บทที่ 4 ผลการทดลอง

ในการทดลอง การปรับปรุงผิวหน้ากระดาษหนังสือพิมพ์ด้วยสารเคลือบแคลเซียมคาร์บอเนต และซิลิกาเพื่อคุณภาพงานพิมพ์ปรู๊ฟด้วยระบบพ่นหมึก สามารถจำแนกประเภทการทดสอบได้ดังต่อไปนี้

4.1 คุณสมบัติของซิลิกา และแคลเซียมคาร์บอเนต

4.2 อัตราส่วนต่างๆ ของสารเคลือบ

4.3 การตรวจสอบสารเคลือบ

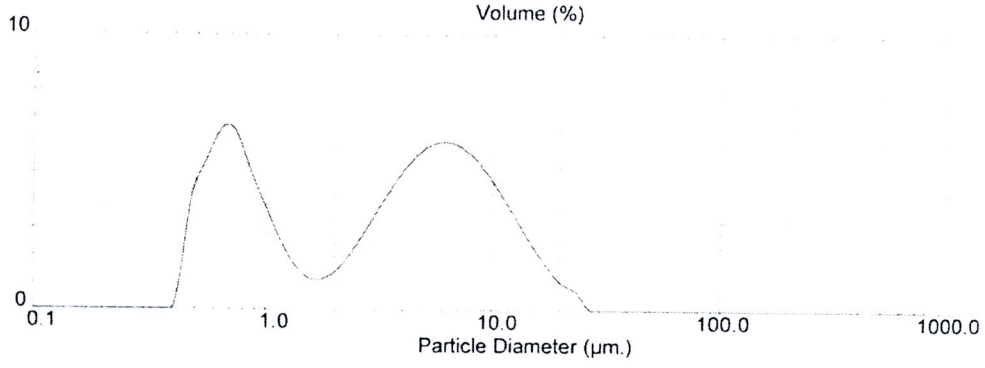
4.4 สมบัติของกระดาษปรู๊ฟที่เคลือบสาร

4.5 คุณภาพงานพิมพ์บนกระดาษปรู๊ฟเคลือบสารในอัตราส่วนต่างๆ

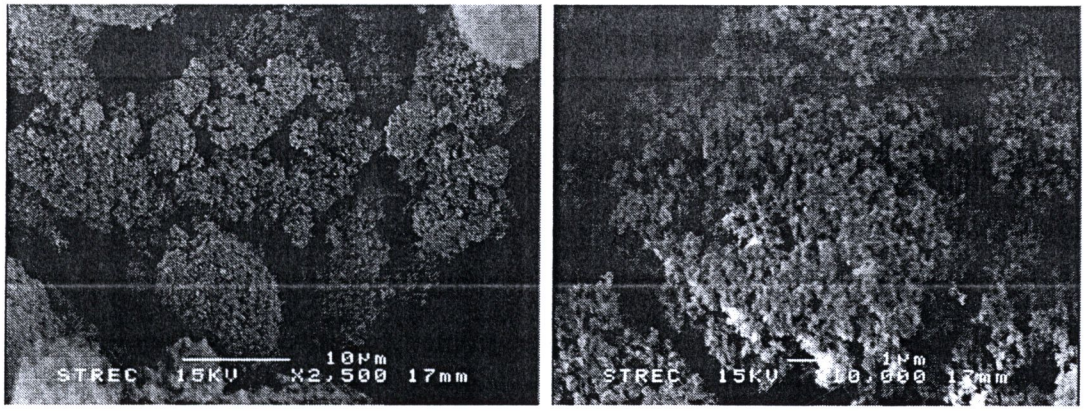
4.6 เปรียบเทียบคุณสมบัติงานพิมพ์

4.1 คุณสมบัติของซิลิกาและแคลเซียมคาร์บอเนต

4.1.1 สมบัติของซิลิกา (SiO_2)



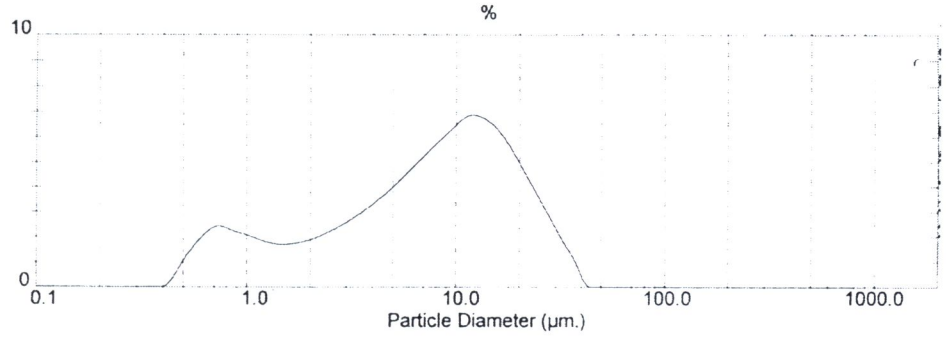
รูปที่ 4.1 กราฟวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของซิลิกา



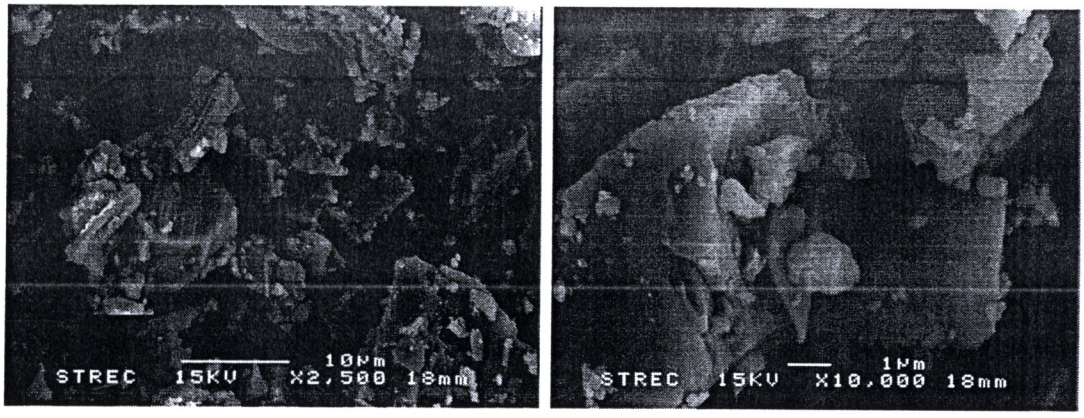
รูปที่ 4.2 ภาพถ่าย SEM ของซิลิกา ที่กำลังขยาย 2,500 และ 10,000 เท่า

จากการวิเคราะห์การกระจายตัวและขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Particle size analyzer ยี่ห้อ Malvern รุ่น Mastersizer S ของ UK ดังแสดงในรูปที่ 4.1 พบว่ามีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 3.79 ไมโครเมตร และมีการกระจายตัวของอนุภาคแบบกว้าง ขนาดของอนุภาคที่วิเคราะห์ได้จะมีสองกลุ่ม คือขนาดเล็กไม่เกิน 1 ไมครอน และขนาดใหญ่ และจากภาพถ่าย SEM ของอนุภาคซิลิกา ที่กำลังขยาย 2,500 และ 10,000 เท่า จากรูปที่ 4.2 พบว่ารูปร่างของซิลิกา มีลักษณะกลมมน บริเวณผิวมีความขรุขระ มีรูพรุนมาก โดยธรรมชาติแล้วซิลิกาจะไม่อยู่อย่างเดี่ยวๆ แต่จะจับตัวเป็นกระจุก ซึ่งสอดคล้องกับภาพขยาย SEM ของอนุภาคซิลิกา

4.1.2 สมบัติของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$)



รูปที่ 4.3 กราฟวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนต



รูปที่ 4.4 ภาพถ่าย SEM ของแคลเซียมคาร์บอเนต ที่กำลังขยาย 2,500 และ 10,000 เท่า

จากการวิเคราะห์การกระจายตัวและขนาดอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตด้วยเครื่อง Particle size analyzer รุ่น Mastersizer S long bed, version 2.19 พบว่ามีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 8.02 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และมีการกระจายตัวของอนุภาคแบบกว้าง อนุภาคมีหลายขนาด และจากภาพถ่าย SEM ของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต ที่กำลังขยาย 2,500 และ 10,000 เท่า ในรูปที่ 4.4 พบว่ารูปร่างของแคลเซียมคาร์บอเนต มีลักษณะแบน บริเวณผิวเรียบ มีรูพรุนน้อย-ไม่มีรูพรุน

จากภาพขยาย SEM รูปที่ 2 และ รูปที่ 4 เพื่อวิเคราะห์ขนาดและรูปร่างของอนุภาคสารตั้งต้น 2 ชนิด ที่นำมาทำสารเคลือบ พบลักษณะที่แตกต่างกัน คือ แคลเซียมคาร์บอเนตมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า มีพื้นผิวเรียบ ลักษณะเป็นเหลี่ยม ส่วนซิลิกามีรูปร่างกลม มีพื้นผิวขรุขระหรือมีรูพรุน และเกาะกลุ่มกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ ซึ่งอนุภาคของซิลิกาหลังจากการผสมและการตีกวนจะมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่านี้มาก และมีการกระจายตัวได้ดีในสารเคลือบ โดยจะเห็นได้จากผลการทดลองเคลือบผิว รูปที่ 4.7-4.10

4.2 อัตราส่วนต่างๆ ของสารเคลือบ

ตารางที่ 4.1 อัตราส่วนผสมของซิลิกา แคลเซียมคาร์บอเนต พอลิไวนิลแอลกอฮอล และ ซีเอ็มซี ในสารเคลือบที่นำมาใช้ในการทดลอง

ร้อยละของแข็ง(%)	SiO_2:$CaCO_3$	อัตราส่วน (กรัม)				น้ำ (มล.)
		ซิลิกา	แคลเซียมคาร์บอเนต	พอลิไวนิลแอลกอฮอล์	ซีเอ็มซี	
10	0:0	0	0	10.00	0	90
15	100:0	11.36	0	3.40	0.22	85
16	100:0	12.13	0	3.63	0.24	84
	75:25	9.10	3.03	3.63	0.24	84
	50:50	6.065	6.065	3.63	0.24	84
	25:75	3.03	9.10	3.63	0.24	84
	0:100	0	12.13	3.63	0.24	84
17	100:0	12.88	0	3.86	0.26	83
	75:25	9.66	3.22	3.86	0.26	83
	50:50	6.44	6.44	3.86	0.26	83
	25:75	3.22	9.66	3.86	0.26	83
	0:100	0	12.88	3.86	0.26	83
20	100:0	15.15	0	3.86	0.30	80
	75:25	11.36	3.79	3.86	0.30	80
	50:50	7.575	7.575	4.55	0.30	80
	25:75	3.79	11.36	4.55	0.30	80
	0:100	0	15.15	4.55	0.30	80
25	0:100	0	18.94	5.68	0.38	75
30	0:100	0	22.73	6.82	0.45	70

จากตารางที่ 4.1 พบปัญหาในการผสมสารเคลือบของแต่ละสูตรซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณของแข็ง และสัดส่วนของสารสี ทำให้ต้องตัดสารเคลือบเหล่านี้ออกไป ดังจะแสดงเหตุผลในตารางที่ 4.3

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ตารางที่ 4.2 แสดงความเป็นไปได้สำหรับสารเคลือบแต่ละสูตร

ร้อยละของแข็ง (%)	ซิลิกา:CaCO3	ผลการผสมสารเคลือบ	สาเหตุที่ทำให้สูตรสารเคลือบมีความเป็นไปได้น้อย
10	0:0	✓	
15	100:0	✓	
16	100:0	×	สารเคลือบแข็ง กวนไม่เข้ากันกับ PVOH และรวมกันเป็นก้อน
	75:25	✓	
	50:50	×	สารสี (ซิลิกาและแคลเซียมคาร์บอเนต) ไม่รวมตัวกัน
	25:75	×	สารเคลือบเหลว
	0:100	×	สารเคลือบเหลวเกินไป สารสีตกตะกอนเร็ว
17	100:0	×	สารเคลือบแข็ง กวนไม่เข้ากันกับ PVOH
	75:25	×	สารเคลือบหนืด กวนไม่เข้ากันกับ PVOH
	50:50	✓	
	25:75	✓	
	0:100	×	สารเคลือบเหลว และตกตะกอนเร็ว
20	100:0	×	สารเคลือบหนืด กวนไม่เข้ากันกับ PVOH
	75:25	×	สารสี (ซิลิกาและแคลเซียมคาร์บอเนต) เป็นก้อน ไม่รวมตัวกัน
	50:50	✓	
	25:75	✓	
	0:100	✓	
25	0:100	✓	
30	0:100	✓	

หมายเหตุ :

- ✓ *สูตรสารเคลือบที่มีความเป็นไปได้ในการผสมสารเคลือบ*
- × *สูตรสารเคลือบที่มีความเป็นไปได้น้อยในการผสมสารเคลือบ*

จากตารางที่ 4.2 สูตรที่มีปัญหาในขั้นตอนผสม บางสูตรผสมไม่เข้ากัน บางสูตรมีความหนืดสูงในการผสม บางสูตรตกตะกอนเร็ว และบางสูตรแข็งเป็นก้อนตั้งแต่ยังไม่ผสมกับสารยึดติด PVOH ด้วยเหตุผลจากตารางนี้ ทำให้ได้สารเคลือบ 10 สูตรที่จะนำมาทดสอบความหนืดของสารเคลือบ และนำมาเคลือบกระดาษด้วยแท่งขดลวดเคลือบสาร ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 อัตราส่วนของสารเคลือบที่นำมาทำการทดสอบ

สูตรที่	ร้อยละของแข็ง (%)	SiO_2:$CaCO_3$	อัตราส่วน (กรัม)				น้ำ (มล.)
			ซิลิกา	แคลเซียมคาร์บอเนต	พอลิไวนิลแอลกอฮอล์	ซีเอ็มซี	
1	10	0:0	0	0	10.00	0	90
2	15	100:0	11.36	0	3.40	0.22	85
3	16	75:25	9.10	3.03	3.63	0.24	84
4	17	50:50	6.44	6.44	3.86	0.26	83
5	17	25:75	3.22	9.66	3.86	0.26	83
6	20	50:50	7.57	7.57	4.55	0.30	80
7	20	25:75	3.79	11.36	4.55	0.30	80
8	20	0:100	0	15.15	4.55	0.30	80
9	25	0:100	0	18.94	5.68	0.38	75
10	30	0:100	0	22.73	6.82	0.45	70

จากตารางที่ 4.3 เป็นสูตรที่ผ่านการกวนผสมให้องค์ประกอบของสารเคลือบต่างๆ เป็นเนื้อเดียวกัน จากการทดลองมีการใช้ร้อยละของแข็งตั้งแต่ 15% - 30% อ้างอิงจากข้อมูลบริษัท Celanese chemicals [10] ได้พบว่าสูตรสารเคลือบที่เหมาะสำหรับการเคลือบด้วยใบมีดหรือแท่งโลหะเคลือบผิวควรมีร้อยละของแข็ง 15-30 และมีความหนืดอยู่ในช่วง 200-600 cps (centipoises) และใช้ซิลิกา 100 ส่วนต่อพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ 30-50 ส่วน ส่วนร้อยละของแข็งของสูตรสารเคลือบที่นำมาทดลองได้อ้างอิงจากงานวิจัยของอนันต์ [25] และได้พิจารณาเพิ่ม-ลดร้อยละของแข็งจากแหล่งอ้างอิงเพื่อให้ได้สารเคลือบจากสภาพการทดลองผสมที่มีอุปกรณ์การใช้งานต่างกัน

ในการทดลองนี้ใช้สัดส่วนของสารสีที่มี ซิลิกา และแคลเซียมคาร์บอเนตในสัดส่วนที่ผกผันกัน คือ 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 สารเคลือบที่มีสัดส่วนของซิลิกาและแคลเซียมคาร์บอเนตที่ 100:0 จะมีเพียงสูตรที่ 2 เนื่องจากปริมาณของแข็งน้อยที่สุด ที่สามารถใช้ซิลิกาเป็นส่วนผสมในสารเคลือบได้ ส่วนปริมาณสารเคลือบที่มีส่วนผสมของสารสีสองชนิด สามารถผลิตสารเคลือบได้ตั้งแต่ร้อยละของแข็งที่ 16-20 สูตรที่มีร้อยละของแข็งสูง ไม่สามารถใช้ซิลิกาในสัดส่วนที่สูงกว่าแคลเซียมคาร์บอเนตได้ เนื่องจากซิลิกามีลักษณะดูดซับของเหลวได้ดี [8] เมื่อร้อยละของแข็งสูงอัตราส่วนของของเหลว (น้ำ) ก็จะลดลง ทำให้เกิดความหนืดในการผสมสารเคลือบมากยิ่งขึ้น

สูตรที่ 9 และ 10 เป็นสูตรที่ต่อขยายมาจากสูตรที่ 8 ที่มีร้อยละของแข็งสูงถึง 20% และยังสามารถผสมสารเคลือบที่มีสัดส่วนแคลเซียมคาร์บอเนตเพียงอย่างเดียว (0:100) จึงเพิ่มร้อยละของแข็งที่สูงขึ้น เป็น 25 และ 30 ตามลำดับ ส่วนสูตรที่ 1 เป็นสารเคลือบที่มีเพียงพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นสารเคลือบและมีร้อยละของแข็งที่ 10 ซึ่งเป็นสูตรที่ผลิตขึ้นเพื่อนำมาเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆกับสารเคลือบที่มีสารสีเป็นองค์ประกอบ

4.3 การตรวจสอบสารเคลือบ

4.3.1 วัดค่าความหนืดของสารเคลือบ

ใช้ Zahn Cup #3 และสารเคลือบควรมีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้สูตรสารเคลือบที่สามารถนำมาเคลือบผิวกระดาษด้วยแท่งขดลวดเคลือบสาร

ตารางที่ 4.4 ค่าความหนืดของสารเคลือบ

สูตรสารเคลือบ	ร้อยละของแข็ง	ซิลิกา:CaCO3	ค่าความหนืด (วินาที)
1	10	0:0	124
2	15	100:0	n/a
3	16	75:25	> 180
4	17	50:50	46
5	17	25:75	16
6	20	50:50	> 600
7	20	25:75	25.80
8	20	0:100	16
9	25	0:100	50
10	30	0:100	98

หมายเหตุ :

- *ตัวเลขค่าความหนืดนี้ไม่ได้วัดเพื่อหาความหนืด แต่เป็นการเปรียบเทียบค่าตัวเลขในการวัดความหนืด*
- *วัดด้วย Zahn Cup#3 อุณหภูมิสารเคลือบ 25 องศาเซลเซียส*
- *n/a หมายถึง หนืดจนไม่สามารถวัดด้วย Zahn Cup#3 ได้*

ความหนืดที่เกิดขึ้นดังตารางที่ 4.4 พบว่าสารเคลือบสูตรที่ 2 ที่มีซิลิกาเป็นสารสี มีความหนืดมากจนไม่สามารถวัดได้ด้วยถ้วยวัดความหนืดที่นำมาทดสอบ เนื่องจากซิลิกามีพื้นผิวที่มีความพรุนสูงจึงมีลักษณะอุ้มน้ำซึ่งเป็นสารละลายไว้ จึงเกิดความข้นเหนียวของสารเคลือบ

4.3.2 ปริมาณของสารเคลือบบนกระดาษปรู๊ฟ

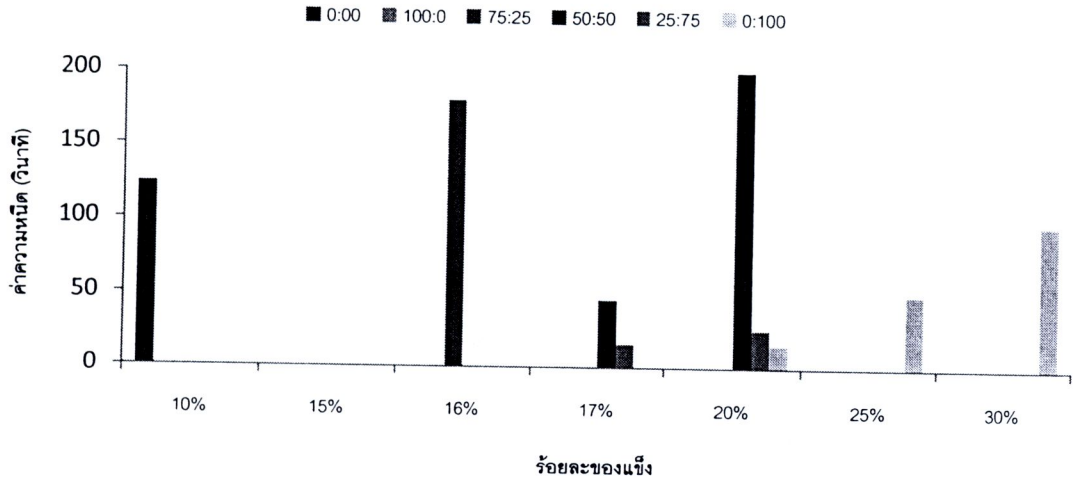
จากวิธีการเคลือบผิวกระดาษที่ได้อธิบายไว้ใน หัวข้อที่ 3.3.3.2 การเคลือบผิวกระดาษปรู๊ฟ และการวัดปริมาณสารเคลือบที่ใช้ ทำให้ทราบว่า การเคลือบผิวกระดาษปรู๊ฟไม่ควรให้สารเคลือบเหลวเกินไป เนื่องจากจะเกิดการย่นของกระดาษได้ ปริมาณสารเคลือบที่ใช้สำหรับการเคลือบกระดาษปรู๊ฟที่ได้ต่อการเคลือบ 1 แผ่น A4 หาจากค่าเฉลี่ยปริมาณสารเคลือบ โดยชั่งน้ำหนักสารเคลือบที่เหลือจากการปาดสารเคลือบบนกระดาษ จึงได้ค่าเฉลี่ยของปริมาณสารเคลือบ ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ปริมาณสารเคลือบที่ใช้สำหรับกระดาษปรู๊ฟขนาด A4

สูตรสารเคลือบ	ร้อยละของแข็ง	ซิลิกา:CaCO3	ปริมาณสารเคลือบบนกระดาษปรู๊ฟ 1 แผ่น A4 (มิลลิลิตร)
1	10	0:0	2.06
2	15	100:0	2.13
3	16	75:25	2.17
4	17	50:50	1.86
5	17	25:75	2.07
6	20	50:50	2.16
7	20	25:75	2.21
8	20	0:100	2.78
9	25	0:100	3.54
10	30	0:100	4.17

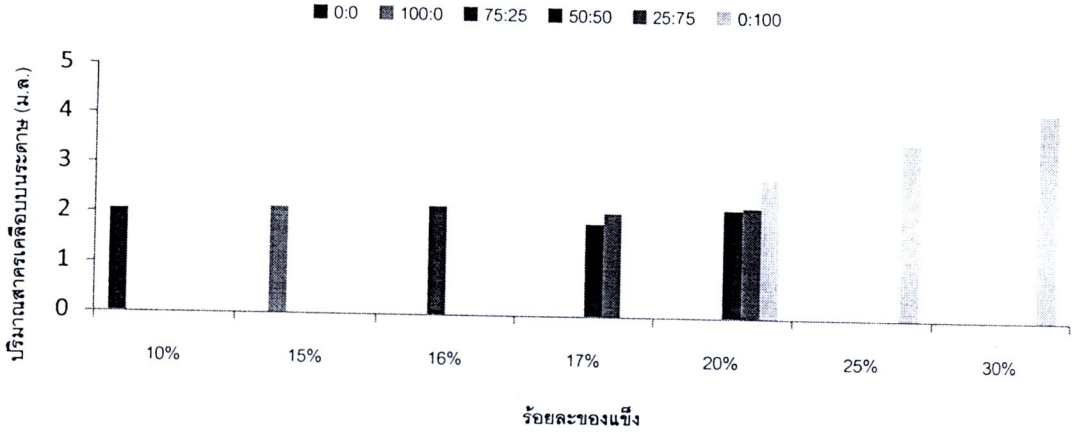
จากตารางที่ 4.5 ซิลิกามีผลให้น้ำหนักสารเคลือบลดลง เนื่องมาจากสารเคลือบที่มีปริมาณซิลิกาสูงทำให้มีความหนืดสูง ดังนั้นเมื่อนำมาเคลือบด้วยขดลวดเคลือบสาร สารที่เหนียวเกินไปไม่สามารถไหลเข้าไปตามร่องขดลวดได้ และค้างอยู่ตามขดลวดในปริมาณมาก นอกจากนี้การถ่ายโอนสารเคลือบสู่กระดาษจึงไม่สามารถถ่ายโอนไปได้หมดทำให้น้ำหนักสารเคลือบต่ำลงเมื่อเทียบกับสารสีที่มีความหนืดต่ำกว่า ดังจะแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.5 กราฟค่าความหนืดซึ่งนับเป็นวินาทีในการไหลของสารเคลือบ โดยแบ่งเป็นสัดส่วนของซิลิกาและแคลเซียมคาร์บอเนตในแต่ละร้อยละของแข็งที่ใช้ ซึ่งความ

หนืดของสารเคลือบจะสัมพันธ์กับปริมาณสารเคลือบที่ปาดเคลือบลงบนกระดาษปรู๊ฟ (รูปที่ 4.6) คือ สูตรสารเคลือบที่มีความหนืดมากจะทำให้ได้สารเคลือบติดอยู่บนผิวกระดาษน้อยลง ดังที่กล่าวมาแล้ว



หมายเหตุ : ค่าความหนืดของร้อยละของแข็งที่ 15% คือสูตรที่ใช้เพียงซิลิกาเป็นสารสี (สูตรที่ 2) มีความหนืดจนไม่สามารถวัดด้วย Zahn Cup#3 ได้ (ดูข้อมูลตัวเลข ตารางที่ 4.4 ค่าความหนืดของสารเคลือบ)

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความหนืดของสารเคลือบแบ่งตามร้อยละของแข็งของสารเคลือบ



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงปริมาณสารเคลือบที่ใช้เคลือบผิวกระดาษปรู๊ฟ 1 แผ่น A4 แบ่งตามร้อยละของแข็งของสารเคลือบ

4.4 สมบัติของกระดาษปรู๊ฟที่เคลือบสาร

4.4.1 น้ำหนักและความหนาของกระดาษเคลือบ

ชั่งน้ำหนักของกระดาษเคลือบด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง โดยชั่ง 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยและค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.7 ส่วนความหนาของกระดาษเคลือบวัดด้วยเครื่องวัดความหนา Digital thickness gauge โดยวัด 6 จุดของกระดาษเคลือบ ได้ค่าเฉลี่ยตามตารางที่ 4.6 ดังนี้

ตารางที่ 4.6 แสดงน้ำหนัก และความหนาของกระดาษเคลือบที่เพิ่มขึ้น

สูตรสารเคลือบ	ร้อยละของแข็ง	ซิลิกา:CaCO3	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	ความหนาที่เพิ่มขึ้น (มิลลิเมตร)
1	10	0:0	0.5155	0.01
2	15	100:0	0.5224	0.01
3	16	75:25	0.7109	0.01
4	17	50:50	0.5198	0.01
5	17	25:75	0.6056	0.01
6	20	50:50	0.5824	0.01
7	20	25:75	0.6118	0.01
8	20	0:100	0.7177	0.01
9	25	0:100	0.7597	0.01
10	30	0:100	1.3609	0.02

หมายเหตุ: กระดาษปรู๊ฟไม่เคลือบสารมีน้ำหนัก 2.9101 กรัม และหนา 0.07 มิลลิเมตร

จากตารางที่ 4.6 จากสูตรที่มีสารสีสองชนิด จะเห็นว่าเมื่อลดสัดส่วนของซิลิกา จาก 50 ส่วน เป็น 25 ส่วน (สูตรที่ 4 และ 5) น้ำหนักของกระดาษเคลือบจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ซิลิกา และแคลเซียมคาร์บอเนต มีสัดส่วนเท่ากัน เช่น 50:50 ของสูตรที่ 4 และ 6 แนวโน้มของน้ำหนักกระดาษเคลือบสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณของแข็งสูงขึ้น

4.4.2 ค่าพิกัดสี (CIE L*a*b*) ของกระดาษเคลือบ

ทดสอบตามมาตฐาน ISO 5031:2000 แหล่งกำเนิดแสง D50 มุม 2 องศา Geometry 0/45 หรือ 45/0 โดยปิดทับหลังด้วยแผ่นดำ (black backing)

ตารางที่ 4.7 ค่าสีของกระดาษเคลือบ และค่าความแตกต่างสีเทียบกับกระดาษไม่เคลือบสาร

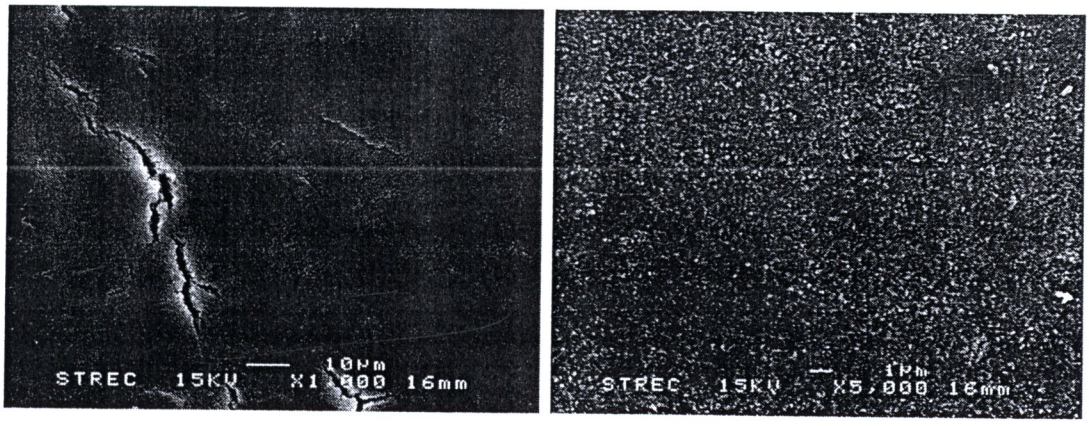
สูตรสารเคลือบ	ร้อยละของแข็ง	ซิลิกา:CaCO3	ค่าสีกระดาษเคลือบสาร			ΔE	ΔL*
			L*	a*	b*	L*a* b*	
1	10	0:0	78.49	-0.74	3.67	1.56	-1.53
2	15	100:0	80.36	-0.89	2.99	0.54	0.34
3	16	75:25	81.23	-0.78	2.06	1.79	1.21
4	17	50:50	80.80	-0.75	2.59	1.11	0.78
5	17	25:75	80.27	-0.68	3.18	0.33	0.25
6	20	50:50	81.65	-0.79	2.1	2.07	1.63
7	20	25:75	79.93	-0.86	3.86	0.51	-0.09
8	20	0:100	80.19	-0.59	3.87	0.54	0.17
9	25	0:100	79.98	-0.66	3.58	0.22	-0.04
10	30	0:100	80.43	-0.61	3.66	0.51	0.41

หมายเหตุ: *กระดาษไม่เคลือบสารมีค่าสี* $L^* = 80.02, a^* = -0.73, b^* = 3.38$

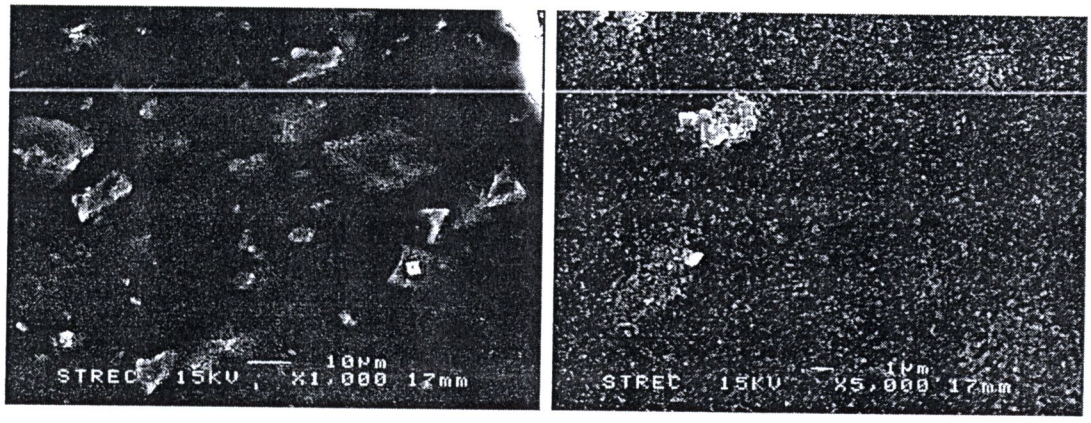
กระดาษต่างประเทศมีค่าสี $L^* = 86.10, a^* = 0.70, b^* = 6.93$

จากตารางที่ 4.7 ค่าความแตกต่างของสีกระดาษเคลือบสารต่างจากกระดาษไม่เคลือบเล็กน้อยจนไม่เห็นด้วยตาเปล่า การที่มีซิลิกา และแคลเซียมคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความขาวสว่าง หรือ L* เพิ่มขึ้น สูตรที่มีซิลิกาในสัดส่วนที่มากกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต จะทำให้กระดาษเคลือบออกไปทางอมเหลืองมากขึ้น เนื่องจากคุณลักษณะของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีสีอมเหลืองส่งผลให้ค่า L* ลดลงเล็กน้อย

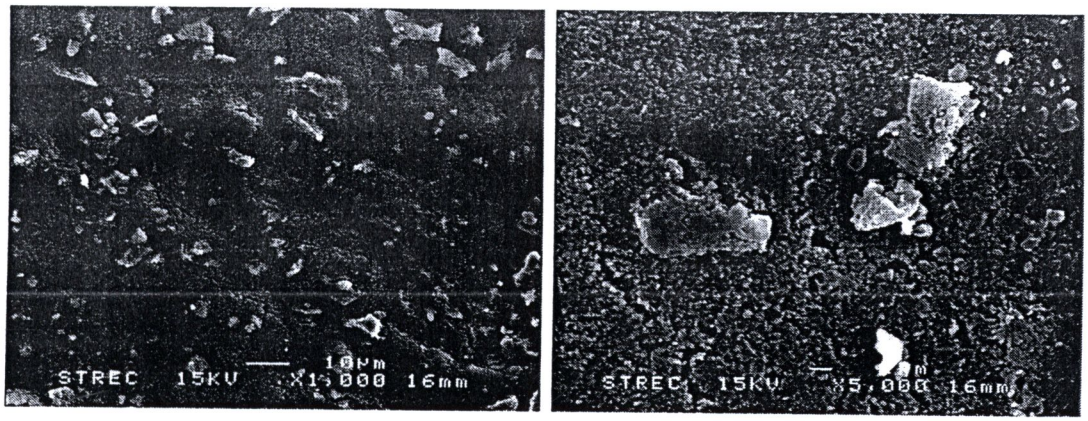
4.4.3 ลักษณะผิวหน้าของชั้นสารเคลือบบนกระดาษปรู๊ฟเคลือบสาร



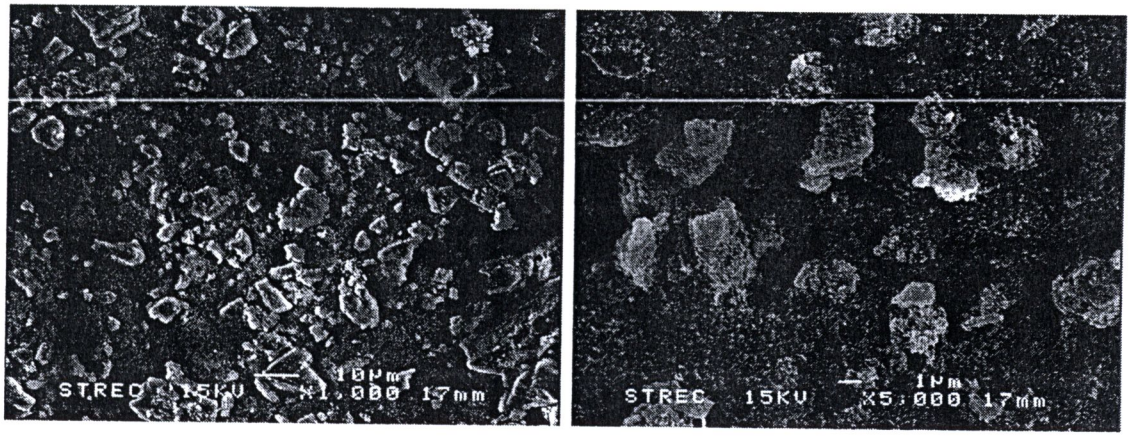
รูปที่ 4.7 ภาพ SEM ของกระดาษที่สารเคลือบ มีอัตราส่วนของซิลิกาต่อแคลเซียมคาร์บอเนต เท่ากับ 100:0 และสัดส่วนของสารสีต่อสารยึดติดต่อสารยึดร่วมเท่ากับ 100:30:2 ร้อยละของแข็งเท่ากับ 15 กำลังขยาย 1,000 และ 5,000 เท่า



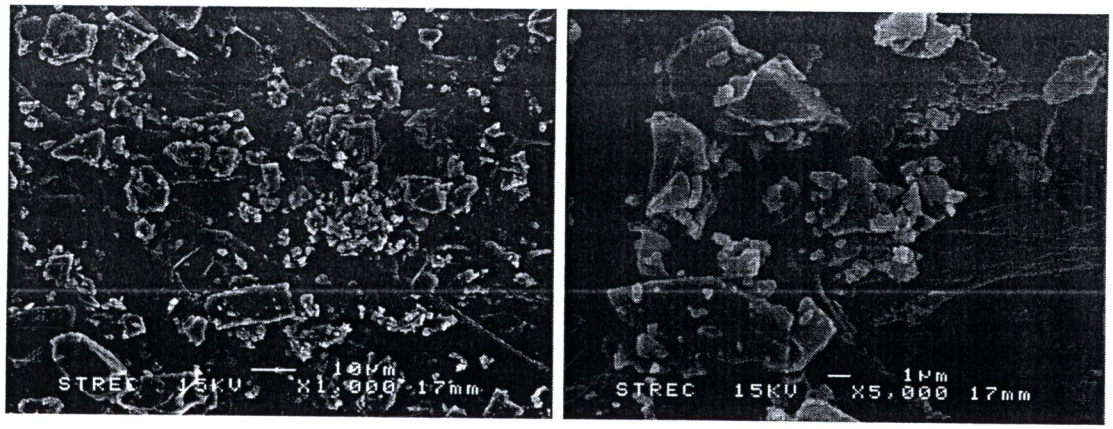
รูปที่ 4.8 ภาพ SEM ของกระดาษที่สารเคลือบ มีอัตราส่วนของซิลิกาต่อแคลเซียมคาร์บอเนต เท่ากับ 75:25 และสัดส่วนของสารสีต่อสารยึดติดต่อสารยึดร่วมเท่ากับ 100:30:2 ร้อยละของแข็ง เท่ากับ 16 กำลังขยาย 1,000 และ 5,000 เท่า



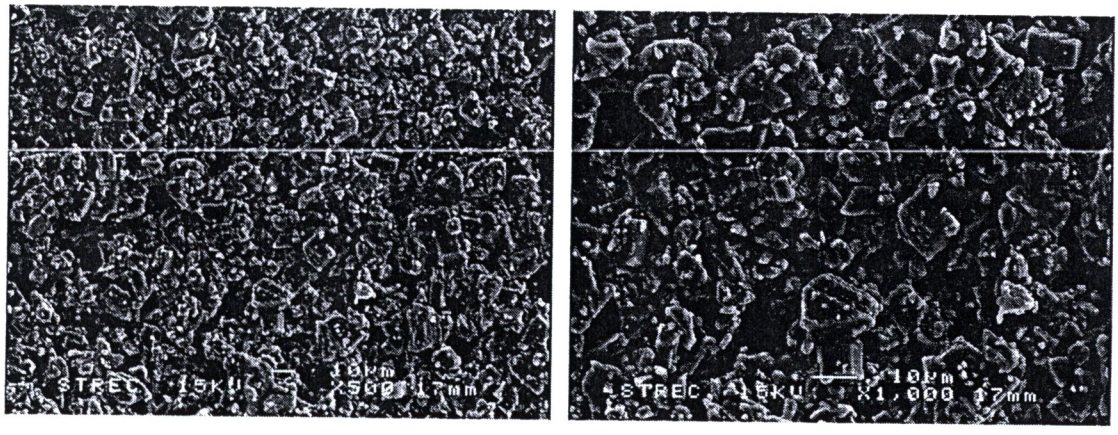
รูปที่ 4.9 ภาพ SEM ของกระดาษที่สารเคลือบ มีอัตราส่วนของซิลิกาต่อแคลเซียมคาร์บอเนต เท่ากับ 50:50 และสัดส่วนของสารสีต่อสารยึดติดต่อสารยึดร่วมเท่ากับ 100:30:2 ร้อยละของแข็งเท่ากับ 17 กำลังขยาย 1,000 และ 5,000 เท่า



รูปที่ 4.10 ภาพ SEM ของกระดาษที่สารเคลือบ มีอัตราส่วนของซิลิกาต่อแคลเซียมคาร์บอเนต เท่ากับ 25:75 และสัดส่วนของสารสีต่อสารยึดติดต่อสารยึดร่วมเท่ากับ 100:30:2 ร้อยละของแข็งเท่ากับ 20 กำลังขยาย 1,000 และ 5,000 เท่า



รูปที่ 4.11 ภาพ SEM ของกระดาษที่สารเคลือบ มีอัตราส่วนของซิลิกาต่อแคลเซียมคาร์บอเนต เท่ากับ 0:100 และสัดส่วนของสารสีต่อสารยึดติดต่อสารยึดร่วมเท่ากับ 100:30:2 ร้อยละของแข็งเท่ากับ 20 กำลังขยาย 1,000 และ 5,000 เท่า



รูปที่ 4.12 ภาพ SEM ของกระดาษที่สารเคลือบ มีอัตราส่วนของซิลิกาต่อแคลเซียมคาร์บอเนต เท่ากับ 0:100 และสัดส่วนของสารสีต่อสารยึดติดต่อสารยึดร่วมเท่ากับ 100:30:2 ร้อยละของแข็งเท่ากับ 30 กำลังขยาย 500 และ 1,000 เท่า

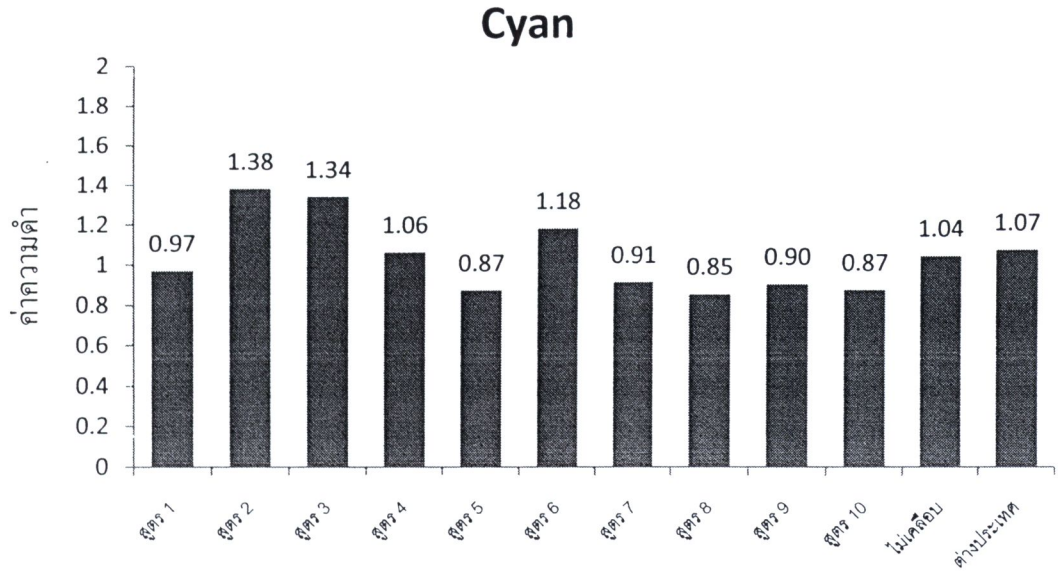
จากรูปที่ 4.7–4.12 เมื่อเปรียบเทียบภาพถ่ายทั้งหมดพบว่าผิวหน้าของอนุภาคส่วนใหญ่ในชั้นสารเคลือบในรูปที่ 4.7 ซึ่งเป็นสูตรที่มีอัตราส่วนของซิลิกาต่อแคลเซียมคาร์บอเนตเป็น 100:0 จะเห็นสารเคลือบ เคลือบลงบนเยื่อกระดาษปรู๊ฟได้ทั้งหมด ในชั้นสารเคลือบมีรูพรุนขนาดเล็กกระจายสม่ำเสมอ เมื่อเปรียบเทียบกับภาพถ่าย SEM ในรูปที่ 4.11 ซึ่งเป็นภาพของผิวหน้าสารเคลือบที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อแคลเซียมคาร์บอเนต เป็น 0:100 ผิวหน้าของอนุภาคส่วนใหญ่ในชั้นสารเคลือบมีลักษณะแบนเรียบ ช่องว่างระหว่างสารเคลือบมีขนาดใหญ่ จึงไม่สามารถเคลือบลงถึงช่องว่างระหว่างเยื่อกระดาษได้

สำหรับการผสมซิลิกากับแคลเซียมคาร์บอเนตในอัตราส่วนต่างๆในรูปที่ 4.8-4.10 ซึ่งสัดส่วนของแคลเซียมคาร์บอเนตเพิ่มมากขึ้นในรูปที่ 4.8, 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ จะเห็นปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตกระจายอยู่ในชั้นสารเคลือบมากขึ้น และมีซิลิกากระจายอุดเยื่อกระดาษและช่องว่างระหว่างสารแคลเซียมคาร์บอเนตเต็มพื้นที่ เนื่องจากซิลิกามีการกระจายตัวและแตกอนุภาคให้เล็กลงได้ดีในสารเคลือบ จึงเข้าไปช่วยอุดช่องว่างระหว่างแคลเซียมคาร์บอเนต ทำให้เคลือบสารเคลือบครอบคลุมบนผิวกระดาษได้สม่ำเสมอ

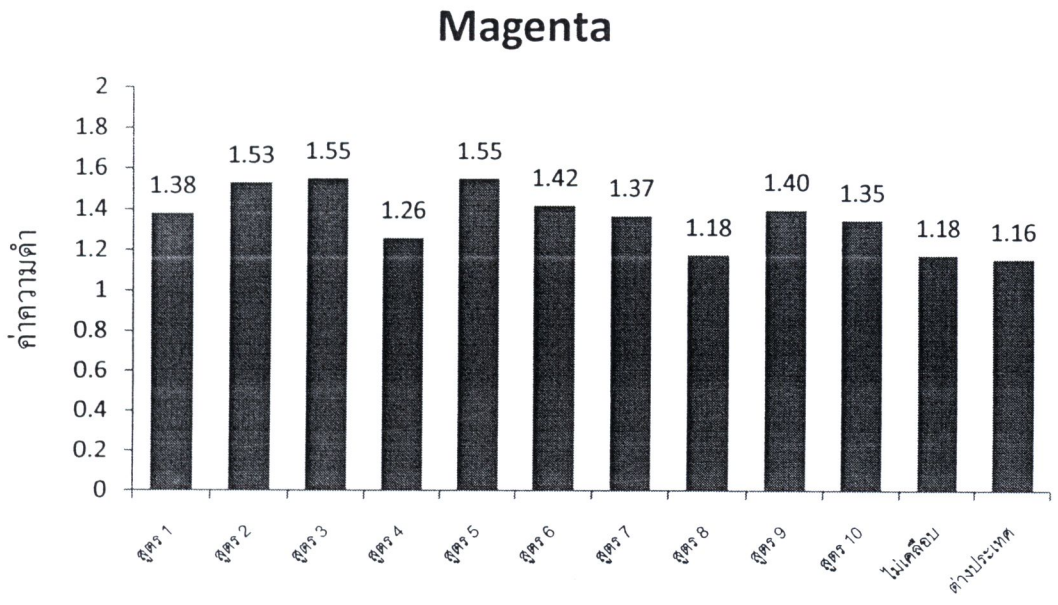
4.5 คุณภาพงานพิมพ์บนกระดาษปรู๊ฟเคลือบสารในอัตราส่วนต่างๆ

โครงงานวิจัยนี้จะพิจารณาค่าความดำของหมึกพิมพ์และการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์ เพราะความต้องการที่จะให้งานพิมพ์มีสีสันสดใสสวยงามคมชัดเหมือนกับต้นฉบับ

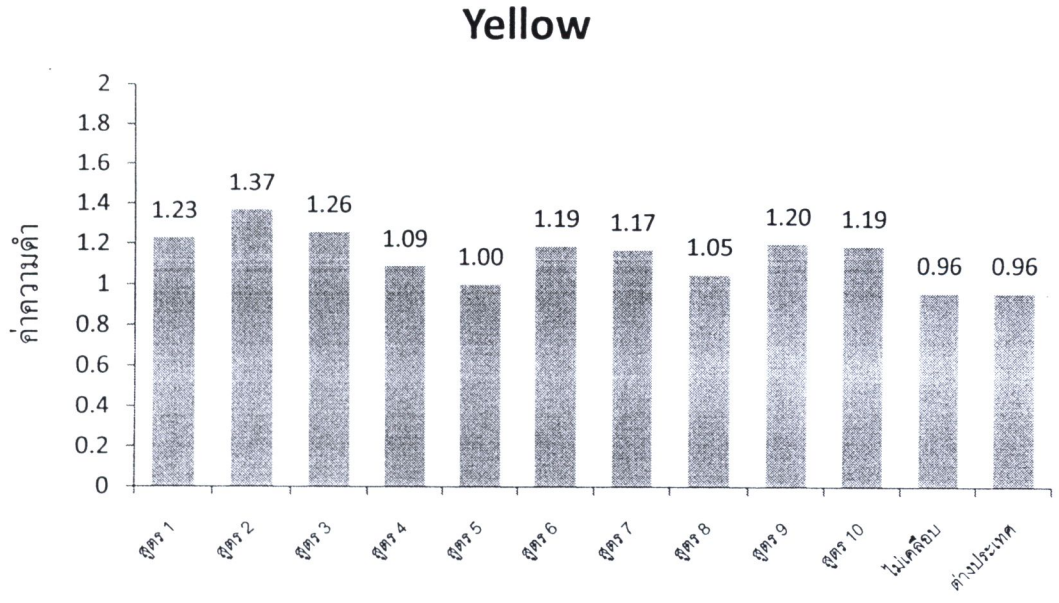
4.5.1 ค่าความดำพื้นทึบของหมึกพิมพ์ (Ink Density)



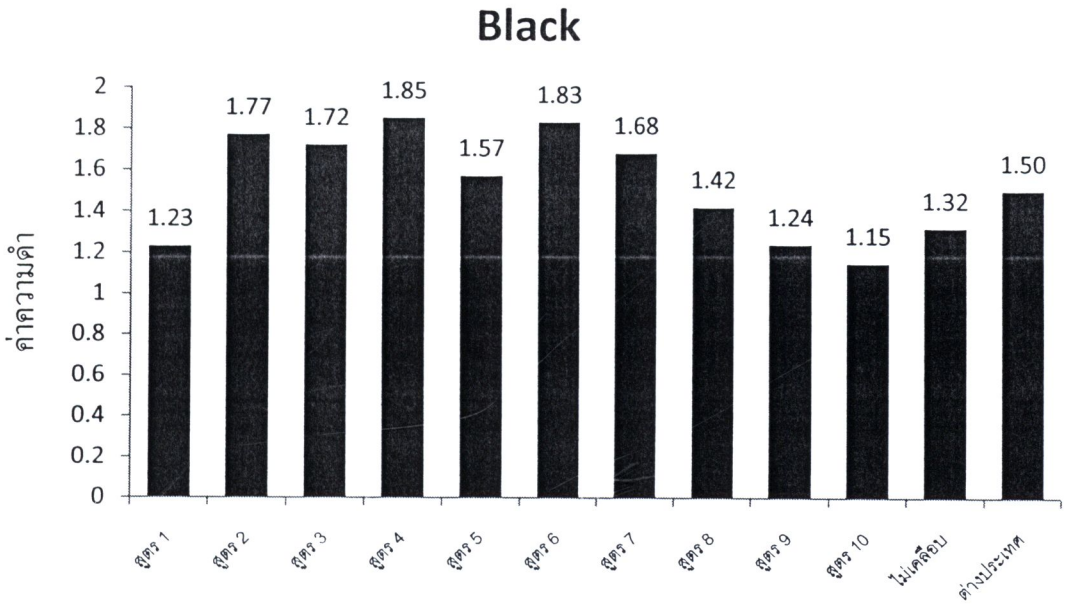
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าความดำพื้นทึบของสี Cyan บนกระดาษเคลือบผิว และกระดาษไม่เคลือบผิว



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่าความดำพื้นทึบของสี Magenta บนกระดาษเคลือบผิว และกระดาษไม่เคลือบผิว



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่าความดำพื้นทึบของสี Yellow บนกระดาษเคลือบผิว และกระดาษไม่เคลือบผิว



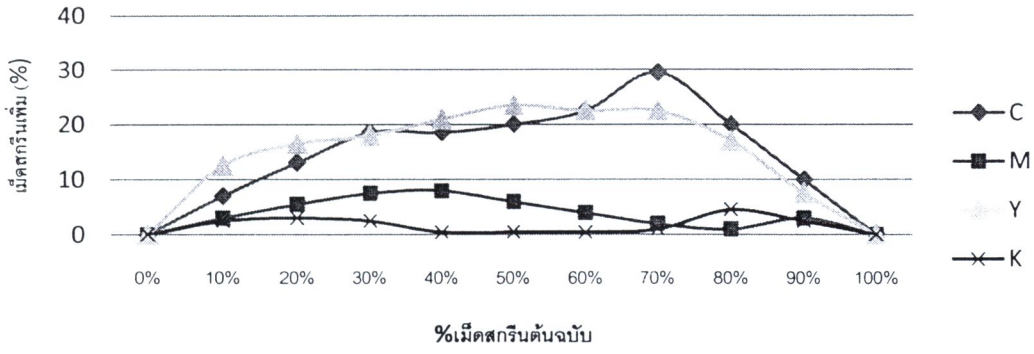
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่าความดำพื้นทึบของสี Black บนกระดาษเคลือบผิว และกระดาษไม่เคลือบผิว

จากรูปที่ 4.13-4.15 พบว่าแนวโน้มของค่าความดำพื้นทึบของสี C M Y เพิ่มมากขึ้นเมื่อมีปริมาณของซิลิกาเพิ่มขึ้น ค่าความดำสูงที่สุดอยู่ในช่วงสูตรที่ 2 และ 3 ซึ่งให้ค่าความดำใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เป็นสาเหตุมาจากอนุภาคของซิลิกาที่มีขนาดเล็กกว่าจึงเข้าไปอุดช่องว่างระหว่างเยื่อกระดาษ และช่องว่างระหว่างแคลเซียมคาร์บอเนต ส่วนโครงสร้างและอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีขนาดใหญ่และไม่มีรูพรุน ทำให้การดูดซึมหมึกพิมพ์เข้าสู่ชั้นสารเคลือบได้ไม่ดี เกิดการกระจายของหมึกออกไปรอบๆ อนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนต ส่งผลให้ค่าความดำลดต่ำลง

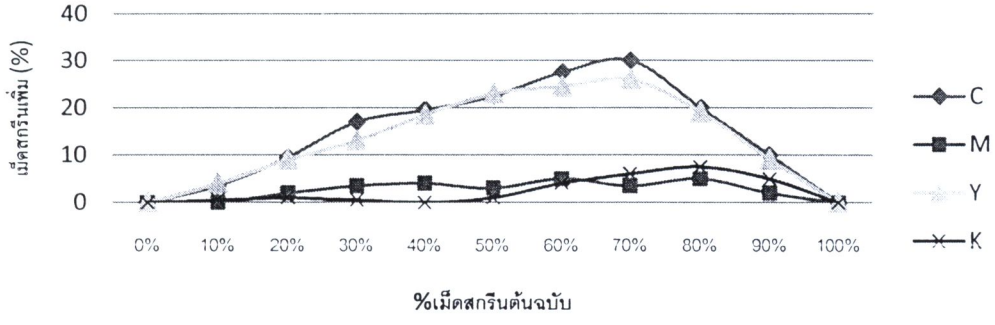
ส่วนรูปที่ 4.16 เป็นค่าความดำพื้นทึบของสีดำพบว่าสูตรที่ 4 และสูตรที่ 6 มีค่าความดำสูงกว่าสูตรอื่น เนื่องจากทั้งสองสูตรนี้มีส่วนผสมของซิลิกา และแคลเซียมคาร์บอเนตในอัตราส่วนที่เท่ากันคือ 50:50 ซึ่งทำให้หมึกพิมพ์บางส่วนบนชั้นสารเคลือบถูกดูดซึมโดยซิลิกา และอีกบางส่วนกระจายอยู่โดยรอบของสารแคลเซียมคาร์บอเนต

4.5.2 การเกิดเม็ดสกรีนบวม (Dot gain)

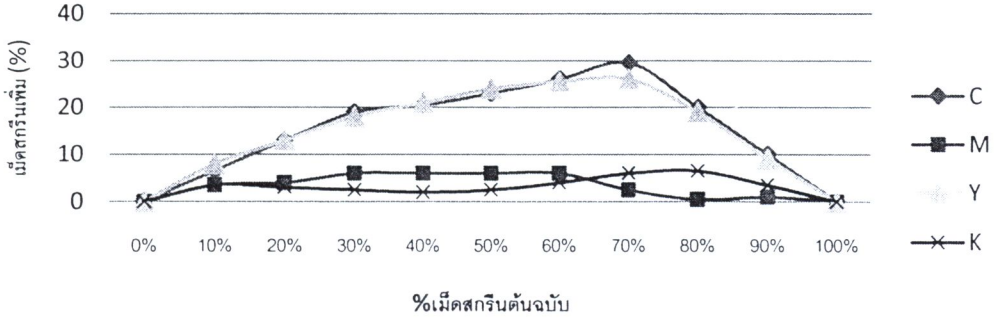
ค่าเม็ดสกรีนบวมมีความสำคัญต่องานพิมพ์ เนื่องจากเม็ดสกรีนที่ดีควรมีค่าใกล้เคียงกับค่าความเป็นจริงมากที่สุด จะทำให้ภาพมีรายละเอียดชัดเจน ดังนั้นในการปรับปรุงผิวหน้ากระดาษเคลือบสารทั่วไปจึงควรทำการทดสอบค่าเม็ดสกรีนบวมเพื่อที่จะได้ปรับปรุงพัฒนาคุณภาพของสารเคลือบต่อไป



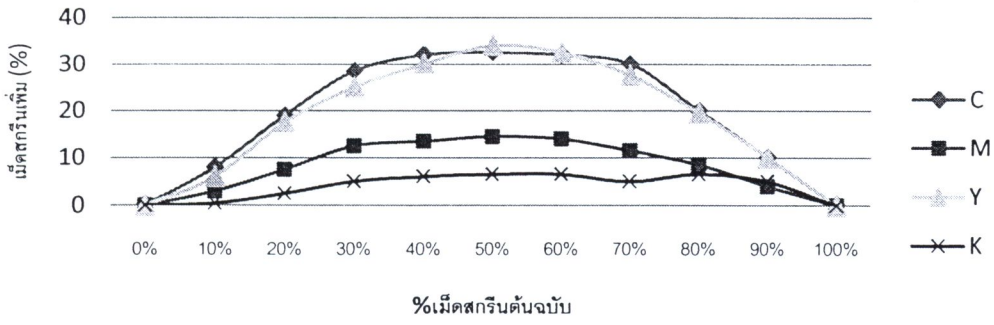
รูปที่ 4.17 แสดงพื้นที่เม็ดสกรีนบนกระดาษเคลือบสูตรที่ 1 ที่มีร้อยละของแข็งเป็น 10 สัดส่วนซิลิกาต่อแคลเซียมคาร์บอเนตที่ 0:0



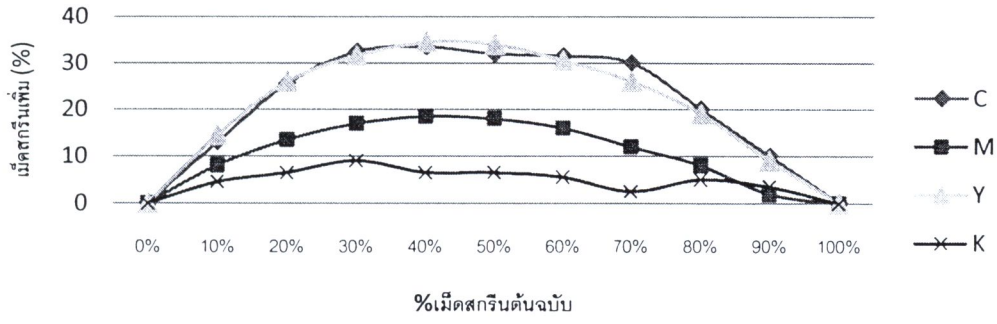
รูปที่ 4.18 แสดงพื้นที่เม็ดสกรีนบนกระดาษเคลือบสูตรที่ 2 ที่มีร้อยละของแข็งเป็น 15 สัดส่วนซิลิกาต่อแคลเซียมคาร์บอเนตที่ 100:0



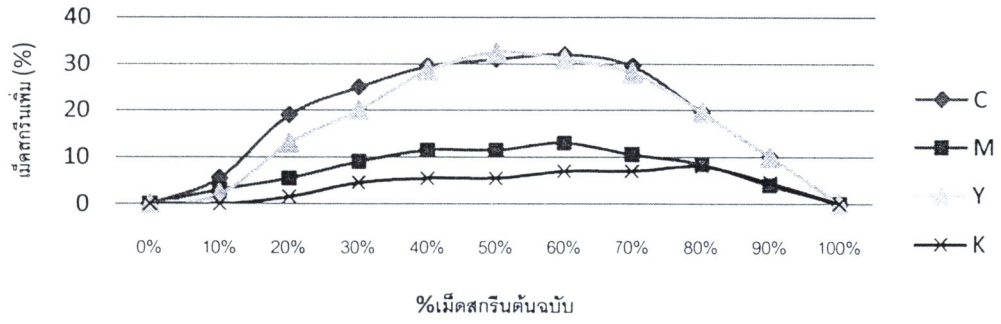
รูปที่ 4.19 แสดงพื้นที่เม็ดสกรีนบนกระดาษเคลือบสูตรที่ 3 ที่มีร้อยละของแข็งเป็น 16 สัดส่วนซิลิกาต่อแคลเซียมคาร์บอเนตที่ 75:25



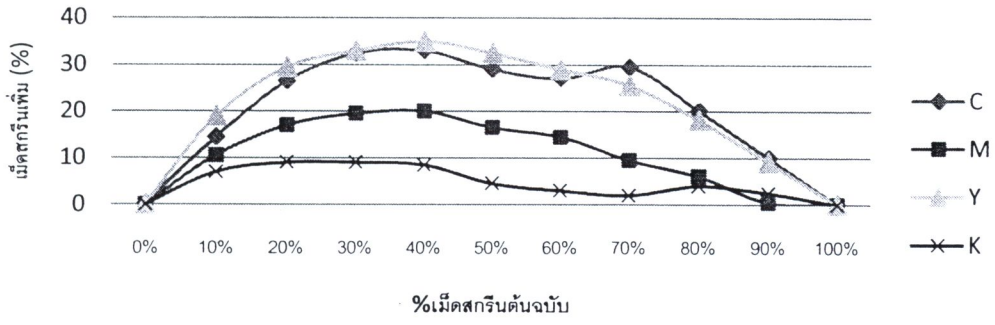
รูปที่ 4.20 แสดงพื้นที่เม็ดสกรีนบนกระดาษเคลือบสูตรที่ 4 ที่มีร้อยละของแข็งเป็น 17 สัดส่วนซิลิกาต่อแคลเซียมคาร์บอเนตที่ 50:50



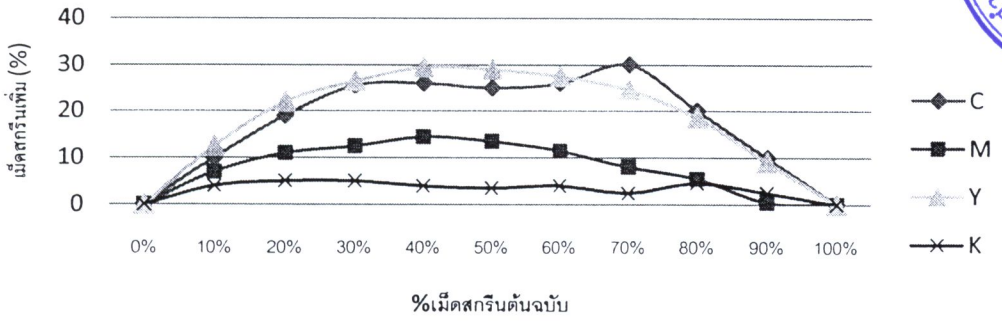
รูปที่ 4.21 แสดงพื้นที่เม็ดสกรีนบนกระดาษเคลือบสูตรที่ 5 ที่มีร้อยละของแข็งเป็น 17 สัดส่วนซิลิกาต่อแคลเซียมคาร์บอเนตที่ 25:75



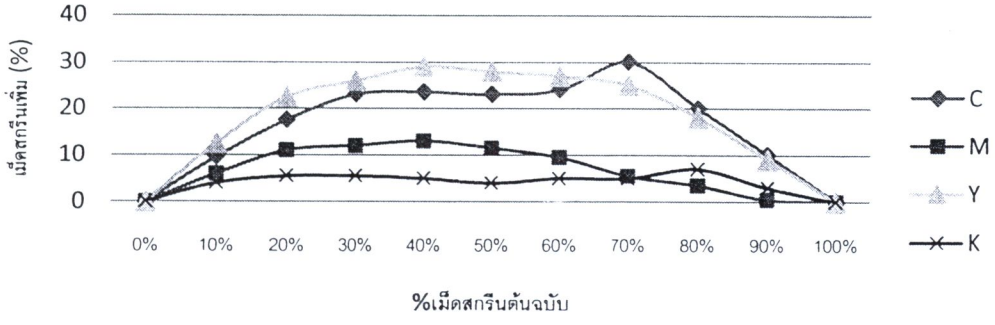
รูปที่ 4.22 แสดงพื้นที่เม็ดสกรีนบนกระดาษเคลือบสูตรที่ 6 ที่มีร้อยละของแข็งเป็น 20 สัดส่วนซิลิกาต่อแคลเซียมคาร์บอเนตที่ 50:50



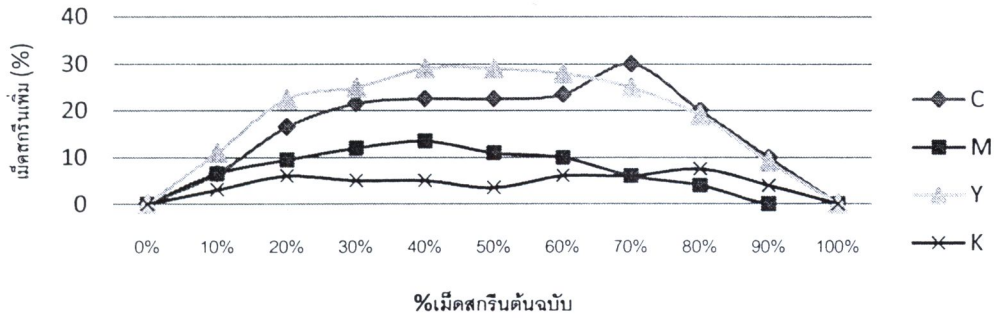
รูปที่ 4.23 แสดงพื้นที่เม็ดสกรีนบนกระดาษเคลือบสูตรที่ 7 ที่มีร้อยละของแข็งเป็น 20 สัดส่วนซิลิกาต่อแคลเซียมคาร์บอเนตที่ 25:75



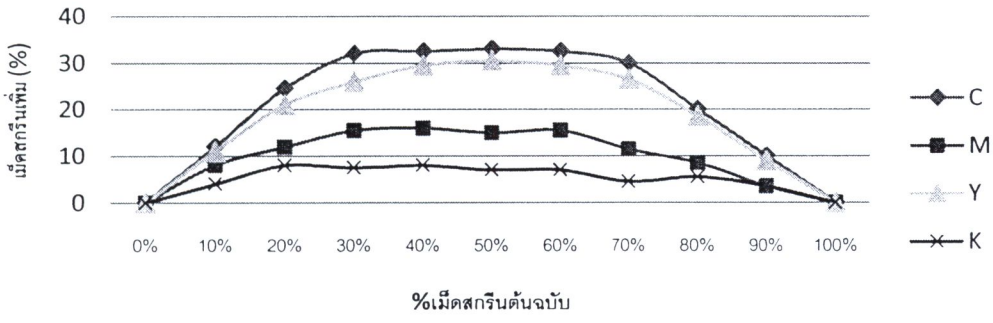
รูปที่ 4.24 แสดงพื้นที่เม็ดสกรีนบนกระดาษเคลือบสูตรที่ 8 ที่มีร้อยละของแข็งเป็น 20 สัดส่วนซิลิกาต่อแคลเซียมคาร์บอเนตที่ 0:100



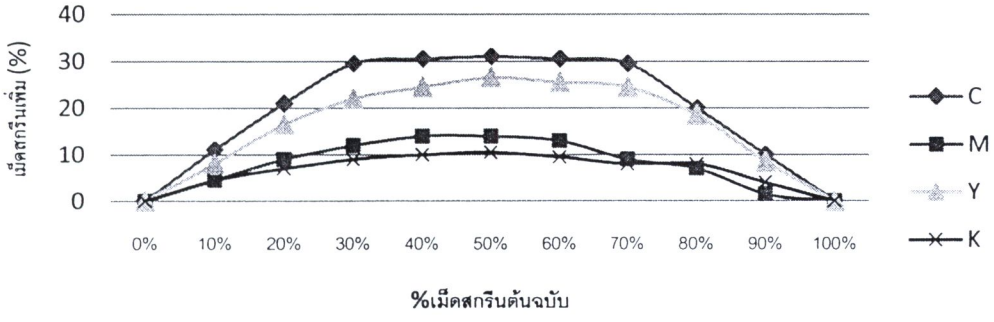
รูปที่ 4.25 แสดงพื้นที่เม็ดสกรีนบนกระดาษเคลือบสูตรที่ 9 ที่มีร้อยละของแข็งเป็น 25 สัดส่วนซิลิกาต่อแคลเซียมคาร์บอเนตที่ 0:100



รูปที่ 4.26 แสดงพื้นที่เม็ดสกรีนบนกระดาษเคลือบสูตรที่ 10 ที่มีร้อยละของแข็งเป็น 30 สัดส่วนซิลิกาต่อแคลเซียมคาร์บอเนตที่ 0:100



รูปที่ 4.27 แสดงพื้นที่เม็ดสกรีนบนกระดาษหนังสือพิมพ์ไม่เคลือบสาร



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงพื้นที่เม็ดสกรีนบนกระดาษนำเข้าจากต่างประเทศ

จากรูปที่ 4.17 หรือ สูตร 1 การบวมของเม็ดสกรีนในช่วง Highlight และ Midtone น้อย ทำให้ได้รายละเอียดบริเวณสว่างของภาพดี เนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีคุณสมบัติดูดซึมหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ตไว้บนผิวกระดาษอย่างรวดเร็ว หมึกพิมพ์ที่พิมพ์ลงไปจึงไม่แผ่กระจาย รูปที่ 4.18 และ 19 หรือสูตรที่ 2 และ 3 ให้ค่าการเกิดเม็ดสกรีนบวมใกล้เคียงกับสูตรที่ 1 แต่สีเข้ม (M และ K) มีการบวมของเม็ด

สกรีนน้อย ลายเส้นคมชัด ส่วนรูปที่ 4.20 และ 4.22 หรือสูตรที่ 4 และ 6 มีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตมากขึ้นทำให้เกิดเม็ดสกรีนบวมในช่วง Highlight และ Midtone มากกว่า สูตรที่ 1-3 ดังนั้นจากรูปที่ 4.16-4.26 จึงแสดงให้เห็นว่า สูตรที่มีสัดส่วนของซิลิกามากกว่าแคลเซียมคาร์บอเนตจะทำให้เม็ดสกรีนบวมน้อยลง สูตรที่มีการเพิ่มสัดส่วนของแคลเซียมคาร์บอเนตเท่ากับ หรือมากกว่าซิลิกาทำให้เกิดเม็ดสกรีนบวมมากขึ้นตามลำดับ

4.5.3 คุณภาพตัวอักษร (Text Sharpness)

การวิเคราะห์คุณภาพของตัวอักษรด้วยตาเปล่า พบว่า กระดาษเคลือบทุกสูตรสามารถมองเห็นและอ่านตัวอักษรพอสิทีฟขนาด 5pt ได้ รวมทั้งกระดาษปรู๊ฟต่างประเทศ และกระดาษหนังสือพิมพ์ที่ไม่ได้เคลือบสาร ส่วนตัวอักษรเนกาทิฟตัวเล็กที่สุดที่มองเห็นได้คือขนาด 8pt ของสูตรที่ 2 (100:0 ร้อยละของแข็งที่ 15)

ตารางที่ 4.8 วิเคราะห์ตัวอักษรพอสิทีฟที่เล็กที่สุดที่สามารถอ่านออกได้

ชนิดกระดาษ	ขนาดตัวอักษร							
	4 pt	5 pt	6 pt	7 pt	8 pt	9 pt	10 pt	12, 14, 16 pt
สูตร 1	30%	50%*	10%	-	10%	-	-	-
สูตร 2	50%*	30%	-	10%	10%	-	-	-
สูตร 3	50%*	30%	-	20%	-	-	-	-
สูตร 4	40%	50%*	-	10%	-	-	-	-
สูตร 5	30%	60%*	10%	-	-	-	-	-
สูตร 6	10%	40%*	30%	20%	-	-	-	-
สูตร 7	20%	60%*	10%	-	10%	-	-	-
สูตร 8	30%	60%*	-	-	10%	-	-	-
สูตร 9	20%	70%*	-	-	10%	-	-	-
สูตร 10	30%	50%*	10%	-	10%	-	-	-
กระดาษไม่เคลือบสาร	30%	50%*	10%	-	-	10%	-	-
กระดาษต่างประเทศ	40%*	40%*	10%	-	-	10%	-	-

*หมายเหตุ: * คือเปอร์เซ็นต์ของขนาดตัวอักษรพอสิทีฟที่มีจำนวนกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่อ่านได้*

ตารางที่ 4.9 วิเคราะห์ตัวอักษรเนกาทีฟที่เล็กที่สุดที่สามารถอ่านออกได้

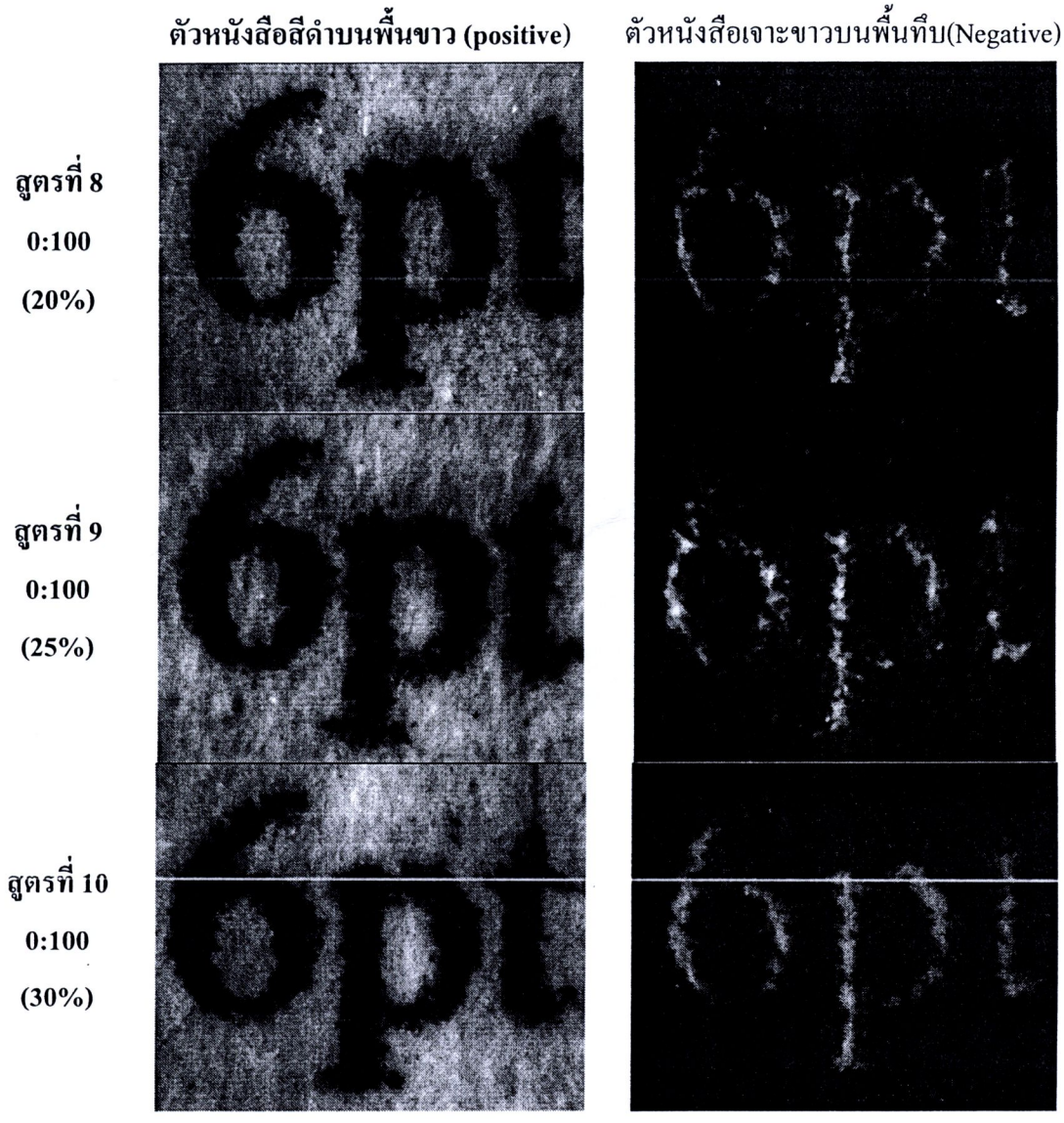
ชนิดกระดาษ	ขนาดตัวอักษร							
	4 pt	5 pt	6 pt	7 pt	8 pt	9 pt	10 pt	12, 14, 16 pt
สูตร 1	-	20%	30%	40%*	-	10%	-	-
สูตร 2	-	20%	40%*	20%	20%	-	-	-
สูตร 3	-	10%	30%	50%*	10%	-	-	-
สูตร 4	-	10%	20%	20%	40%*	10%	-	-
สูตร 5	-	-	10%	20%	20%	40%*	10%	-
สูตร 6	-	10%	20%	30%*	20%	10%	10%	-
สูตร 7	-	-	20%	30%	10%	-	40%*	-
สูตร 8	-	20%	-	60%*	10%	-	10%	-
สูตร 9	-	10%	10%	40%*	30%	-	10%	-
สูตร 10	-	20%	20%	10%	40%*	-	10%	-
กระดาษไม่เคลือบสาร	-	20%	20%	40%*	10%	-	10%	-
กระดาษต่างประเทศ	-	20%	10%	20%	40%*	-	-	10% (12pt)

*หมายเหตุ: * คือเปอร์เซ็นต์ของขนาดตัวอักษรเนกาทีฟที่มีจำนวนกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่อ่านได้*

จากตารางที่ 4.8 และ 4.9 แสดงให้เห็นถึงขนาดตัวอักษรที่เล็กที่สุดที่อ่านได้ ซึ่งขนาดตัวอักษรที่เล็กที่สุด ที่กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่สามารถอ่านตัวพอสิทีฟ คือขนาด 4pt ในสูตรที่ 2 และ 3 เนื่องจากปริมาณซิลิกาที่มากกว่าจะส่งผลให้หมึกพิมพ์ไม่แผ่กระจาย

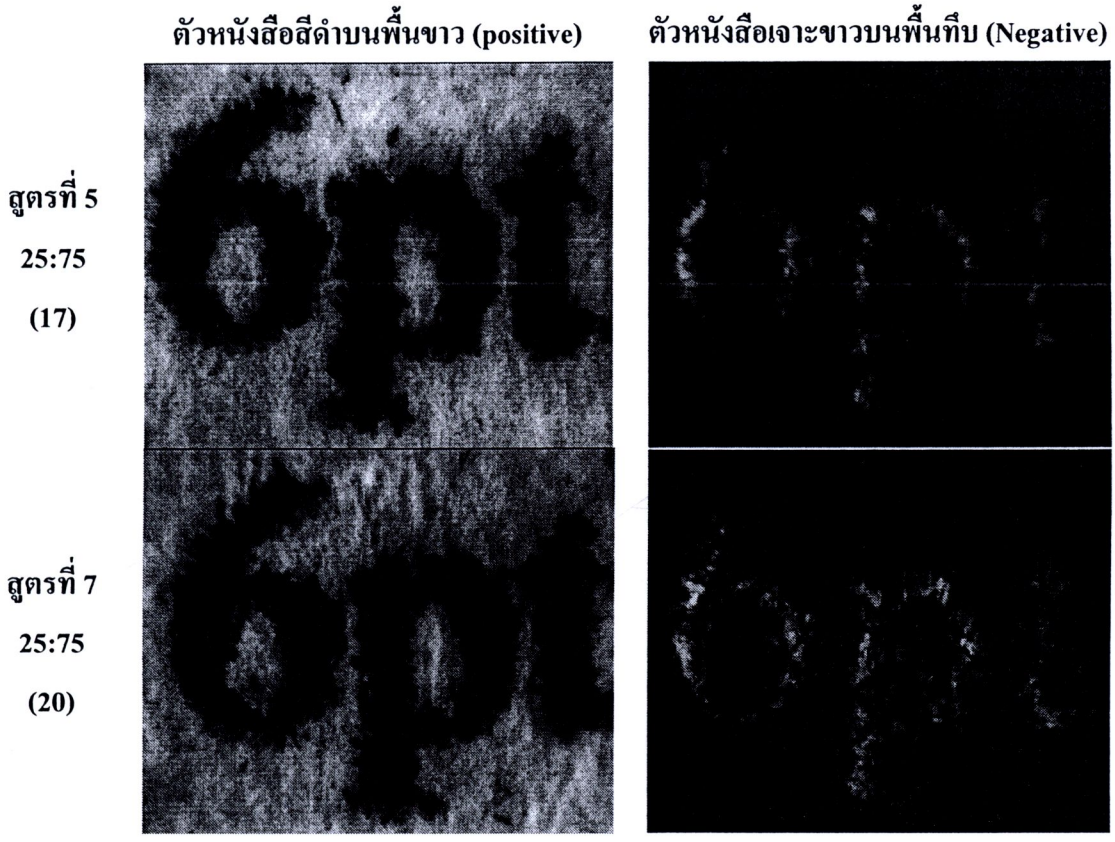
ตัวอักษรแบบเจาะขาวบนพื้นทึบ หรือแบบเนกาทีฟ ที่เล็กที่สุดที่กลุ่มตัวอย่างอ่านได้คือ ขนาด 6pt ในสูตรที่ 2 ส่วนสูตรสารเคลือบสูตรที่ 7 ผลิตตัวอักษรที่เล็กที่สุดที่มองเห็นได้ คือ ขนาด 10pt เนื่องจากสูตรนี้มีสัดส่วนของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มากกว่าซิลิกา หมึกพิมพ์จึงแผ่กระจายมากกว่าที่จะถูกดูดซึมไว้กับที่

ต่อไปเป็นการพิจารณาขนาดของตัวอักษรที่เล็กที่สุดที่สามารถผลิตได้หลังจากถ่ายภาพขยายตัวอักษรโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 35 เท่าขนาดของตัวหนังสือที่ถ่ายภาพขยายเลือกใช้ขนาด 6pt เนื่องจากสามารถมองเห็นได้ดีที่ตัวอักษรสีดำบนพื้นขาว และสามารถมองเห็นได้บ้างบนพื้นดำ และได้แบ่งกลุ่มภาพขยายโดยใช้อัตราส่วนของสารเคลือบเป็นหลัก ดังรูปที่ 4.29-4.32 ต่อไปนี้



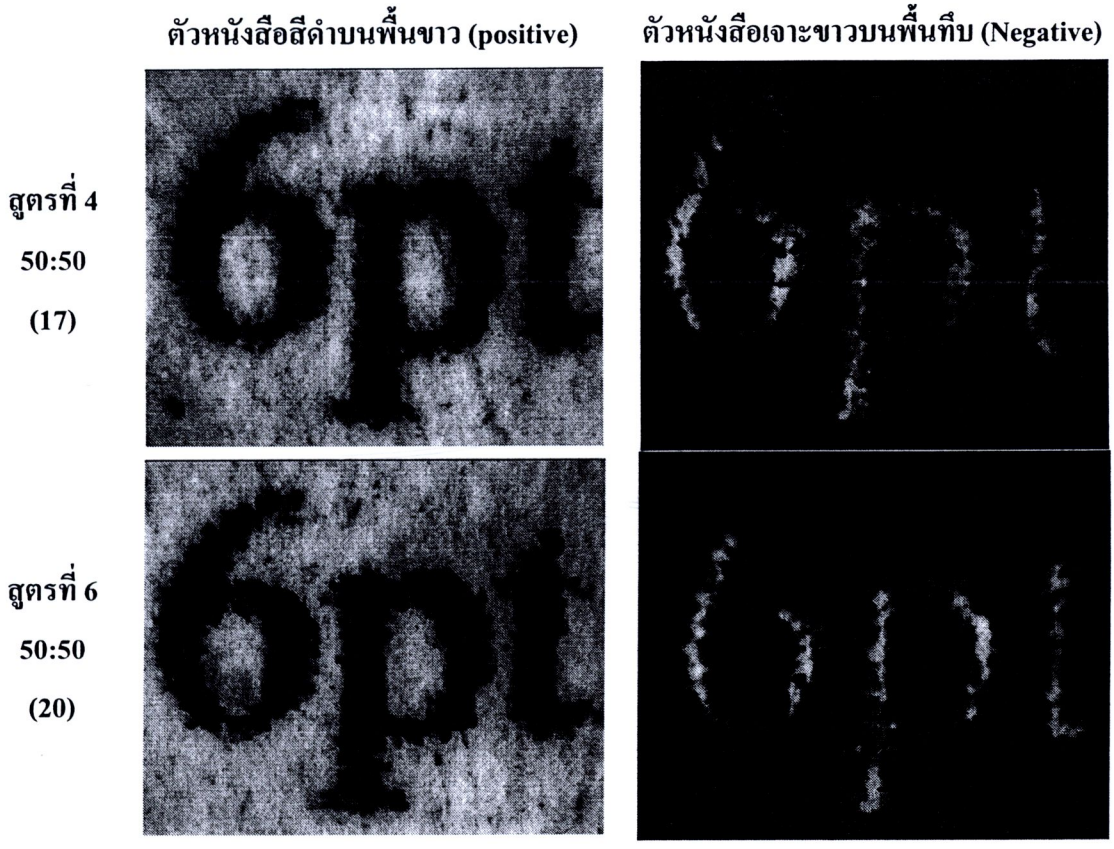
รูปที่ 4.29 ภาพขยาย 35 เท่า ของตัวอักษรพื้นขาว และพื้นดำ ที่มีซิลิกาต่อแคลเซียคาร์บอเนต ในอัตราส่วน 0:100 ร้อยละของแข็งที่ 20, 25 และ 30 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.29 เห็นได้ว่าเมื่อใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเพียงอย่างเดียวเคลือบบนผิวกระดาษตัวอักษรพอสิทีฟ และเนกาทีฟมีความคมชัดปานกลาง และตัวหนังสือดำบนพื้นขาวบวม ตัวหนังสือเจาะขาวตีบตันและขาดรายละเอียดที่บริเวณเส้นขนาดบาง เนื่องจากรูปร่างลักษณะของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีลักษณะแบนไม่มีรูพรุน ทำให้ดูดซับหมึกไม่ดีเท่าซิลิกา เมื่อได้รับหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ตที่เป็นฐานน้ำจึงเกิดการแผ่กระจายบนผิวสารเคลือบ จากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าสูตรที่ 10 ซึ่งมีร้อยละของแข็งมากกว่า มีความคมชัดของตัวหนังสือมากกว่าสูตรที่ 9 และ 8 ตามลำดับ เนื่องจากมีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตมากพอที่จะปิดช่องว่างของเยื่อกระดาษได้ทั้งหมด (ภาพถ่ายกระดาษเคลือบสารจาก SEM ในรูปที่ 4.12) หมึกพิมพ์จึงไม่แพร่กระจายไปตามเยื่อกระดาษ



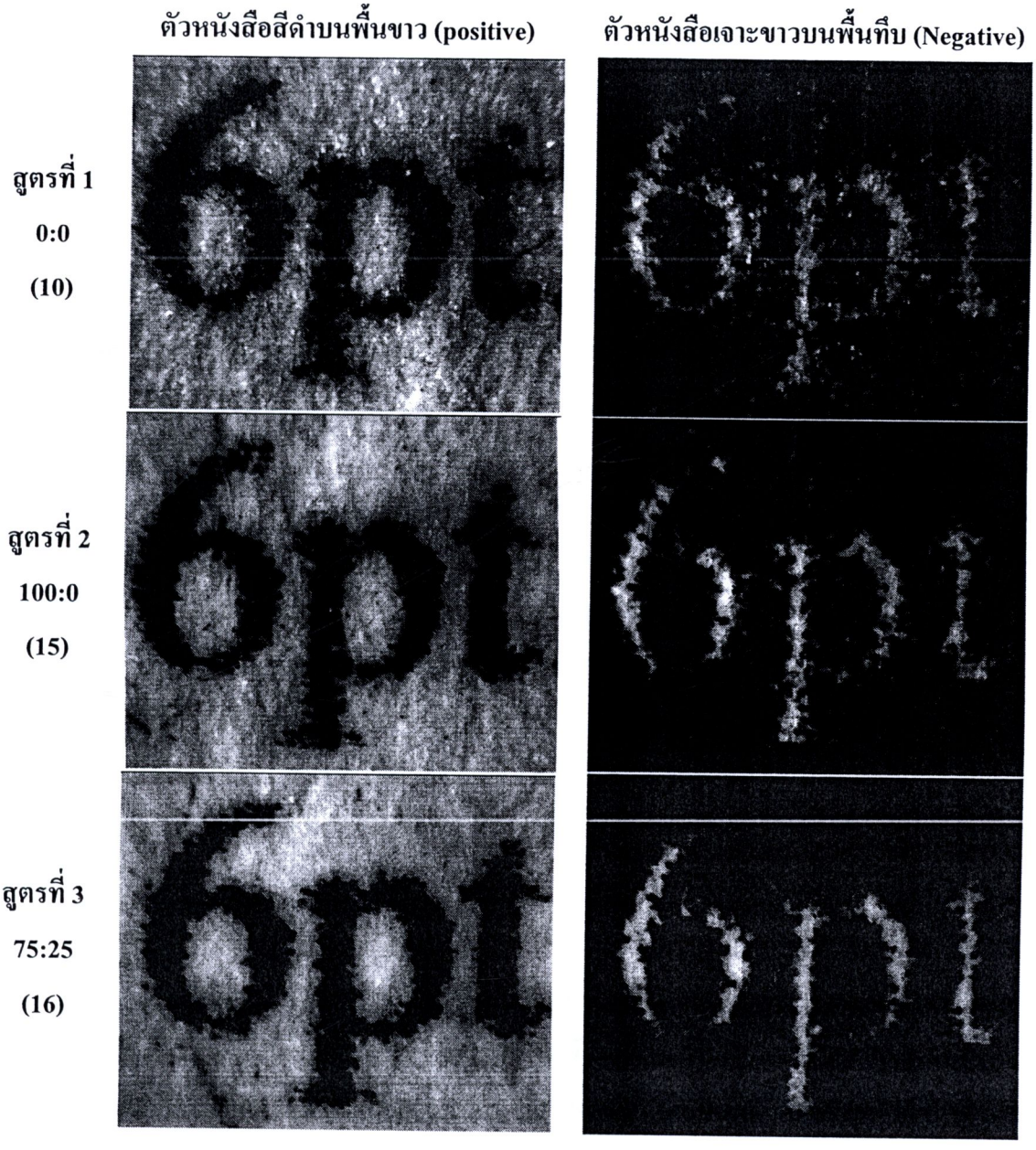
รูปที่ 4.30 ภาพขยาย 35 เท่าของตัวอักษรพื้นขาว และพื้นดำ ที่มีซิลิกาต่อแคลเซียมคาร์บอเนตในอัตราส่วน 25:75 ที่มีร้อยละของแข็ง 17 และ 20 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.30 เมื่อใช้แคลเซียมคาร์บอเนตผสมในสัดส่วนที่มากกว่า คือซิลิกา 25 ส่วนและแคลเซียมคาร์บอเนต 75 ส่วน จากภาพถ่ายขยายเห็นได้ว่า ตัวหนังสือสีดำบนพื้นขาว (พอสิทีฟ) บวมมาก และตัวหนังสือเจาะขาวขาดรายละเอียดมาก ถึงแม้จะมีสารซิลิกาที่มีคุณสมบัติการดูดซับเข้ามาเป็นส่วนผสม ก็ยังมีอัตราส่วนที่น้อยกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งดูดซับหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทไม่ดีเท่าซิลิกา จึงทำให้การมีการแผ่การกระจายตัวของหมึกพิมพ์มากขึ้น



รูปที่ 4.31 ภาพขยาย 35 เท่าของตัวอักษรพื้นขาว และพื้นดำ ที่มีซิลิกาต่อแคลเซียมคาร์บอเนต ในอัตราส่วน 50:50 ที่มีร้อยละของแข็ง 17 และ 20 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.31 ในอัตราส่วนของซิลิกาและแคลเซียมคาร์บอเนตเท่ากัน มีความคมชัดของตัวอักษรดีขึ้น ขึ้นเมื่อมีปริมาณร้อยละของแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีความหนาแน่นของสารเคลือบบนผิวกระดาษมากขึ้น หมึกพิมพ์จะถูกยึดไว้ที่ชั้นสารเคลือบโดยไม่แผ่กระจายมากนัก แต่ก็ยังเกิดการกระจายของหมึก โดยดูได้จากภาพตัวหนังสือเจาะขาว อย่างไรก็ตาม คุณภาพตัวหนังสือดีกว่าการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณมากกว่าซิลิกา



รูปที่ 4.32 ภาพขยาย 35 เท่าของตัวอักษรพื้นขาว และพื้นดำ ที่มีซิลิกาต่อแคลเซียมคาร์บอเนต ในอัตราส่วน 0:0 ร้อยละของแข็ง 10, อัตราส่วน 75:25 ร้อยละของแข็ง 16 และ อัตราส่วน 100:0 ร้อยละของแข็ง 15

จากรูปที่ 4.32 สูตรสารเคลือบที่ 1, 2 และ 3 ที่มีอัตราส่วนของซิลิกาและแคลเซียมคาร์บอเนต เป็น 0:0 100:0 และ 75:25 สามารถผลิตตัวอักษรแบบพอสิทีฟที่อ่านได้ด้วยตาเปล่า ขนาดเล็กที่สุด 6 พอยท์ และเนกาทีฟ ผลิตได้เล็กสุดที่ 8 พอยท์ ตัวอักษรมีความคมชัด ส่วนปลายของตัวอักษรมองเห็นได้ชัดขึ้น สามารถอธิบายได้ดังนี้

สูตรที่ 1 ใช้เฉพาะพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารเคลือบ สามารถยึดหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ตให้ติดอยู่บนผิวกระดาษได้ดี หมึกพิมพ์ไม่แผ่กระจายมากนักซึ่งตรงตามคุณสมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ว่าสารเคลือบที่ใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารยึดจะให้ความคมชัดต่องานพิมพ์ที่ดีเนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะดูดซึมหมึกพิมพ์ฐานน้ำในแนวดิ่งเข้าไปในชั้นสารเคลือบได้อย่างรวดเร็ว [11]

สูตรที่ 2 ใช้ซิลิกาเป็นสารสีในการผสมสารเคลือบ ร้อยละของแข็งที่ 15% สามารถรับหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ตได้ดี หมึกพิมพ์ไม่เกิดการแผ่กระจาย ตัวอักษรจึงไม่บวม ให้ความคมชัดต่องงานพิมพ์ดีใกล้เคียงกับสูตรที่ 1 แต่มีความเข้มของสีมากกว่า เนื่องจากคุณสมบัติของซิลิกาที่มีรูพรุนมากจึงรับหมึกพิมพ์ให้อยู่บนชั้นสารเคลือบไม่แผ่กระจายไปยังเนื้อเยื่อกระดาษ

สูตรที่ 3 สารเคลือบมีส่วนผสมของซิลิกาและแคลเซียมคาร์บอเนตในอัตราส่วน 75:25 ร้อยละของแข็งที่ 16% ความคมชัดของตัวอักษรใกล้เคียงกับสูตรที่ 2 คือตัวอักษรคมชัด หมึกพิมพ์ไม่แผ่กระจาย เนื่องจากการที่มีซิลิกาเป็นส่วนผสมจะช่วยในการรับ และดูดซับหมึกพิมพ์ฐานน้ำได้ดี และการที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเข้ามาเป็นสารสีร่วมในสัดส่วนที่น้อยกว่าก็จะส่งผลต่อคุณภาพงานพิมพ์ที่ดี หากเพิ่มสัดส่วนของแคลเซียมคาร์บอเนตมากขึ้นในอัตราส่วนที่เท่ากับซิลิกา หรือมากกว่าซิลิกา (รูปที่ 4.30 และ 4.31) จะทำให้ตัวหนังสือขาดความคมชัด ไม่เป็นผลดีต่อความคมชัดที่ต้องการ

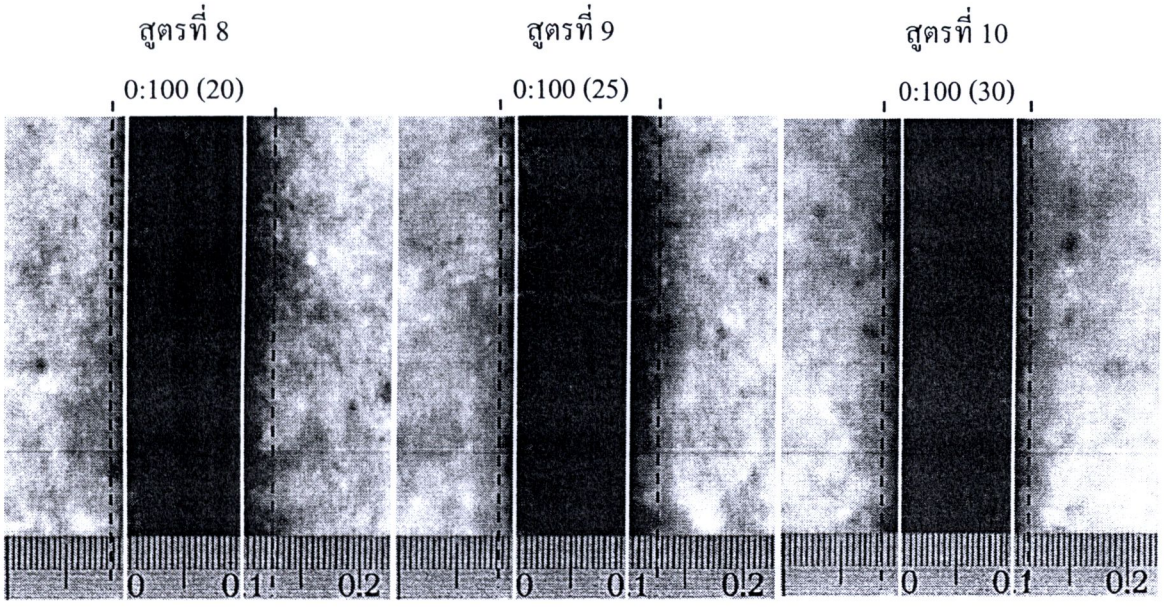
4.5.4 การซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์ (Color Bleeding)

โดยทั่วไปการพิจารณาการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์นิยมทำในบริเวณสีดำและสีเหลืองเนื่องจากเห็นได้ชัดเจน และมีความเปรียบต่างของสีสูง ในโครงงานวิจัยนี้พิจารณาบริเวณการซึมของเส้นสีดำเข้าไปในพื้นทึบสีเหลืองโดยใช้เครื่องถ่ายขยายจากกล้องจุลทรรศน์ ยี่ห้อ LEICA รุ่น EZ4 กำลังขยาย 35 เท่า ตำแหน่งสีดำอยู่ตรงกลางของสีเหลือง เป็นบริเวณที่ใช้พิจารณาการซึมเข้าไปในสีเหลือง ขนาดของแถบสีดำกว้าง 1 มิลลิเมตร ผลการคำนวณแสดงในตารางที่ 4.10 ซึ่งค่าตัวเลขสูงหมายความว่าหมึกซึมออกด้านข้างได้มากมีผลทำให้ภาพ หรือเส้นมีขนาดกว้างขึ้น

ตารางที่ 4.10 แสดงขนาดของเส้นที่ขยายขึ้น และร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์

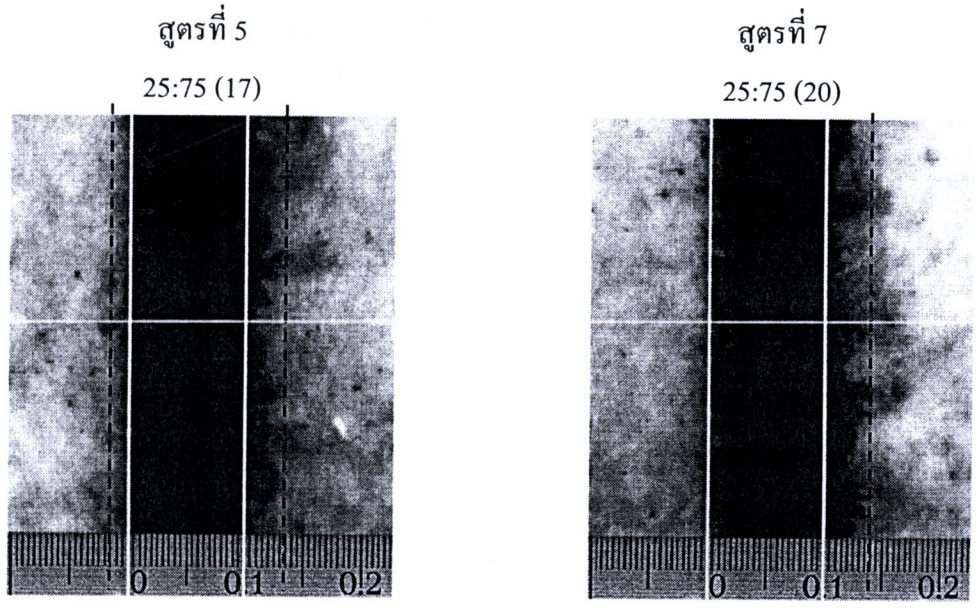
สูตร สารเคลือบ	ร้อยละของแข็ง	ซิลิกา : CaCO3	ขนาดเส้นที่เพิ่มขึ้น (มิลลิเมตร)	การซึมเข้าหากัน ของหมึกพิมพ์
1	10	0:0	0.25	25%
2	15	100:0	0.15	15%
3	16	72:25	0.20	20%
4	17	50:50	0.45	45%
5	17	25:75	0.50	50%
6	20	50:50	0.35	35%
7	20	25:75	0.40	40%
8	20	0:100	0.35	35%
9	25	0:100	0.35	35%
10	30	0:100	0.25	25%

ในรูปที่ 4.33-4.36 ต่อไปนี้ เป็นภาพขยายจากกล้องจุลทัศน์ กำลังขยาย 35 เท่า แสดงการซึมออกด้านข้างของหมึกสีดำบนกระดาษเคลือบผิวทั้ง 10 สูตร พบว่าเส้นสีดำบนกระดาษเคลือบผิวมีขนาดใกล้เคียงต้นฉบับ มีความคมชัดกว่ากระดาษปรู๊ฟไม่เคลือบผิวและกระดาษปรู๊ฟต่างประเทศ



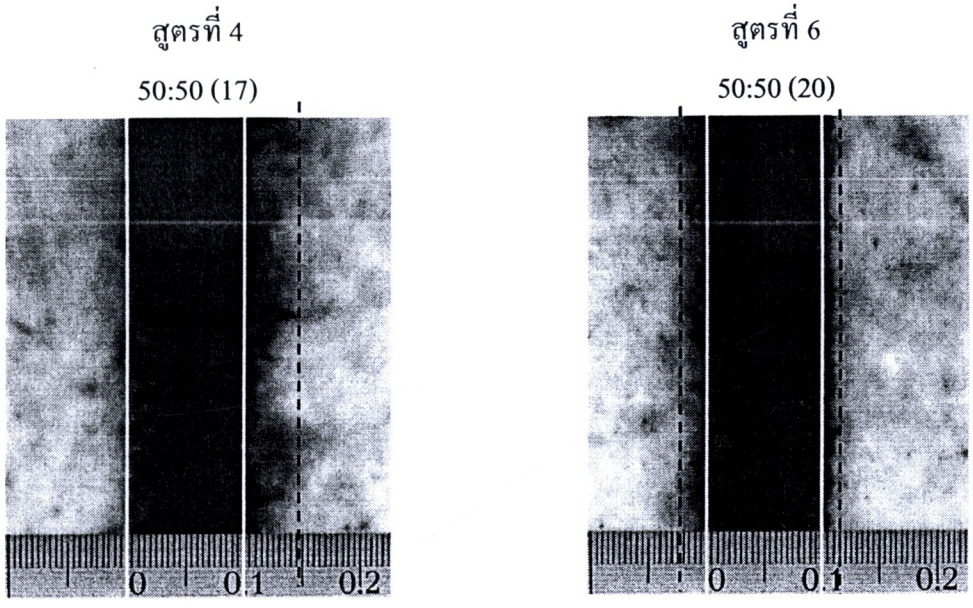
รูปที่ 4.33 ความกว้างของเส้นสีดำที่ซึมเข้าไปในสีเหลืองของกระดาษที่มีซิลิกาต่อแคลเซียมคาร์บอเนตเป็น 0:100 ที่ร้อยละของแข็งต่างกัน

จากรูปที่ 4.33 กระดาษที่เคลือบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตชนิดเดียวโดยไม่มีซิลิกาเป็นสารร่วม ทำให้เกิดการแผ่ขยายของหมึกพิมพ์ เนื่องจากรูปร่างของแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นแผ่น ผิวเรียบไม่มีรูพรุน หมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทที่พิมพ์ลงไปบนผิวกระดาษจึงไม่ถูดดูดซับเท่าที่ควร และเมื่อพิจารณาจากร้อยละของแข็งที่ 20, 25 และ 30 ตามลำดับ ปรากฏว่าสูตรสารเคลือบที่มีปริมาณของแข็งที่ 30 มีการแผ่ขยายของหมึกพิมพ์น้อยกว่าสองสูตรแรก เนื่องจากการใช้ปริมาณของแข็งที่มากขึ้นทำให้แคลเซียมคาร์บอเนตเข้าไปเคลือบบนผิวกระดาษเต็มพื้นที่มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับภาพถ่าย SEM ของสารเคลือบแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีปริมาณของแข็งที่ 20% และ 30% (รูปที่ 4.12-4.13) จะเห็นว่าการที่แคลเซียมคาร์บอเนตเข้าไปเคลือบบนผิวกระดาษไม่ทั่วพื้นผิว ทำให้หมึกพิมพ์ซึมลงไปตามเยื่อกระดาษ



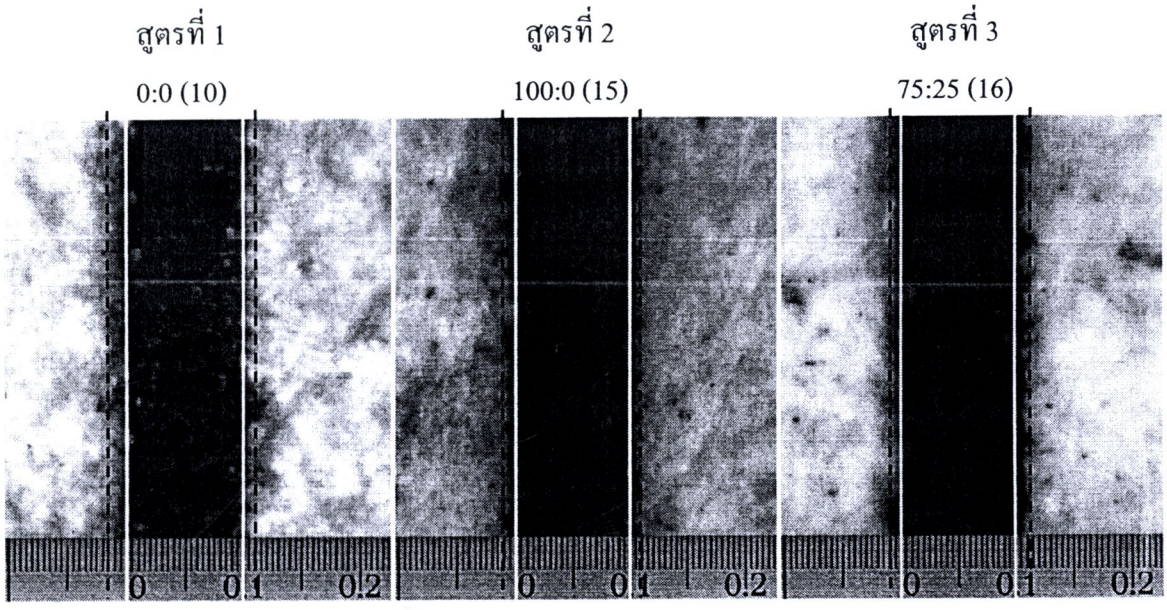
รูปที่ 4.34 ความกว้างของเส้นสีดำที่ซึมเข้าไปในสีเหลืองของกระดาษที่มีซิลิกาต่อแคลเซียมคาร์บอเนตในอัตราส่วน 25:75 ที่มีร้อยละของแข็ง 17 และ 20 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.34 การที่มีสัดส่วนของแคลเซียมคาร์บอเนตมากกว่าซิลิกา จะส่งผลต่อการกระจายตัวของหมึกพิมพ์ ซึ่งสูตรที่ 5 มีเปอร์เซ็นต์การซึมเข้าหากันของสี มากกว่าสูตรที่ 7 คือ 50% และ 40% ตามลำดับ เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตมีพื้นผิวเรียบไม่มีรูพรุนจึงไม่สามารถดูดซับหมึกพิมพ์ได้ดีเท่าซิลิกา อีกทั้งมีสัดส่วนที่มากกว่าซิลิกาจึงทำให้หมึกพิมพ์กระจายไปได้ทุกพื้นที่ แต่เมื่อมีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของสารก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งเป็นผลให้การกระจายตัวของหมึกพิมพ์ลดลงได้



รูปที่ 4.35 ความกว้างของเส้นสีดำที่ซึมเข้าไปในสีเหลืองของกระดาษที่มีซิลิกาต่อแคลเซียมคาร์บอเนตในอัตราส่วน 50:50 ที่มีร้อยละของแข็ง 17 และ 20 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.35 พบว่าเมื่อสัดส่วนของซิลิกา และแคลเซียมคาร์บอเนตเท่ากัน เปอร์เซ็นต์การซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์จะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.34 คือ สูตรที่ 4 มีการซึมเข้าหากันของสี 45% ส่วนสูตรที่ 6 มีการซึมเข้าหากันของสีลดลงอยู่ที่ 35% การที่เปอร์เซ็นต์การซึมของสีลดลงได้เนื่องจากปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีความหนาแน่นของสารมากขึ้นหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ตจึงกระจายตัวได้น้อยลง



รูปที่ 4.36 ความกว้างของเส้นสีดำที่ซึมเข้าไปในสีเหลืองของกระดาษที่มีซิลิกาต่อแคลเซียมคาร์บอเนตในอัตราส่วน 0:0 ร้อยละของแข็ง 10, อัตราส่วน 75:25 ร้อยละของแข็ง 16 และ อัตราส่วน 100:0 ร้อยละของแข็ง 15

รูปที่ 4.36 แสดงเปรียบเทียบการซึมเข้าหากันของสี (Color bleeding) ระหว่างสูตรที่ 1 สูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 ทั้งสามสูตรนี้ มีค่าการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์ที่ 25%, 15% และ 20% ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ของ Color bleeding ที่น้อยแสดงว่าการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์น้อย ซึ่งหมายความได้คุณภาพงานพิมพ์ที่ดี มีความคมชัดของเส้นดี จากรูปอธิบายได้ว่า

สูตรที่ 1 ใช้เฉพาะพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารเคลือบ ทำให้สามารถยึดหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ตให้ยึดอยู่บนผิวกระดาษได้ดี หมึกพิมพ์ไม่แผ่กระจายมากนัก แต่เนื่องจากสีเหลืองและสีดำในช่วง Highlight ของสูตรนี้มีการเกิดเม็ดสกรีนบวมมากกว่าสูตรที่ 2 และ 3 (จากรูปที่ 4.17-4.18 เมื่อเปรียบเทียบกัน) จึงส่งผลให้สีเหลืองและสีดำแผ่กระจายเข้าหากัน

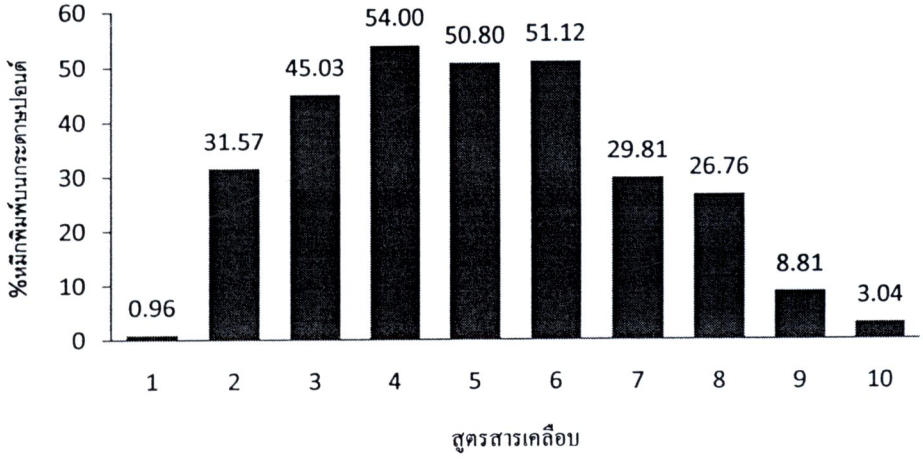
สูตรที่ 2 ใช้เฉพาะซิลิกาเป็นสารเคลือบ จึงไม่เกิดการซึมเข้าหากันของหมึก เนื่องจากคุณสมบัติของซิลิกาที่มีรูพรุนมากจึงรับหมึกพิมพ์ให้อยู่บนชั้นสารเคลือบไม่แผ่กระจายไปยังเนื้อเยื่อกระดาษ

สูตรที่ 3 สารเคลือบมีส่วนผสมของซิลิกาและแคลเซียมคาร์บอเนตในสัดส่วน 75:25 ได้เปอร์เซ็นต์การซึมเข้าหากันของสีใกล้เคียงกับสูตรที่ 2 หมึกพิมพ์ไม่แผ่กระจายมากนั้ก เนื่องจากการที่มีซิลิกาเป็น

ส่วนผสมจะช่วยในการรับ และดูดซับหมึกพิมพ์ฐานน้ำได้ดี และการที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเข้ามาเป็นสารสีร่วมในสัดส่วนที่น้อยกว่าก็จะส่งผลต่อคุณภาพงานพิมพ์ที่ดี

4.5.5 ความทนต่อการขัดถูของกระดาษเคลือบสาร (Rub Test)

การทดสอบการยึดติดของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ตบนกระดาษเคลือบที่ผลิตขึ้นเพื่อให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างสารสี สารยึดติด และปริมาณร้อยละของแข็งที่ใช้ในการผลิตสารเคลือบ ยิ่งมีปริมาณร้อยละของแข็งเพิ่มขึ้นหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ตที่อยู่บนผิวกระดาษเคลือบก็จะหลุดน้อยลง ดังแสดงในรูปที่ 4.37



รูปที่ 4.37 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของหมึกพิมพ์ที่หลุดจากกระดาษเคลือบ และติดบนกระดาษปอนด์หลังจากการทดสอบ Rub Test

จากการทดสอบการทนต่อการขัดถูด้วยเครื่อง Rub Test ดังแสดงในรูปที่ 4.37 แสดงให้เห็นว่ากระดาษเคลือบที่มีปริมาณของแข็งสูงซึ่งหมายถึงมีสารยึดติดที่มากขึ้นด้วย สามารถดูดซับหมึกพิมพ์ให้ติดบนผิวกระดาษเคลือบได้ดี จากกราฟ (รูปที่ 4.37) เปอร์เซ็นต์หมึกพิมพ์ที่หลุดและติดบนกระดาษปอนด์มากที่สุดคือสูตรที่ 4 และ 6 ซึ่งมีปริมาณของแข็ง 17% และ 20% ตามลำดับ และมีสัดส่วนซิลิกา ต่อ แคลเซียมคาร์บอเนต 50:50 เป็นผลมาจากสารสีที่มีปริมาณเท่ากันทำให้มีความหนาแน่นของปริมาณสารสีบนผิวกระดาษ ส่วนสูตรที่ 2 และ 3 ซึ่งมีสัดส่วนของซิลิกามากกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต สามารถยึดติดหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ตให้ติดบนผิวกระดาษได้ดีกว่าสูตรที่ 4 และ 5 แม้จะมีปริมาณของแข็งน้อยกว่า เนื่องจากซิลิกามีส่วนช่วยในการดูดซึมหมึกพิมพ์ลงบนชั้นสารเคลือบได้ดีนั่นเอง

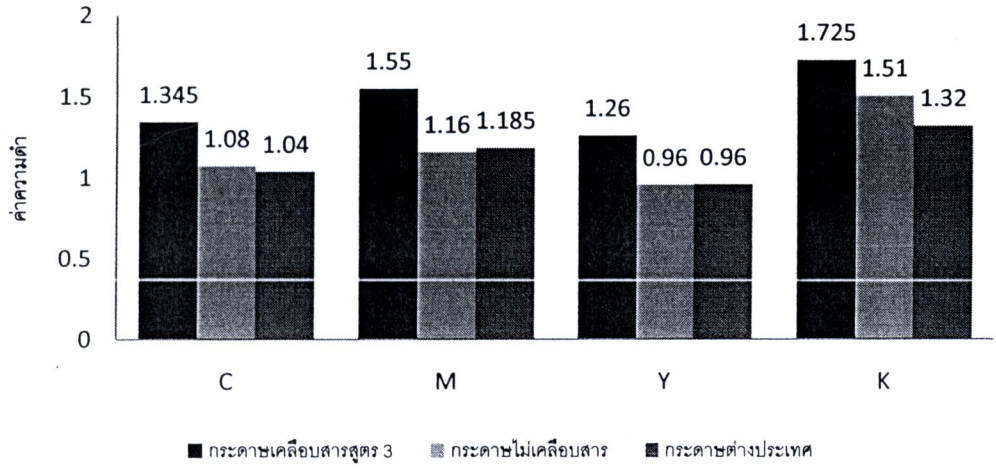
เมื่อพิจารณาสูตรที่ 1 ซึ่งมีเพียงพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารเคลือบในปริมาณร้อยละของแข็งที่ 10 จะทำให้หมึกพิมพ์ยึดติดบนผิวกระดาษได้ดีกว่าเนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะดูดซึมน้ำหมึกพิมพ์

ฐานน้ำเข้าไปในชั้นสารเคลือบได้อย่างรวดเร็ว การดูดซึมหมึกได้อย่างรวดเร็วนี้ทำให้สามารถลดการเกิดเป็นรอยจ้ำของหมึก (Mottle) และการซึมเข้าหากันของหมึก (Bleeding) ลงได้

4.6 เปรียบเทียบคุณสมบัติงานพิมพ์

เลือกสูตรที่ให้คุณสมบัติด้านงานพิมพ์ที่ดีมาเปรียบเทียบกับกระดาษปรู๊ฟไม่เคลือบสาร และกระดาษปรู๊ฟต่างประเทศ โดยเปรียบเทียบในเรื่องค่าความดำของหมึกพิมพ์ การเกิดเม็ดสกรีนบวม ความคมชัดของตัวอักษร และการซึมเข้าหากันของสีหมึกพิมพ์

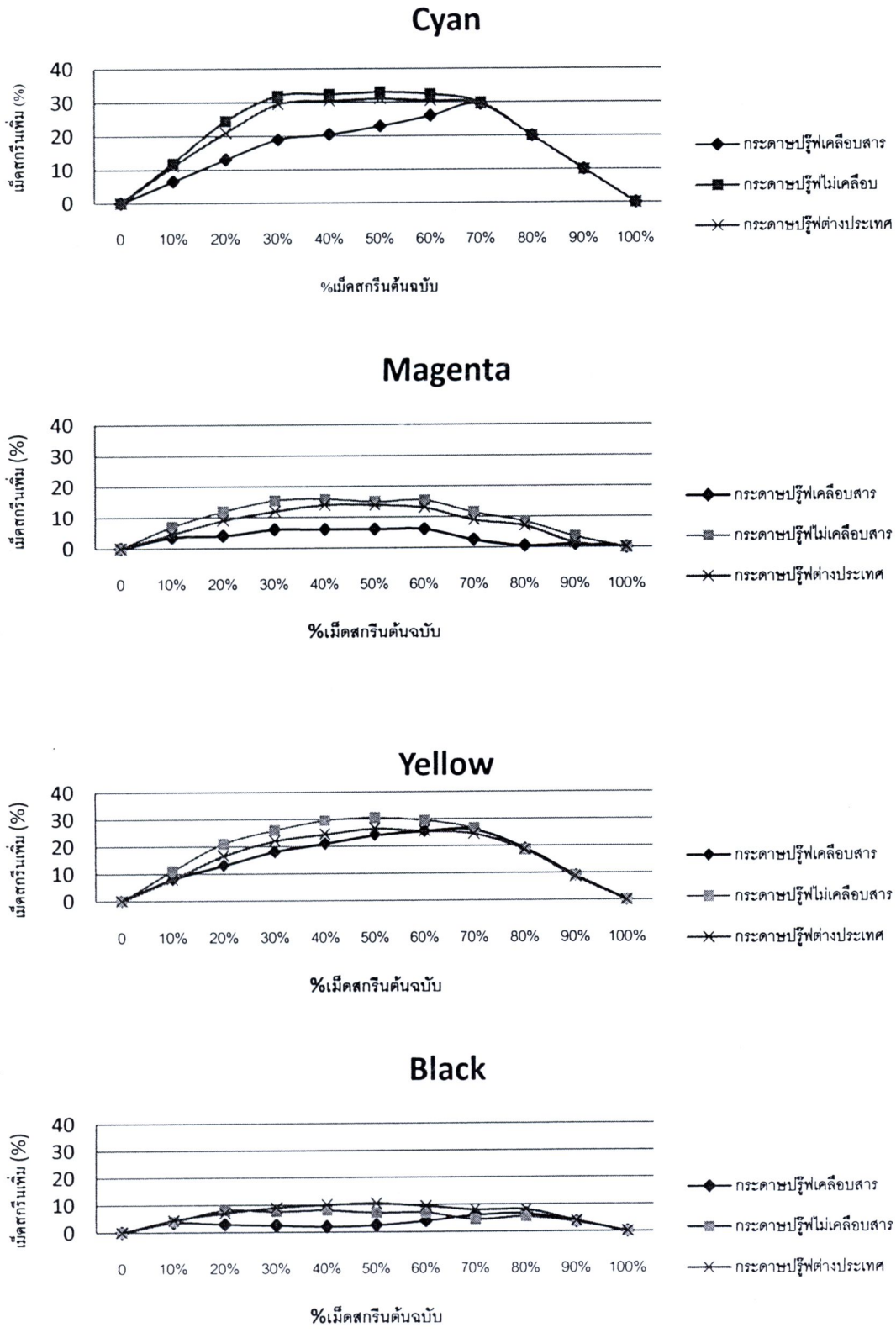
4.6.1 เปรียบเทียบค่าความดำพื้นทึบ



รูปที่ 4.38 เปรียบเทียบค่าความดำพื้นทึบของหมึกพิมพ์ (Ink Density) ระหว่างกระดาษปรู๊ฟเคลือบสารสูตรที่ 3 กับกระดาษปรู๊ฟไม่เคลือบสาร และกระดาษปรู๊ฟต่างประเทศ

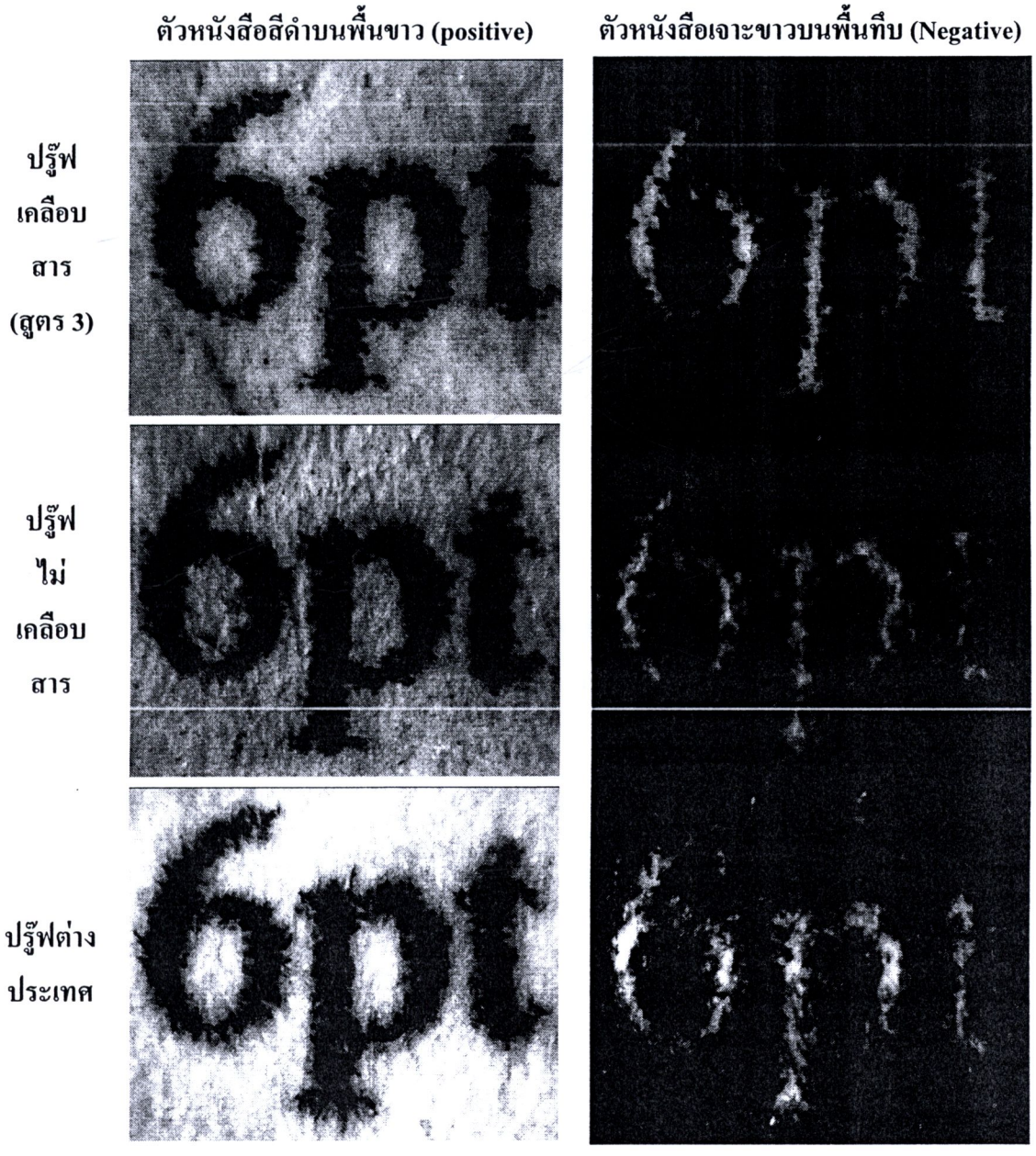
ผลการเปรียบเทียบค่าความดำพื้นทึบ เห็นได้ว่ากระดาษเคลือบสารสูตรที่ 3 ให้ค่าความดำพื้นทึบของทุกสีสูงกว่ากระดาษไม่เคลือบสาร และกระดาษจากต่างประเทศ ทำให้ได้สีสันที่สดขึ้น เนื่องจากสารเคลือบที่ได้ทำการทดลองหาสัดส่วนที่เหมาะสม มีผลต่อสีสันของงานพิมพ์

4.6.2 เปรียบเทียบการเกิดเม็ดสกรีนบวม



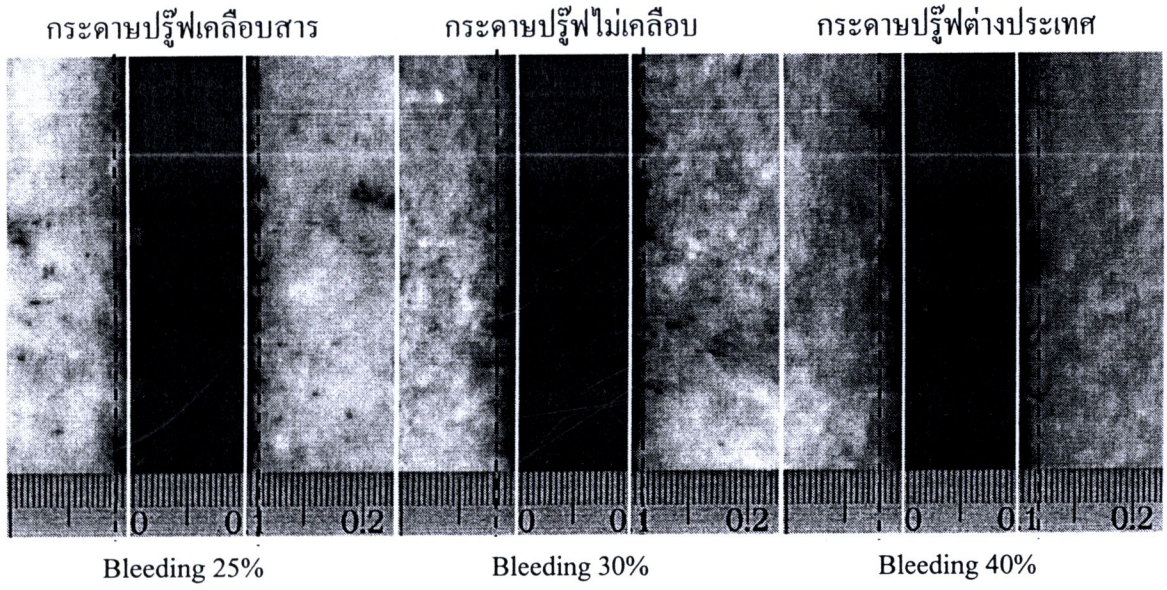
รูปที่ 4.39 เปรียบเทียบการเกิดเม็ดสกรีนบวม (Dot gain) ของสี C M Y K ระหว่างกระดาษปรู๊ฟเคลือบสารกับกระดาษปรู๊ฟไม่เคลือบสาร และกระดาษปรู๊ฟต่างประเทศ

4.6.3 เปรียบเทียบความคมชัดตัวอักษร



รูปที่ 4.40 เปรียบเทียบความคมชัดของตัวอักษรระหว่างกระดาษปรู๊ฟเคลือบสารสูตรที่ 3 กับกระดาษปรู๊ฟไม่เคลือบสาร และกระดาษปรู๊ฟต่างประเทศ

4.6.4 เปรียบเทียบการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์



รูปที่ 4.41 เปรียบเทียบความกว้างของเส้นสีดำที่ซึมเข้าไปในสีเหลือง ระหว่างกระดาษปรู๊ฟเคลือบสารสูตรที่ 3 กับกระดาษปรู๊ฟไม่เคลือบสาร และกระดาษปรู๊ฟต่างประเทศ