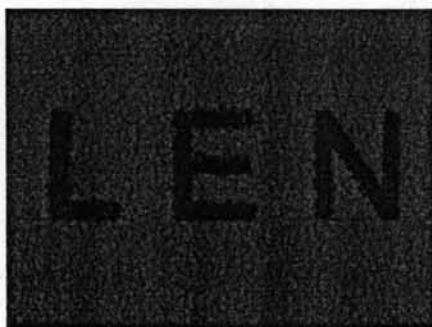
ภาพที่ 4.46 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อ
แคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 50.00 : 00.00 : 50.00 สูตรที่ 10



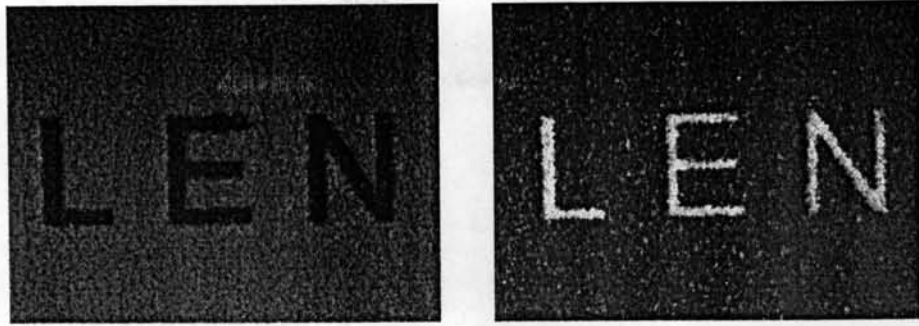
ภาพที่ 4.47 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อ
แคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 83.33 : 8.33 : 8.33 สูตรที่ 11



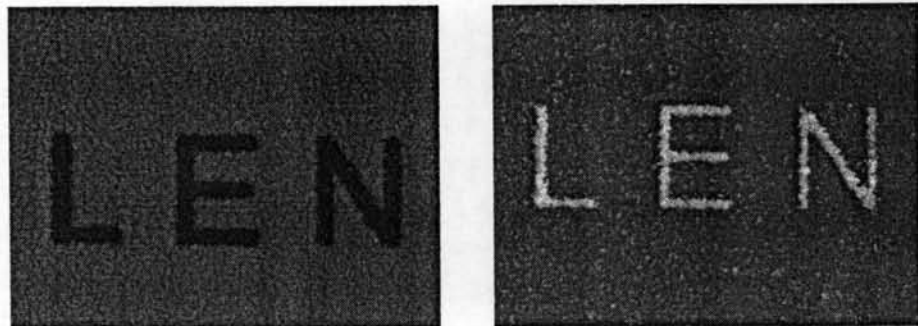
ภาพที่ 4.48 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อ
แคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 58.33 : 33.33 : 8.33 สูตรที่ 12



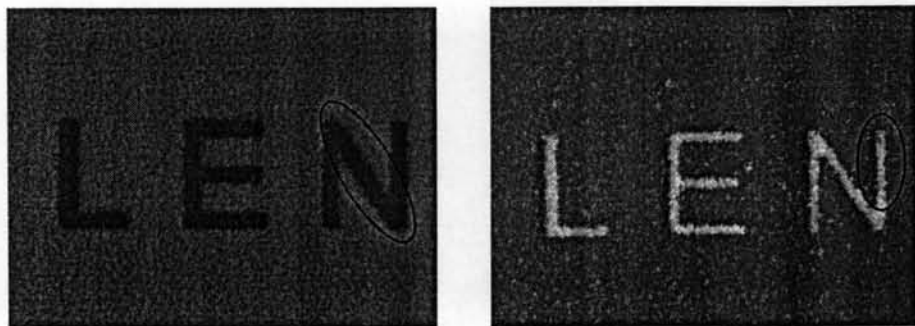
ภาพที่ 4.49 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อ
แคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 58.33 : 8.33 : 33.33 สูตรที่ 13



ภาพที่ 4.50 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อ
แคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ $83.33 : 8.33 : 8.33$ สูตรที่ 14



ภาพที่ 4.51 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อ
แคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ $58.33 : 33.33 : 8.33$ สูตรที่ 15

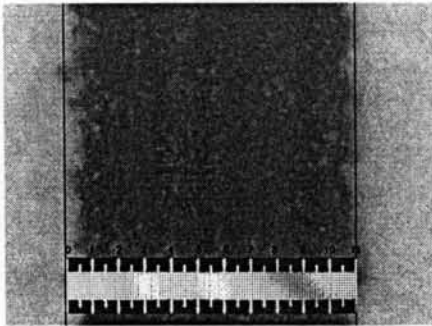


ภาพที่ 4.52 ตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ บนกระดาษที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อ
แคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ $58.33 : 8.33 : 33.33$ สูตรที่ 16

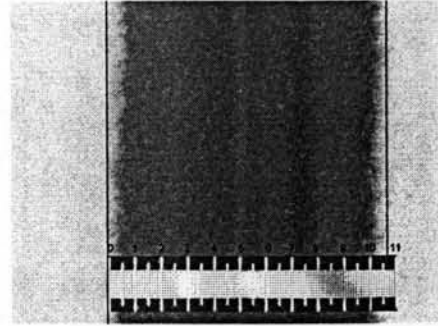
หมายเหตุ ภายในวงกลมแสดงตัวอักษรแบบเนกาทีฟที่มีลักษณะเด่น และแบบพอสิตีฟที่พวมออก

4.3.2.6 ร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์สีดำในหมึกพิมพ์สีเหลือง

โดยทั่วไปการพิจารณาการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์นิยมทำในบริเวณสีดำและสีเหลืองเพราะเห็นได้ชัดเจน เนื่องจากมีความเปรียบต่างของสีสูง ในงานวิจัยนี้พิจารณาบริเวณการซึมของเส้นสีดำเข้าไปในพื้นที่สีเหลืองโดยใช้เครื่องถ่ายภาพของ Olympus รุ่น SZH10 จากประเทศญี่ปุ่น ที่กำลังขยาย 7 เท่า ตำแหน่งสีดำในภาพที่อยู่ตรงกลางของสีเหลืองเป็นบริเวณที่ใช้พิจารณาการซึมเข้าไปในสีเหลือง ในแผ่นมาตรฐาน QEA มีขนาดแถบสีดำกว้าง 1 มิลลิเมตร แต่พบว่าเมื่อพิมพ์แล้วขนาดแถบสีดำมีขนาดใหญ่กว่า 1 มิลลิเมตร ร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกคำนวณได้จากสมการที่ 2.4 ผลการคำนวณแสดงในตารางที่ 4.3 ถ้าให้ค่าตัวเลขสูงหมายความว่าหมึกซึมออกด้านข้างได้มากมีผลทำให้ภาพไม่คมชัด สเกลวัดขนาด 1 มิลลิเมตร ที่มีความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร ไปบนเส้นสีดำ ในภาพที่ 4.53-4.54 แสดงการซึมออกด้านข้างของหมึกสีดำนบนกระดาษไม่เคลือบผิว และกระดาษเคลือบผิวทางการค้าตามลำดับ พบว่าเส้นสีดำบนกระดาษเคลือบผิวมีขนาดใกล้เคียงต้นฉบับ และมีความคมชัดกว่าเส้นสีดำบนกระดาษไม่เคลือบผิว ส่วนภาพการซึมของหมึกสีดำนบนกระดาษเคลือบที่เคลือบด้วยสูตรที่ 1 - 16 แสดงในภาคผนวก ค

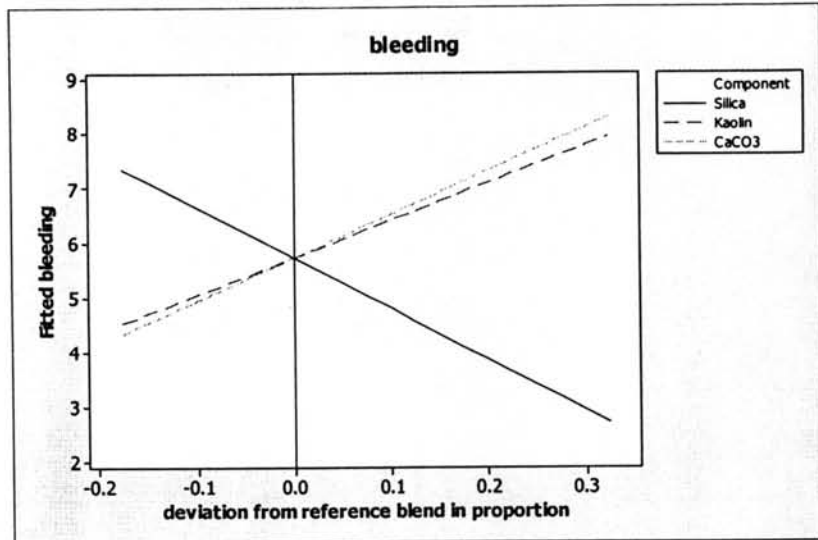


ภาพที่ 4.53 ความกว้างของเส้นสีดำบนพื้นสีเหลือง ของกระดาษไม่เคลือบผิว

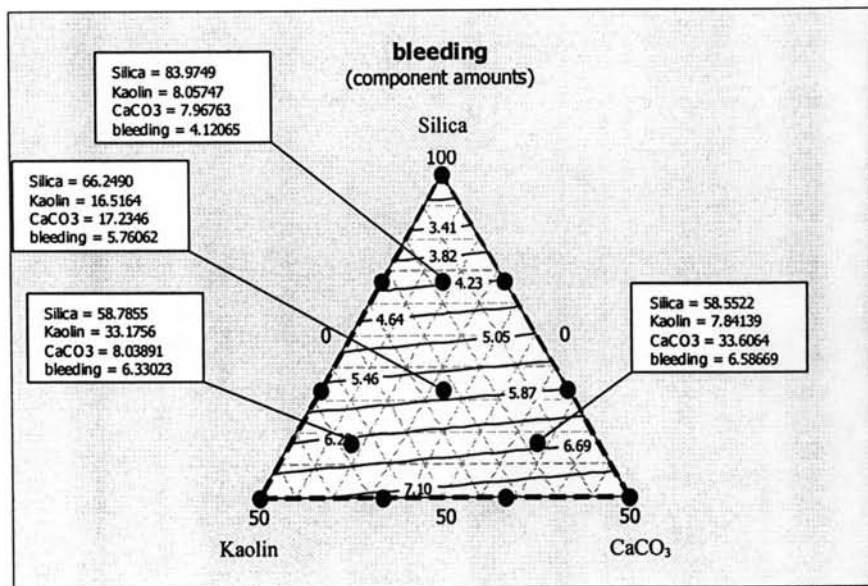


ภาพที่ 4.54 ความกว้างของเส้นสีดำบนพื้นสีเหลือง ของกระดาษเคลือบผิวทางการค้า (ยี่ห้อSG)

เมื่อใช้การวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบขั้นตอน เพื่อพิจารณาผลของชนิดสารสีต่อร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์ พบว่าโมเดลแบบลิเนียร์ สามารถอธิบายข้อมูลชุดนี้ได้เพียงพอ และมีค่า $R-sq$ อยู่ที่ 49.22 สามารถแสดงเทรสปลอด และคอนทัวร์พลอต ดังภาพที่ 4.55 และ 4.56



ภาพที่ 4.55 เทรสพลอตแสดงผลของสารสีแต่ละชนิดต่อร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์บนกระดาษเคลือบผิวอังกะเจ็ด



ภาพที่ 4.56 คอนทัวร์พลอตแสดงความสัมพันธ์ของสารสีทั้ง 3 ชนิด กับร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์บนกระดาษเคลือบผิวอังกะเจ็ด

ภาพที่ 4.55 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณดินขาวนิวซีแลนด์จากจุดอ้างอิง (สารสีอีก 2 ชนิดลดลง) ที่สัดส่วน 66.67:16.67:16.67 มีผลให้ร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันกับการเพิ่มแคลเซียมคาร์บอเนต ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณซิลิกามากขึ้นจากจุดอ้างอิง มีผลให้ร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์ลดลง จากภาพที่ 4.56 เห็นว่าเมื่อสัดส่วนของซิลิกาเพิ่มมากขึ้นมีผลให้ร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์ต่ำลง ในขณะที่เมื่อ

เพิ่มสัดส่วนของดินขาวนิวซีแลนด์และแคลเซียมคาร์บอเนตบดเพิ่มมากขึ้นทำให้ร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์สูงขึ้น พบว่าการที่สารเคลือบมีสารสีที่มีปริมาตรรูพรุนสูงในปริมาณมากอย่างซิลิกาทำให้ร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์ต่ำลง ซึ่งมีผลทำให้ภาพมีความคมชัดสูง

จากการวิเคราะห์ถดถอยแบบขั้นตอน ค่าสัมประสิทธิ์ของส่วนผสมทั้ง 3 ซึ่งให้เห็นว่าแคลเซียมคาร์บอเนตบด (12.334) มีผลต่อร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์สูงที่สุด รองลงมาคือดินขาวนิวซีแลนด์ (11.411) และซิลิกา (2.642) มีผลต่อร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์น้อยที่สุด นั่นคือให้ภาพคมชัดที่สุด ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบขั้นตอนแสดงความสัมพันธ์ของสารสีต่อร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์

Term	Coef	SE Coef
Silica	2.642	0.954
Kaolin	11.411	2.335
CaCO ₃	12.334	2.335

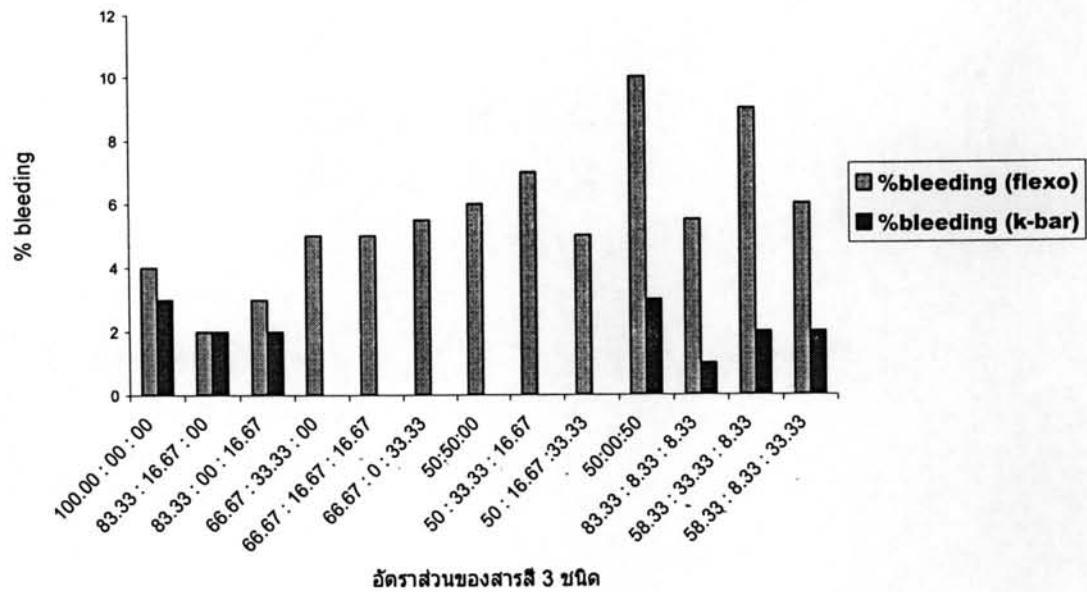
S = 1.569 R-Sq = 49.22% R-Sq(pred) = 14.85% R-Sq(adj) = 41.41%

Analysis of Variance for bleeding (component proportions)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	2	31.000	31.000	15.500	6.30	0.012
Linear	2	31.000	31.000	15.500	6.30	0.012
Residual Error	13	31.000	31.984	2.460		
Lack-of-Fit	10	27.984	27.984	2.798	2.10	0.294
Pure Error	3	4.000	4.000	1.333		
Total*	15	62.984				

* Total คือผลรวม DF ของ Regression และ Residual Error

เมื่อเปรียบเทียบร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์บนกระดาษเคลือบผิวที่มีความหนาของชั้นเคลือบผิวบาง (เคลือบด้วยเครื่องพิมพ์เฟล็กโซ) และที่มีความหนาของชั้นเคลือบหนา (เคลือบด้วย เคบาร์) พบว่าร้อยละการซึมหมึกออกด้านข้าง ลดลงอย่างชัดเจน เมื่อสารเคลือบผิวหนาขึ้น ดังแสดงเปรียบเทียบด้วยกราฟแท่งในภาพที่ 4.57



ภาพที่ 4.57 ร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์

4.3.3 การวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์

การวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์ทั้งหมดได้แก่ ค่าความดำของหมึกพิมพ์สีดำ คุณภาพของเส้นและตัวอักษร ร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึก

จากแนวโน้มของสารสีแต่ละชนิดในกราฟเทอร์สพลอตในภาพที่ 4.29 และ 4.55 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณซิลิกามากขึ้นจากจุดอ้างอิงให้ค่าความดำเพิ่มขึ้น และให้ร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์ต่ำลง แต่ถ้าเพิ่มขึ้นจนไม่มีสารสีอีก 2 ชนิดเลยก็ทำให้ค่าความดำลดลง ในขณะที่การเพิ่มดินขาวนิวซีแลนด์มากขึ้นให้ค่าความดำเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับซิลิกา ให้ค่าร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์สูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มแคลเซียมคาร์บอเนตบดเข้าไปทำให้ค่าความดำต่ำลง ร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์สูงขึ้น อาจวิเคราะห์ได้จากการที่อนุภาคของซิลิกามีรูปร่างกลม พื้นผิว และปริมาตรรูพรุนสูงในขณะที่ดินขาวนิวซีแลนด์มีรูปร่างเป็นแท่ง ทรงกระบอกขนาดอนุภาคเล็กมาก ต่ำกว่าซิลิกาถึง 10 เท่า และแคลเซียมคาร์บอเนตมีรูปร่างเป็นผลึกเหลี่ยม ขนาดอนุภาคใหญ่กว่าซิลิกา แต่มีปริมาตรรูพรุนต่ำกว่าซิลิกามากถึงกว่า 100 เท่า จากสมบัติของสารสีดังกล่าวเมื่อนำมาผลิตเป็นน้ำยาเคลือบผิวกระดาษอิงค์เจ็ตที่สัดส่วนต่าง ๆ แล้ว กระดาษอิงค์เจ็ตที่ผลิตได้จะให้ค่าความดำของหมึกพิมพ์ที่มีแนวโน้มต่ำลงเมื่อเพิ่มปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตบด เพราะขนาดอนุภาคที่ใหญ่ของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตและมีลักษณะเป็นผลึกเหลี่ยม เมื่อนำมาผสมกับซิลิกาแล้วนำมาเคลือบผิวพบว่าไม่สามารถอุดรูพรุนของ

กระดาษได้หมดประกอบกับการเคลือบด้วยเครื่องปรูฟเพลกโซซึ่งให้น้ำหนักสารเคลือบต่ำ จากภาพถ่าย SEM ของผิวหน้ากระดาษ ทำให้เห็นว่าบางบริเวณมีรูพรุนขนาดใหญ่เล็กแตกต่างกันมาก เมื่อวัดค่าความต้านทานของกระดาษเคลือบผิวอังก์เจ็ดแล้วให้ค่าความต้านทานที่ต่ำลง เนื่องจากหมึกไม่สามารถค้างอยู่บนผิวหน้าของสารเคลือบได้ และเกิดการซึมออกทางด้านข้างสูงเนื่องจากอนุภาคไม่มีรูพรุนจึงเกิดการแผ่ไปด้านข้างสูง ในขณะที่ถ้าเติมดินขาวนิวซีแลนด์เพิ่มเข้าไปมากขึ้น ด้วยรูปร่าง และขนาดทำให้ดินขาวนิวซีแลนด์สามารถไปอุดช่องว่างระหว่างสารสีซิลิกาและแคลเซียมคาร์บอเนตได้ ทำให้สามารถอุดช่องว่างระหว่างซิลิกา หรือระหว่างซิลิกากับแคลเซียมคาร์บอเนตบด และรูพรุนของกระดาษได้หมด ทำให้เมื่อวัดค่าความต้านทานแล้วมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากสารสีของหมึกพิมพ์ติดค้างอยู่บนอนุภาคของซิลิกากับดินขาวนิวซีแลนด์ หรือซิลิกากับแคลเซียมคาร์บอเนตบด เนื่องจากปริมาณรูพรุนลดลง แต่ในขณะเดียวกันก็ให้ค่าร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์สูงขึ้นเพราะหมึกพิมพ์เกิดการแผ่ออกด้านข้างมากขึ้นเมื่อหมึกก้องอยู่บนอนุภาคแล้วไม่สามารถซึมลงได้ สภาพซึมได้ของหมึกก็ลดลง ดังนั้นกระดาษเคลือบผิวอังก์เจ็ดที่ดีควรมีสัดส่วนระหว่างซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบดที่เหมาะสมเพื่อให้ได้คุณภาพงานพิมพ์ที่ดี และเนื่องจากน้ำยาสารเคลือบที่ผลิตได้ใช้ปริมาณ ซิลิกา 50 – 100 ส่วน ดินขาวนิวซีแลนด์ 0- 50 ส่วน และแคลเซียมคาร์บอเนตบด 0- 50 เช่นกัน ดังนั้นความคมชัดของเส้นและตัวอักษรในแต่ละสูตรสารเคลือบจึงไม่แตกต่างกันมาก เพราะมีปริมาณซิลิกาในสารเคลือบที่สูงกว่าดินขาวนิวซีแลนด์ และแคลเซียมคาร์บอเนตบดทุกสูตรสารเคลือบ จึงทำให้สามารถดูซึมหมึกไว้ไม่ให้แผ่ออกทางด้านข้างได้ ภาพที่ออกมาจึงแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

4.3.4 ผลการออกแบบส่วนผสมเชิงสถิติ (Mixture design)

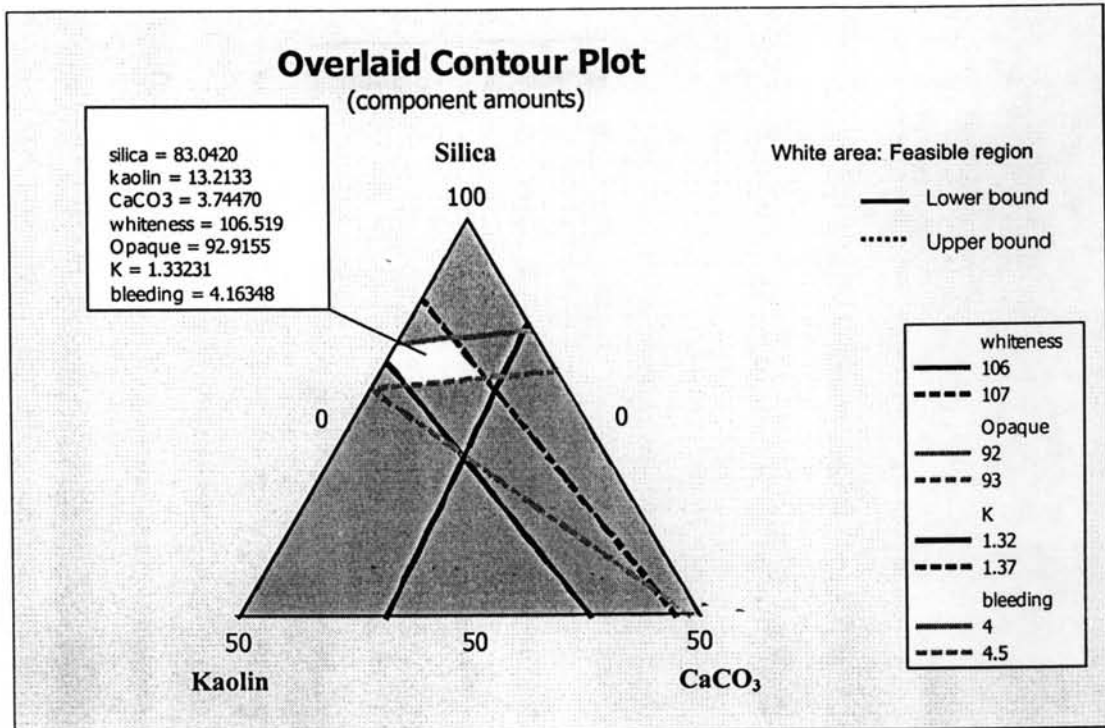
จากการออกแบบส่วนผสมเชิงสถิติแบบซิมเพลกแลททิส 3 องค์ประกอบ 3 ระดับ ได้สัดส่วนสารเคลือบทั้งหมด 13 สูตร รวมสูตรทำซ้ำสูตรที่ 11-13 รวมเข้าไปในการทดลองด้วย เพื่อรวมความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการทดลองเข้าไปในแบบจำลอง ทำให้ได้สารเคลือบทั้งหมด 16 สูตร ที่มีสัดส่วนระหว่างสารสีต่อสารยึดต่อสารยึดร่วม 100:30:2 ที่ร้อยละของแข็งเท่ากับ 22 แล้วนำมาตรวจสอบผลของสมบัติทางกายภาพและคุณภาพงานพิมพ์ ได้ผลดังตารางที่ 4.3 เมื่อนำผลที่ได้จากตารางที่ 4.3 มาวิเคราะห์หาสัดส่วนของสารสีที่เหมาะสม โดยในที่นี้พิจารณาค่าความต้านทานของสี ค่าความทึบแสง ความขาว และร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกสาเหตุที่เลือกเฉพาะ 4 ตัวแปรนี้ เนื่องจากพิจารณาคุณภาพงานพิมพ์เป็นหลัก โดยตั้งข้อสันนิษฐานว่าหากสมบัติของกระดาษเคลือบเหมาะสมแล้วจะทำให้คุณภาพงานพิมพ์ดีด้วย ซึ่งคุณภาพงานพิมพ์ที่ดีต้องให้สีสด นั่นคือมีค่าความต้านทานของหมึกพิมพ์สูง ซึ่งกระดาษต้องมีความขาวสูงจึงส่งผลให้ค่าความต้านทานสูงและสีสด จึงต้องกำหนดค่าความขาวด้วย ในที่นี้ได้เลือกค่าความต้านทาน

ของสีดำมาพิจารณาเท่านั้น เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ กับสีไซแอน และสีมาเจนตาสูง คือ 0.903 และ 0.735 ตามลำดับ นอกจากค่าความดำแล้ว การซีมออกทางด้านข้างเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความคมชัดของงานพิมพ์ จึงได้เลือกมาเพื่อกำหนดสูตรที่เหมาะสมด้วยอีกตัวแปรหนึ่ง ส่วนตัวแปรสุดท้ายที่เลือกเข้ามาเพื่อกำหนดสูตรที่เหมาะสมด้วยคือความทึบแสง เพราะมีผลต่อคุณภาพงานพิมพ์ หากกระดาษมีความทึบแสงสูง หมึกพิมพ์บนกระดาษด้านหนึ่งจะไม่สามารถมองเห็นได้ชัดในด้านตรงข้ามทำให้สีหมึกพิมพ์ไม่รบกวนกันและกัน อีกทั้งไม่รบกวนการอ่านอีกด้วย จากกราฟคอนทัวร์พลอตที่ซ้อนทับกันในภาพที่ 4.59 ทำให้สามารถทราบว่าจะหากำหนดค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของสมบัติต่าง ๆ ดังกล่าว ดังแสดงในภาพที่ 4.58 แล้วสามารถทราบถึงช่วงของสัดส่วนสารสีที่เหมาะสมในสารเคลือบ

Overlaid Contour Plot - Contours		
	Low	High
C13 whiteness	106	107
C14 Opaque	92	93
C18 K	1.32	1.37
C19 bleeding	4	4.5

ภาพที่ 4.58 การเลือกสมบัติของกระดาษเคลือบผิวอิงก์เจ็ตในช่วงที่ยอมรับได้

จากภาพที่ 4.58 เมื่อใส่ค่าช่วงที่ต้องการลงในโปรแกรมมินิแทบ โปรแกรมออกแบบสัดส่วนที่เหมาะสมโดยแสดงในรูปของ Overlaid Contour Plot ดังภาพที่ 4.59



ภาพที่ 4.59 กราฟไตรลิเนียร์ที่แสดงสมบัติต่าง ๆ ของสารเคลือบที่ให้สมบัติที่กำหนดได้เหมาะสมที่สุด

4.3.5 การทดสอบแบบจำลอง

จากการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ของสารสีกับสมบัติของกระดาษ และคุณภาพงานพิมพ์ที่ได้ในตอนที่ 4.3.2 โดยเลือกสูตรที่เหมาะสมมา 1 สูตรจากตอนที่ 4.3.4 มาทำการผสมสารเคลือบ แล้ววัดสมบัติต่าง ๆ พบว่าค่าที่ได้จากการคำนวณไม่แตกต่างจากการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.14

สัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับการทดลองนี้คือ ซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบดเท่ากับ 0.83 : 0.13 : 0.04 นำมาแทนลงในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถอธิบายข้อมูลได้เพียงพอดังนี้

ความสัมพันธ์ระหว่างความดำของหมึกพิมพ์สีดำกับสัดส่วนระหว่างซิลิกา ดินขาวนิวซีแลนด์ และแคลเซียมคาร์บอเนตบดเมื่อนำมาเขียนเป็นสมการ จะได้แบบจำลองการวิเคราะห์ ดังสมการ

$$\text{ความดำของสีดำ} = 1.34 \cdot \text{Silica} + 1.35 \cdot \text{Kaolin} + 1.22 \cdot \text{CaCO}_3$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความขาวกับสัดส่วนระหว่างซิลิกา ดินขาวนิวซีแลนด์และแคลเซียมคาร์บอเนต

$$\text{ความขาว} = 108.29 \cdot \text{Silica} + 95.46 \cdot \text{Kaolin} + 106.27 \cdot \text{CaCO}_3$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความทึบแสงกับสัดส่วนระหว่างซิลิกา ดินขาวนิวซีแลนด์และแคลเซียมคาร์บอเนต

$$\text{ความทึบแสง} = 92.72 \cdot \text{Silica} + 94.02 \cdot \text{Kaolin} + 93.26 \cdot \text{CaCO}_3$$

ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์กับสัดส่วนระหว่างซิลิกา ดินขาวนิวซีแลนด์และแคลเซียมคาร์บอเนต

$$\text{ร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์} = 2.642 \cdot \text{Silica} + 11.411 \cdot \text{Kaolin} + 12.334 \cdot \text{CaCO}_3$$

ตารางที่ 4.14 ผลที่ได้จากการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เมื่อเคลือบผิวด้วยเครื่องปรูฟเพลกซ์ที่มีน้ำหนักสารเคลือบ 8 กรัมต่อตารางเมตร สัดส่วนของซิลิกาต่อดินขาวนิวซีแลนด์ต่อแคลเซียมคาร์บอเนตบด เท่ากับ 83.00 : 13.00 : 4.00 เปรียบเทียบกับผลการคำนวณโดยใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์

สมบัติของกระดาษเคลือบ	จากการคำนวณ	จากการทดลอง
ความขาว	107	108
ความทึบแสง	93	93
ความดำของสีดำ	1.33	1.38
ร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์ (%)	4	4.5