บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

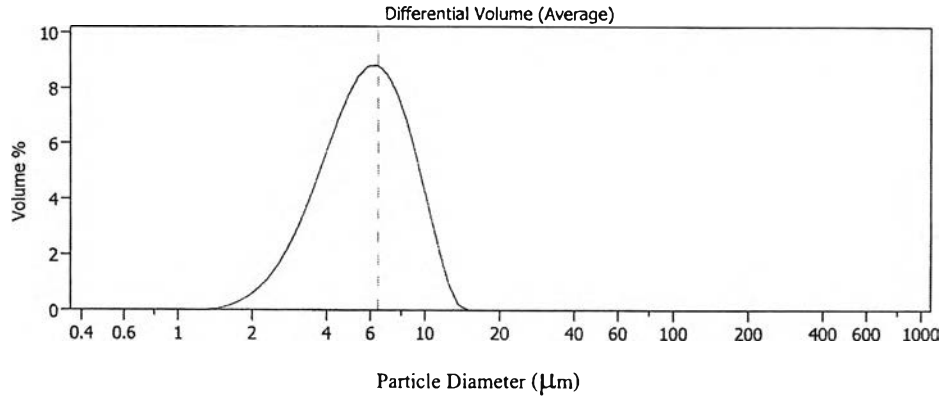
สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1 การเตรียมซิลิกาจากขี้เถ้าแกลบและวิเคราะห์สมบัติของซิลิกา

จากการเตรียมซิลิกาจากขี้เถ้าแกลบโดยผ่านการเป็นโซเดียมซิลิเกต ด้วยการรีฟลักซ์กับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ดังแสดงในหัวข้อที่ 3.2.1และนำซิลิกานี้ไปวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ได้ผลดังนี้

4.1.1 สมบัติของซิลิกาจากขี้เถ้าแกลบ

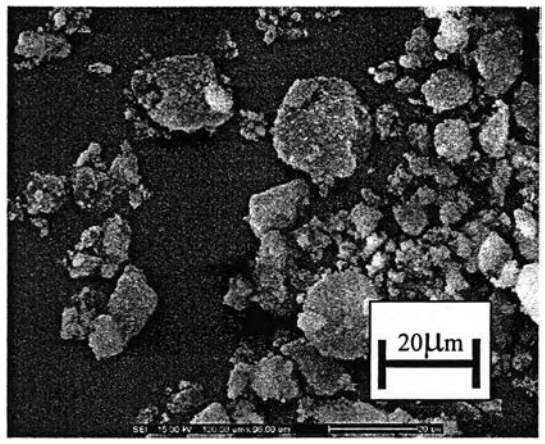
- การกระจายตัวของขนาดอนุภาค



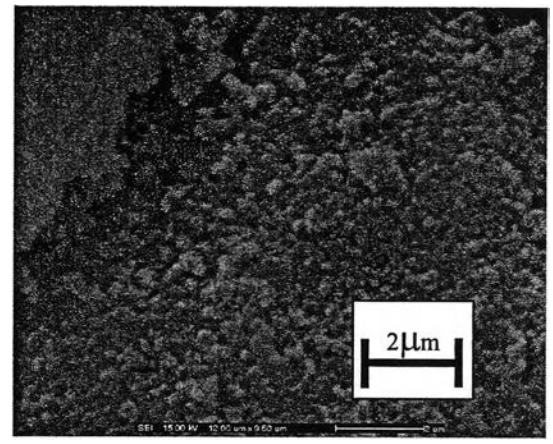
รูปที่ 4.1 ขนาดของอนุภาคซิลิกาที่ผลิตได้จากขี้เถ้าแกลบ

ขนาดอนุภาคซิลิกาที่ผลิตได้จากขี้เถ้าแกลบ ตามวิธีการที่แสดงในหัวข้อ 3.2.1 อยู่ในช่วง 1.5-15 μm และผลจากการวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาคพบว่า โดยเฉลี่ยมีอนุภาคขนาด 6.452 μm ซึ่งเป็นปริมาณที่มากที่สุด คือ ร้อยละ 8.811 โดยปริมาตร ดังแสดงในรูปที่ 4.1

- พื้นที่ผิวจำเพาะ มีค่า 90 ± 0.39 m^2/g
- รูปร่างของอนุภาคซิลิกา เมื่อดูด้วยวิธี SEM



รูปที่ 4.2 ภาพถ่าย SEM ของซิลิกาที่ผลิตจากขี้เถ้าแกลบ (กำลังขยาย 1000 เท่า)



รูปที่ 4.3 ภาพถ่าย SEM ของซิลิกาที่ผลิตจากขี้เถ้าแกลบ (กำลังขยาย 10000 เท่า)

จากรูปที่ 4.2 และ 4.3 พบว่าอนุภาคซิลิกาจากขี้เถ้าแกลบที่ผลิตได้มีรูปร่างค่อนข้างกลมและบริเวณพื้นผิวของซิลิกามีความขรุขระเนื่องจากรูพรุน

- เส้นผ่าศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ย คือ 39.31 nm ซึ่งถือว่าเป็นรูพรุนระดับมีโซ
- ปริมาตรรูพรุน 0.556 ml/g
- ความขาวสว่าง 101.8
- ความขาว 127.3
- CIEL*a*b* เมื่อวัดที่ D65/2° มีค่า L*= 98.63 a*= -0.07 b*= 0.50

4.2 การสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากชานอ้อยและสมบัติของซีเอ็มซี

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากชานอ้อยที่ผลิตได้จากหัวข้อที่ 3.2.2 ด้วยวิธี Solvent process มีสมบัติดังนี้

4.2.1 สมบัติของเยื่อเซลลูโลสจากชานอ้อย

- ลักษณะของเยื่อเซลลูโลสที่เตรียมได้ เมื่อผ่านการฟอกและบดแล้วจะมีลักษณะเป็นเยื่อละเอียด สีขาว ฟู และมีน้ำหนักเบา
- ปริมาณแอลฟา-เซลลูโลส ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในเยื่อที่ฟอกแล้ว ภายหลังการทำ Alkali boiling โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 30 g/l มีค่าร้อยละ 85.21 ซึ่งมีค่าสูงสามารถนำเยื่อจากชานอ้อยมาใช้เตรียมซีเอ็มซีได้

4.2.2 สมบัติของซีเอ็มซีจากชานอ้อย

เมื่อนำเยื่อเซลลูโลสที่ฟอกแล้วมาทำการสังเคราะห์ซีเอ็มซีด้วยวิธี Solvent process แล้วจึงทำการตรวจสอบสมบัติของซีเอ็มซีจากชานอ้อย ดังตารางที่ 4.1 พบว่าซีเอ็มซีจากชานอ้อยมีสีเหลืองอ่อนส่งผลให้สารละลายซีเอ็มซีที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 มีสีเหลือง สำหรับความบริสุทธิ์ของซีเอ็มซีมีค่าสูงถึงร้อยละ 88 และค่า D.S. ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการละลายน้ำมีค่า 0.67 แสดงว่าซีเอ็มซีจากชานอ้อยนี้สามารถละลายน้ำได้ (ซีเอ็มซีที่ใช้งานทั่วไปควรมีค่า D.S. อยู่ในช่วง 0.45-1.40 ดังตารางที่ 2.1) และเพื่อตรวจสอบความสามารถนี้จึงได้นำซีเอ็มซีที่ได้ไปละลายน้ำพบว่าสามารถละลายได้เกือบหมด เหลือตะกอนเพียงเล็กน้อยและเนื่องจากกระบวนการเตรียมซีเอ็มซีจากชานอ้อยนี้มีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้สารละลายที่ได้มีสีเหลือง ใส และมีค่าความหนืดปรากฏที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 เมื่อวัดด้วย Brookfield เข็มเบอร์ 31 ที่อุณหภูมิ 25±1°C เป็น 64.5 mPa.s และค่าความเป็นกรด-เบสเป็น 10 เมื่อเทียบกับซีเอ็มซีทางการค้าชื่อ NIKLACELL CH5F พบว่าสามารถละลายน้ำได้และเหลือตะกอนเล็กน้อย สารละลายไม่มีสี มีค่าความหนืดที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 ซึ่งต่ำกว่าซีเอ็มซีจากชานอ้อย คือ 7.5 mPa.s และค่ากรด-เบสเป็น 10

ตารางที่ 4.1 สมบัติของซีเอ็มซีจากชานอ้อย

สมบัติของซีเอ็มซีจากชานอ้อย	
ลักษณะทางกายภาพ	เป็นผงละเอียด มีสีเหลืองอ่อน
ร้อยละความชื้น	10.08
ความหนืดปรากฏที่ความเข้มข้นร้อยละ 2*	64.5 mPa.s
D.S.	0.67
ร้อยละความบริสุทธิ์	88
ค่า pH	10

หมายเหตุ *วัดด้วย Brookfield เข็มเบอร์ 31 ความเร็ว 20 RPM อุณหภูมิ 25±1°C

4.3 ขั้นตอนการเตรียมสารเคลือบ

4.3.1 การเตรียมสารเคลือบโดยใช้ซิลิกาและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

จากการทดลองทำการเตรียมสารเคลือบที่มีของแข็งร้อยละ 15-17 ที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:30 100:35 100:40 100:45 100:50 และสารเคลือบที่มีของแข็งร้อยละ 13-19 ที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:40 โดยเตรียมสูตรละ 50 ml ตามหัวข้อที่ 3.2.3.1 แล้ววัดค่าความหนืดและความเป็นกรด-เบสพบว่า

ตารางที่ 4.2 สมบัติของสารเคลือบที่มีซิลิกาและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในสัดส่วนต่าง ๆ

ร้อยละของแข็ง	SiO_2 : PVOH (สัดส่วนโดยน้ำหนัก)	%Torque	ความหนืด (mPa.s)*	อุณหภูมิ (°C)	ความเป็นกรด-เบส
13	100 : 40	10.9	163	25.0	10.3
15	100 : 40	15.1	226	25.1	10.3
16	100 : 40	16.6	249	24.9	10.3
17	100 : 40	40.3	604	25.0	10.3
18	100 : 40	37.5	562	25.0	10.3
19	100 : 40	52.2	787	25.1	10.3
15	100 : 25	19.4	291	25.1	10.3
15	100 : 30	11.6	174	25.0	10.3
15	100 : 35	14.6	220	24.9	10.3
15	100 : 40	15.1	226	25.1	10.3
15	100 : 45	16.2	243	25.1	10.3
15	100 : 50	17.0	255	25.1	10.3
16	100 : 30	16.1	192	24.9	10.3
16	100 : 35	21.8	327	25.2	10.3
16	100 : 40	16.6	249	24.9	10.3
16	100 : 45	27.0	405	25.1	10.3
16	100 : 50	35.7	535	25.1	10.3
17	100 : 30	21.5	322	25.1	10.3
17	100 : 35	27.2	402	25.1	10.3
17	100 : 40	40.1	601	25.1	10.3
17	100 : 45	42.3	634	25.3	10.3
17	100 : 50	46.8	702	25.1	10.3

หมายเหตุ*วัดด้วย Brookfield เข็มเบอร์ 31 ความเร็วรอบ 20 RPM อุณหภูมิ 25±1 °C

จากตารางที่ 4.2 แสดงค่าความหนืดของสารเคลือบที่มีซิลิกาและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นส่วนประกอบ พบว่าเมื่อร้อยละของแข็งเพิ่มขึ้นจาก 13 ถึง 19 โดยที่สัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีค่าคงที่ ค่าความหนืดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับและเมื่อพิจารณาที่ร้อยละของแข็งเท่ากันแต่เปลี่ยนสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:25 100:30 100:35 100:40 100:45 และ 100:50 แนวโน้มความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้เพราะว่าสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และซิลิกาที่ผสมกับน้ำมีลักษณะการไหลแบบนอน-นิวโตเนียน คือ เมื่อเพิ่มปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และ/หรือ ปริมาณซิลิกา ค่าความหนืดจะมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับค่าความเป็นกรด-เบสของสารเคลือบทุกสูตรไม่ว่าจะเปลี่ยนสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์หรือเปลี่ยนร้อยละของแข็ง ค่ากรด-เบสก็มีค่าคงที่ คือ 10.3

เมื่อทำการเตรียมสารเคลือบครบแล้ว จึงนำไปเคลือบบนกระดาษซึ่งมีสมบัติดังต่อไปนี้ น้ำหนัก 80 g/m^2 มีความเรียบ 26.4 วินาที ความขาวสว่างเท่ากับ 85.9 และความขาวเท่ากับ 112.3 และให้เวลาในการไหลผ่านของอากาศเป็น 98 (X 0.1) วินาที และค่าสี CIEL*a*b* (D65/2°) คือ L*= 92.15 a*= 1.99 b*= - 3.87 ด้วยแท่งขดลวดเคลือบผิว (Wire bar) ที่ให้ชั้นฟิล์มขณะเปียก 100 μm ทำให้ทราบถึงข้อจำกัดของสารเคลือบผิวในการใช้แท่งขดลวดเคลือบผิว นั่นคือ ค่าความหนืดของสารเคลือบผิวควรอยู่ในช่วง 100-700 mPa.s เนื่องจาก ที่ความหนืดสูงจะทำให้เกิดร่องของขดลวดบนชั้นเคลือบผิวขณะแห้งซึ่งส่งผลต่อคุณภาพงานพิมพ์ของกระดาษ นั่นคือ สารเคลือบที่มีร้อยละของแข็ง 19 และมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:40 เป็นสารเคลือบที่มีความหนืดมากกว่า 700 mPa.s ซึ่งไม่เหมาะสมกับการเคลือบด้วยแท่งโลหะเคลือบผิว ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงไม่เตรียมสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งมากกว่า 20 ขึ้นไป

ก่อนที่จะทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป ต้องทำการทดสอบคุณภาพงานพิมพ์เบื้องต้นของกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบดังตารางที่ 4.2 ก่อนเพื่อหาสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมในการเตรียมสารเคลือบครั้งต่อไป

4.3.2 การเตรียมสารเคลือบโดยใช้ซิลิกา พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และซีเอ็มซีทางการค้า

หลังจากการเตรียมสารเคลือบโดยใช้ซิลิกาและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์แล้วพบว่า ควรเตรียมสารเคลือบที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:30 เพราะให้ค่าความหนืดที่เหมาะสม คือ อยู่ในช่วง 100-700 mPa.s และให้คุณภาพงานพิมพ์ที่ดีกว่าสารเคลือบที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:35 100:40 100:45 และ 100:50 ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงทำการเตรียมสารเคลือบที่มีของแข็งร้อยละ 15 ถึง 19 สัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 (อุตสาหกรรมผลิตสารเคลือบผิวกระดาษพิมพ์อิงก์เจ็ตกำหนดว่าควรใช้ซีเอ็มซี 1-2 ส่วนโดยน้ำหนัก) จากนั้นวัดความหนืดของสารเคลือบและค่ากรด-เบส

ตารางที่ 4.3 สมบัติของสารเคลือบที่มีซิลิกา พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และซีเอ็มซีทางการค้าเป็นส่วนประกอบที่มีร้อยละของแข็งเท่ากับ 15-19

ร้อยละของแข็ง	SiO_2 : PVOH : CMC (สัดส่วนโดยน้ำหนัก)	%Torque	ความหนืด (mPa.s)*	อุณหภูมิ (°C)	ความเป็นกรด-เบส
15	100:30:2	10.4	156	25.0	10.3
16	100:30:2	17.0	255	25.0	10.3
17	100:30:2	25.6	384	25.1	10.3
18	100:30:2	20.5	307	25.1	10.3
19	100:30:2	32.5	487	25.0	10.3

หมายเหตุ*วัดด้วย Brookfield เข็มเบอร์ 31 ความเร็วรอบ 20 RPM อุณหภูมิ 25±1 °C

จากตารางที่ 4.3 แสดงค่าความหนืดและค่าความเป็นกรด-เบสของสารเคลือบที่มีซิลิกา พอลิไวนิลแอลกอฮออล์และซีเอ็มซีทางการค้าเป็นส่วนประกอบ พบว่าเมื่อทำการเพิ่มซีเอ็มซีเข้าไป 2 ส่วนโดยน้ำหนัก ค่าความหนืดจะเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสารเคลือบที่ไม่ใส่ซีเอ็มซี (ดังตารางที่ 4.2) ที่มีร้อยละของแข็งและสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100 : 30 เท่ากัน และสารเคลือบที่เตรียมได้นี้มีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 156-487 mPa.s ซึ่งสามารถนำไปเคลือบลงบนกระดาษด้วยแท่งขดลวดเคลือบผิวได้โดยไม่เกิดรอยของขดลวด ขณะที่ความเป็นกรด-เบสของสารเคลือบมีค่า 10.3 เท่ากับสารเคลือบผิวที่ไม่มีซีเอ็มซีเป็นส่วนประกอบ

ตารางที่ 4.4 ความหนืดที่แรงเฉือนสูงและความสามารถในการอุ้มน้ำของสารเคลือบที่มีซิลิกาเป็นพิกเม้นท์ PVOH เป็นสารยึดและซีเอ็มซีเป็นสารยึดร่วม ในสัดส่วนต่าง ๆ ที่มีร้อยละของแข็งเท่ากับ 15

ร้อยละของแข็ง	SiO_2 :PVOH : CMC (สัดส่วนโดยน้ำหนัก)	ค่า Hi-shear (mPa.s)*	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (g/m^2)
15	100:30:0	40.7	1717.50
15	100:40:0	54.9	1962.50
15	100:50:0	68.3	566.25
15	100:20:10[c]	43.2	396.25

หมายเหตุ*วัดด้วย HERCULES เข็ม Bob:E ความเร็วรอบสูงสุด 4,500 RPM อุณหภูมิ 25±1 °C

โดยที่ c คือสารเคลือบที่ใช้ซีเอ็มซีทางการค้า

จากตารางที่ 4.4 ค่าความหนืดที่แรงเฉือนสูงของสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งเท่ากับ 15 และมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:30 ให้ค่าต่ำที่สุด คือ 40.7 แสดงว่าความหนืดไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงตามแรงเฉือน สำหรับค่าความสามารถในการอุ้มน้ำนั้นปกติค่าไม่ควรเกิน 100 เพราะค่าที่ต่ำนั้น แสดงให้เห็นว่าสารเคลือบสามารถรักษาน้ำไว้ได้ดี ส่งผลให้ยึดติดพิกเม้นท์ไว้บนผิวได้ดี จากการทดสอบความสามารถในการอุ้มน้ำพบว่าการเพิ่มสัดส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 50 ส่วน ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำมีค่า 566.25 ซึ่งต่ำกว่าสารเคลือบที่มีพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 30 ส่วน (1717.50 g/m^2) และ 40 ส่วน (1962.50 g/m^2) ทำให้พิกเม้นท์ยึดติดบนผิวกระดาษได้ดีขึ้นและเมื่อใส่ซีเอ็มซีทางการค้าลงไปในสารเคลือบผิว โดยมีสูตรสารเคลือบที่มีของแข็งร้อยละ 15 ที่มีซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:20:10 พบว่าความสามารถในการอุ้มน้ำมีค่า 396.25 g/m^2 ซึ่งน่าจะมีค่าน้อยกว่าสารเคลือบที่มีของแข็งร้อยละ 15 ที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:20 แสดงว่าซีเอ็มซีทำให้พิกเม้นท์ยึดติดบนกระดาษดีขึ้น เนื่องจากมีสมบัติในการลดปรากฏการณ์ Binder migration ของสารเคลือบบนกระดาษ แต่ความจริงเราพบว่ายังเกิดปัญหาเรื่องฝุ่นของซิลิกาและการยึดติดของสารเคลือบอยู่เมื่อใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อกว่า 40 ส่วนโดยน้ำหนัก อาจเป็นเพราะพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ใช้มีความแข็งแรงในการยึดติดต่ำ

4.3.3 การเตรียมสารเคลือบโดยใช้ซิลิกา พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และซีเอ็มซีจากชานอ้อย

ขั้นตอนต่อไปคือ การเตรียมสารเคลือบที่มีซีเอ็มซีจากชานอ้อยเป็นส่วนประกอบ โดยกำหนดให้ร้อยละของแข็งและสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเท่ากับตารางที่ 4.3 คือมีร้อยละของแข็งเท่ากับ 15-19 และมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 แล้ววัดความหนืดและความเป็นกรด-เบส

ตารางที่ 4.5 สมบัติของสารเคลือบที่มีซิลิกา พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และซีเอ็มซีจากชานอ้อยเป็นส่วนประกอบในสัดส่วน 100:30:2 ที่มีร้อยละของแข็งเท่ากับ 15-19

ร้อยละของแข็ง	SiO_2 : PVOH : CMC (สัดส่วนโดยน้ำหนัก)	%Torque	ความหนืด (mPa.s)*	อุณหภูมิ (°C)	ความเป็นกรด-เบส
15	100:30:2	14.4	216	25.1	10.3
16	100:30:2	17.7	265	25.1	10.3
17	100:30:2	7.2	108	25.1	10.3
18	100:30:2	24.6	369	25.1	10.3
19	100:30:2	33.7	505	25.0	10.3

หมายเหตุ*วัดด้วย Brookfield เข็มเบอร์ 31 ความเร็ว 20 RPM อุณหภูมิ 25±1 °C

จากตารางที่ 4.5 แสดงค่าความหนืดและค่าความเป็นกรด-เบสของสารเคลือบที่มีซิลิกา พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และซีเอ็มซีจากชานอ้อยเป็นส่วนประกอบ พบว่าค่าความหนืดของสารเคลือบที่มีซีเอ็มซีจากชานอ้อยเป็นส่วนประกอบมีความหนืดอยู่ในช่วง 216-505 mPa.s ซึ่งมีค่ามากกว่าสารเคลือบที่มีซีเอ็มซีจากทางการค้าเป็นส่วนประกอบซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 156-487 mPa.s เมื่อเทียบที่ร้อยละของแข็งและสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 เท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายซีเอ็มซีจากชานอ้อยมีความหนืดมากกว่าซีเอ็มซีทางการค้า ดังนั้นการใส่ซีเอ็มซีลงไปในสารเคลือบปริมาณ 2 ส่วนเท่ากันจะทำให้สารเคลือบที่มีซีเอ็มซีจากชานอ้อยมีความหนืดสูงกว่าสารเคลือบที่ใส่ซีเอ็มซีทางการค้า และจากช่วงความหนืดที่วัดได้พบว่าสารเคลือบที่ได้นี้สามารถนำไปใช้กับการเคลือบแท่งขดลวดเคลือบผิวได้ สำหรับความเป็นกรด-เบสของสารเคลือบมีค่า 10.3 เท่ากับสารเคลือบที่มีซีเอ็มซีทางการค้าเป็นส่วนประกอบ

4.3.4 ตรวจสอบกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้เทียบกับกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า

สมบัติพื้นฐานของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าและกระดาษอิงก์เจ็ตที่ได้จากการทดลองที่ทดสอบคือ น้ำหนักของสารเคลือบบนกระดาษ ความเรียบ ความขาวสว่าง ความขาว ความมันวาวของกระดาษ ความพรุน และความสม่ำเสมอของสารเคลือบบนกระดาษ ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และ 4.7 และจากตารางสามารถสรุปเป็นกราฟแบ่งตามสมบัติพื้นฐานได้

ตารางที่ 4.6 สมบัติพื้นฐานของกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้

ร้อยละของแข็ง	SiO_2:PVOH:CMC (สัดส่วนโดยน้ำหนัก)	น้ำหนักสารเคลือบ (g/m^2)	ความเรียบ (วินาที)	ความขาวสว่าง	ความขาว	ความมันวาวของกระดาษ	ความพรุน (×0.1วินาที)
13	100:40:0	11	27.5	85.7	99.1	2.3	468
15	100:40:0	13	33.9	86.0	99.6	2.6	434
16	100:40:0	13	30.7	86.5	98.3	2.4	305
17	100:40:0	14	35.0	86.1	98.7	2.5	278
18	100:40:0	14	30.2	86.1	98.4	2.6	502
19	100:40:0	15	30.9	86.3	98.6	2.5	495
15	100:25:0	12	29.6	85.3	97.9	2.9	199
15	100:30:0	13	39.5	85.9	99.5	2.5	306
15	100:35:0	12	31.7	85.9	99.4	2.6	238
15	100:40:0	13	33.9	86.0	99.9	2.6	434

ตารางที่ 4.6 สมบัติพื้นฐานของกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้ (ต่อ)

ร้อยละของแข็ง	SiO_2:PVOH:CMC (สัดส่วนโดยน้ำหนัก)	น้ำหนักสารเคลือบ (g/m^2)	ความเรียบ (วินาที)	ความขาวสว่าง	ความขาว	ความมันวาวของกระดาษ	ความพรุน (×0.1วินาที)
15	100:45:0	14	31.1	86.1	100.4	2.4	477
15	100:50:0	13	27.2	85.7	99.1	2.3	438
16	100:30:0	13	33.0	85.9	100.2	2.5	216
16	100:35:0	14	27.5	85.2	95.7	2.5	213
16	100:40:0	13	30.7	86.5	98.3	2.4	305
16	100:45:0	13	29.2	85.8	99.0	2.3	259
16	100:50:0	12	32.5	86.0	99.2	2.3	362
17	100:30:0	13	32.0	85.8	98.7	2.6	236
17	100:35:0	14	30.3	86.3	99.5	2.5	213
17	100:40:0	14	35.0	86.1	98.7	2.6	278
17	100:45:0	15	35.1	86.3	99.0	2.4	363
17	100:50:0	13	30.8	86.1	99.5	2.3	289
15	100:30:2[c]	15	35.0	85.7	98.5	2.5	278
16	100:30:2[c]	14	35.2	85.7	98.4	2.4	209
17	100:30:2[c]	14	35.1	85.3	97.0	2.5	293
18	100:30:2[c]	13	30.8	85.6	97.7	2.6	518
19	100:30:2[c]	15	31.9	85.7	97.1	2.6	343
15	100:30:2[b]	13	31.1	85.3	97.0	2.5	359
16	100:30:2[b]	14	34.5	85.6	97.2	2.4	374
17	100:30:2[b]	13	33.3	85.4	98.0	2.4	301
18	100:30:2[b]	16	33.0	85.7	97.6	2.5	356
19	100:30:2[b]	16	33.0	85.8	97.8	2.5	427

c คือสารเคลือบที่ใช้ซีเอ็มซีทางการค้า

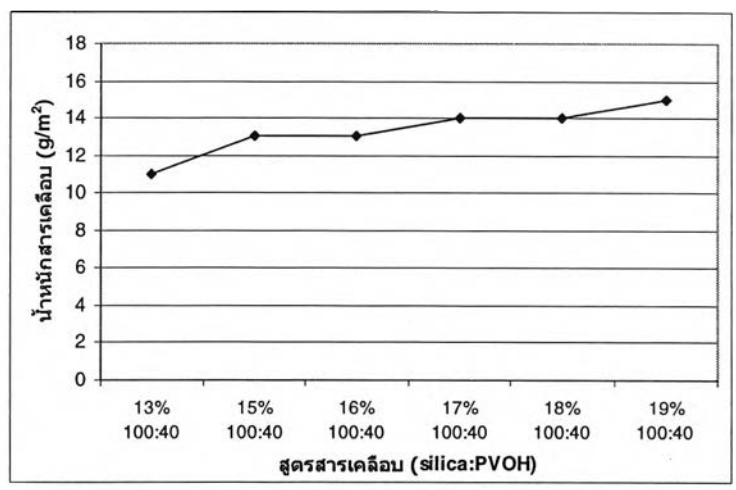
b คือสารเคลือบที่ใช้ซีเอ็มซีจากชานอ้อย

ตารางที่ 4.7 สมบัติพื้นฐานของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า

กระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า	น้ำหนักพื้นฐาน (g/m^2)	ความเรียบ (วินาที)	ความขาวสว่าง	ความขาว	ความมันวาวของกระดาษ	ความพรุน (×0.1วินาที)
A	100	38.9	87.0	115.2	5.0	796
B	90	18.0	92.1	126.6	2.7	380
C	90	39.1	91.0	124.0	3.5	541

4.3.4.1 น้ำหนักสารเคลือบ

การหาน้ำหนักสารเคลือบทำได้โดยการเคลือบสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งเท่ากับ 13-19 และมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 100:40 ลงบนกระดาษที่มีน้ำหนัก 80 g/m^2 โดยใช้แท่งโลหะเคลือบผิวที่ให้ ความหนาของชั้นฟิล์มขณะเปียก 100 μm จากนั้นรอให้แห้ง นำไปขัดผิว 3 รอบ แล้วตัดกระดาษที่เคลือบผิวแล้วให้มีขนาด 10x10 cm นำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักกระดาษ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย นำค่าที่ได้ลบด้วย 80 g/m^2 ได้ผลดังกราฟที่ 4.4



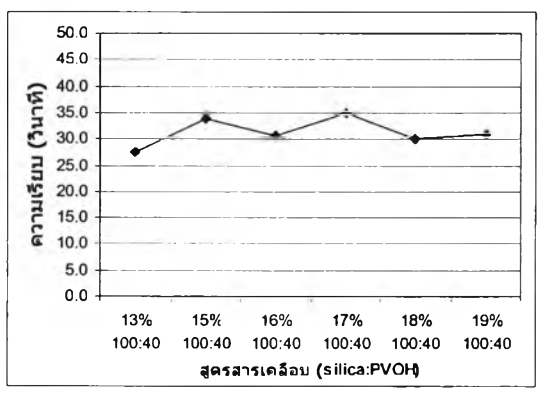
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงน้ำหนักสารเคลือบบนกระดาษเมื่อเปลี่ยนแปลงร้อยละของแข็งในสารเคลือบโดยมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:40

ตารางที่ 4.6 และจากรูปที่ 4.4 พบว่าน้ำหนักของสารเคลือบ (Coat weight) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามร้อยละของแข็ง คือจาก 11 -15 g/m^2 และเมื่อพิจารณาที่ร้อยละของแข็งเท่ากันแต่เปลี่ยนสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พบว่าน้ำหนักสารเคลือบบนกระดาษจะมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าความผิดพลาดเท่ากับ $\pm$ 1 g/m^2 นั่นคือ เมื่อสารเคลือบมีร้อยละของแข็งเท่ากับ 15 16 และ 17 มีน้ำหนักสารเคลือบเป็น 13±1 g/m^2 13±1 g/m^2 และ 14±1 g/m^2 ตามลำดับ

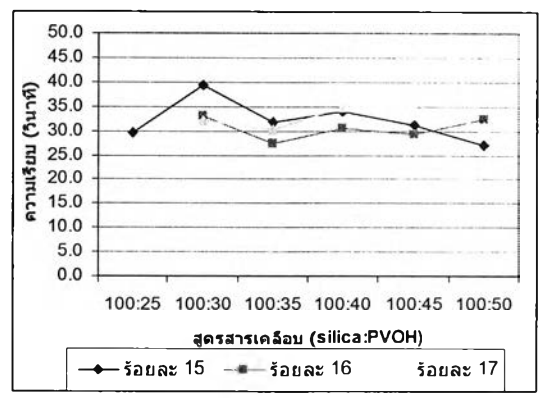
4.3.4.2 ความเรียบของกระดาษ

ความเรียบของกระดาษสัมพันธ์กับการยึดติดของสารเคลือบและความสม่ำเสมอของการปกคลุมกระดาษของสารเคลือบ นอกจากนี้ความเรียบยังขึ้นกับความสามารถในการบีบอัดของส่วนประกอบภายในสารเคลือบ การปกคลุมและการยึดติดของสารเคลือบอย่างเพียงพอและการขัดผิว

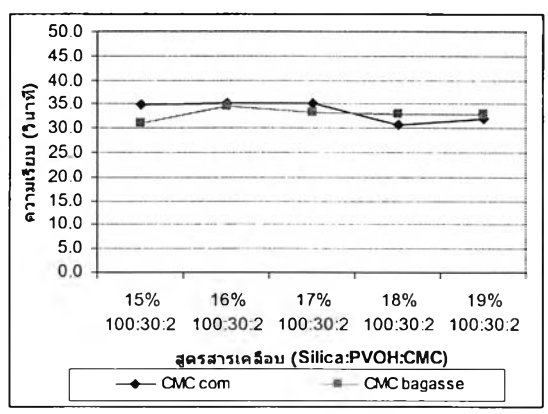
ความเรียบสามารถวัดได้โดยใช้เครื่องวัดความเรียบ รุ่น Digi-bekk smoothness tester No.168 โดยนำด้านที่เคลือบสารเคลือบคว่ำลง จากนั้นทำการจับเวลาที่ให้อากาศปริมาตร 10 ml ไหลผ่านผิวหน้ากระดาษ โดยให้ความดันจาก 380 จนถึง 360 mm Hg ทำการวัด 2 ตำแหน่งที่ต่างกัน แล้วหาค่าเฉลี่ย สารเคลือบที่นำมาใช้ คือ สารเคลือบสูตรที่มีร้อยละของแข็ง 13-19 และมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:40 และสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็ง 15-17 ที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:30 100:35 100:40 100:45 และ 100:50 และสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็ง 15-19 ที่มีสัดส่วนของซิลากาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความเรียบของกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 13-19 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:40



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความเรียบของกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15-17 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างกัน



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความเรียบของกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15-19 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น100:30:2 โดยใช้ซีเอ็มซีทางการค้าและจากชานอ้อย

ตารางที่ 4.8 ความเรียบของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า

ชนิดของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า	ความเรียบ (วินาที)
A	38.9
B	18.0
C	39.1

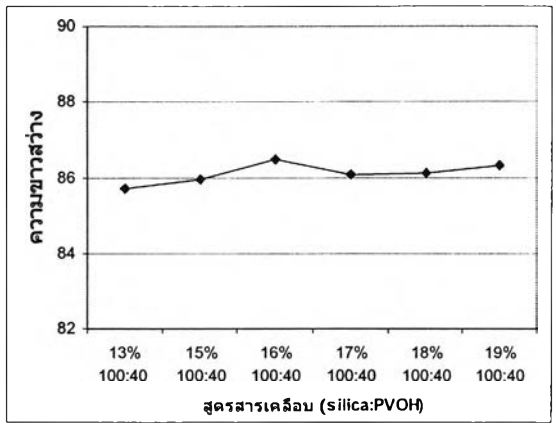
จากรูปที่ 4.5 - 4.7 พบว่ากระดาษอิงก์เจ็ตส่วนใหญ่ที่ผลิตได้มีค่าความเรียบใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วง 30.2-35.2 วินาที แสดงว่าการเพิ่มร้อยละของแข็งและการเปลี่ยนสัดส่วนซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และการใส่ซีเอ็มซีลงไปในสารเคลือบไม่มีผลต่อความเรียบของสารเคลือบ นั่นคือ ความสม่ำเสมอของสารเคลือบที่เคลือบลงบนกระดาษมีความสม่ำเสมอเท่ากัน ความสามารถในการบีบอัดของพิกเม้นท์และสารยึดในชั้นสารเคลือบเหมือนกัน มีการขัดผิวเท่ากัน ทำให้ค่าความเรียบที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน

ความเรียบของกระดาษอิงก์เจ็ตที่มีซีเอ็มซีทางการค้ามีค่าอยู่ในช่วง 30.8-35.2 วินาที เมื่อเทียบกับกระดาษอิงก์เจ็ตที่มีซีเอ็มซีจากชานอ้อยเป็นส่วนประกอบที่มีค่าอยู่ในช่วง 31.1-34.5 วินาที พบว่าความเรียบมีค่าไม่ต่างกัน และจากกราฟที่ 4.6 และตารางที่ 4.8 พบว่ากระดาษอิงก์เจ็ตที่เคลือบผิวด้วยซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เท่ากับ 100:30 ที่มีร้อยละของแข็งเท่ากับ 15 ให้ค่าความเรียบ 39.5 วินาที ใกล้เคียงกับกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า A และ C ที่มีค่าความเรียบ 38.9 วินาที และ 39.1 วินาที ตามลำดับ ส่วนกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าของ B มีความเรียบน้อยที่สุดคือ 18.0 วินาที

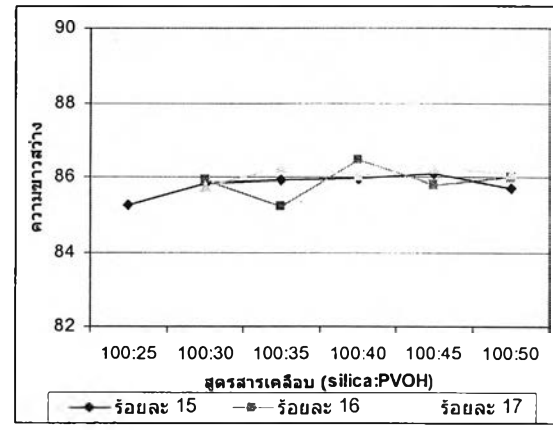
4.3.4.3 ความขาวสว่าง

ความขาวสว่าง เป็นสมบัติที่ขึ้นกับสมบัติความขาวสว่าง ดรรชนีหักเห รูปร่างอนุภาคและขนาดอนุภาคของพิกเม้นท์

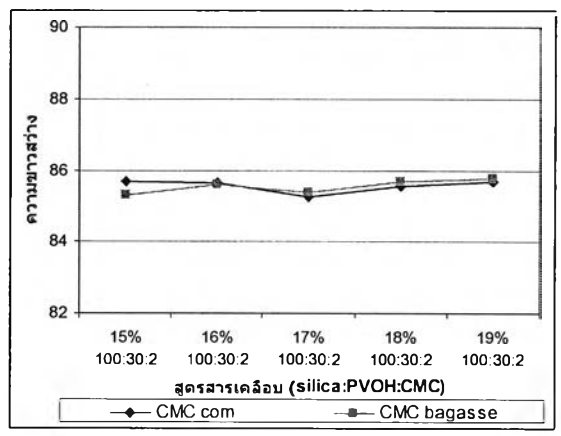
สารเคลือบที่นำมาใช้ คือ สารเคลือบที่มีร้อยละของแข็ง 13-19 และมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:40 และสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็ง 15-17 ที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:30 100:35 100:40 100:45 และ 100:50 และสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็ง 15-19 ที่มีสัดส่วนของซิลากาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 การหาค่าความขาวสว่างทำได้โดยวัดด้วยเครื่องวัดความขาวสว่าง รุ่น Optron brightness No.180 โดยวัดผ่านฟิลเตอร์ B (สีน้ำเงิน) ที่ความยาวคลื่น 457 nm ทำการสุ่มตำแหน่งวัด 3 ตำแหน่ง แล้วหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความขาวสว่างของกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 13-19 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น100:40



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความขาวสว่างของกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15-17 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างกัน



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความขาวสว่างของกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15-19 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น100:30:2 โดยใช้ซีเอ็มซีทางการค้าและจากชานอ้อย

ตารางที่ 4.9 ความขาวสว่างของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า

ชนิดของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า	ความขาวสว่าง
A	87.0
B	92.1
C	91.0

จากกราฟที่ 4.8 - 4.10 พบว่ากระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้จากสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งเท่ากับ 13-19 ที่มีซิลิกาและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นองค์ประกอบมีค่าความขาวสว่างอยู่ในช่วง 85.2-86.5 เมื่อเทียบสารเคลือบที่มีซีเอ็มซีเป็นองค์ประกอบที่มีค่าอยู่ในช่วง 85.3-85.8 พบว่ามีค่าต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ คือไม่สามารถมองเห็นความต่างได้ด้วยสายตา และเมื่อเปรียบเทียบ

กระดาษอิงก์เจ็ตที่ใช้สารเคลือบที่มีซีเอ็มซีทางการค้าและซีเอ็มซีจากชานอ้อยพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน เหตุผลที่เป็นเช่นนี้เพราะเราใช้พิกเม้นท์ชนิดเดียวกันในสารเคลือบ การผสมสารเคลือบและทำการเคลือบด้วยวิธีการเดียวกัน ความขาวสว่างของกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้จึงมีค่าใกล้เคียงกันทั้งหมด

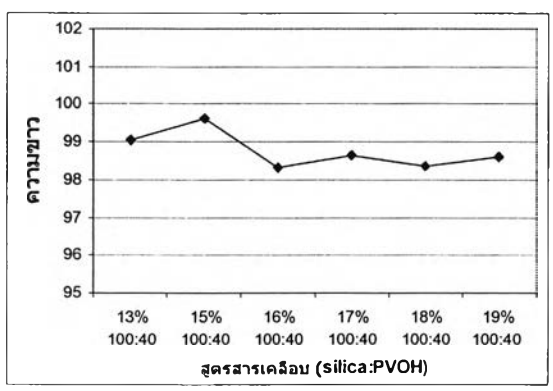
เมื่อเปรียบเทียบสารเคลือบที่ผลิตได้กับกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าซึ่งมีการใช้พิกเม้นท์หลายชนิด มีการใช้สารเติมแต่งและวิธีการเคลือบที่ต่างกันกับกระดาษอิงก์เจ็ตที่ทำขึ้นในงานวิจัย ดังตารางที่ 4.9 พบว่ากระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้ทั้งหมดมีค่าความขาวสว่างใกล้เคียงกับกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด A ที่มีค่า 87.0 แต่มีค่าต่ำกว่ากระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด B และ C ที่มีค่า 92.1 และ 91.0 ตามลำดับ

4.3.4.4 ความขาว

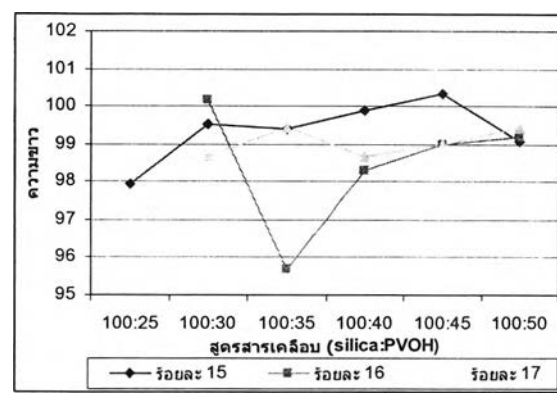
ความขาว เป็นการวัดค่าการสะท้อนแสงของสารเคลือบในช่วงคลื่น 400-700 nm โดยใช้เครื่องวัดความขาวสว่าง รุ่น Optron brightness No.180 เช่นเดียวกับการวัดค่าความขาวสว่าง วัดผ่านฟิลเตอร์ G (สีเขียว) ทำการสุ่มตำแหน่งวัด 3 ครั้ง แล้วทำการคำนวณค่าความขาวจากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ความขาว (Whiteness)} = 4B - 3G$$

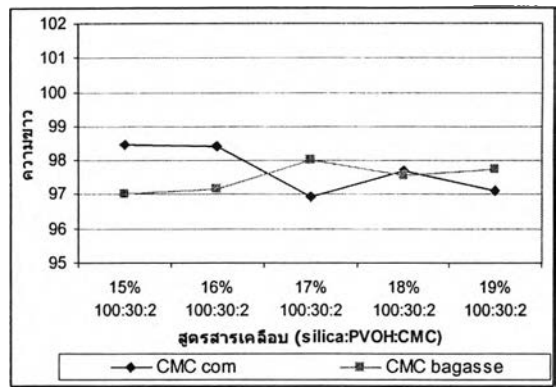
กระดาษอิงก์เจ็ตที่ใช้ในการวัดค่าความขาวเป็นกระดาษชุดเดียวกับกระดาษอิงก์เจ็ตที่ใช้ในการวัดค่าความขาวสว่างที่กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความขาวของกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 13-19 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:40



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความขาวของกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15-17 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างกัน



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความขาวของกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15-19 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น100:30:2 โดยใช้ซีเอ็มซีทางการค้าและจากชานอ้อย

ตารางที่ 4.10 ความขาวของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า

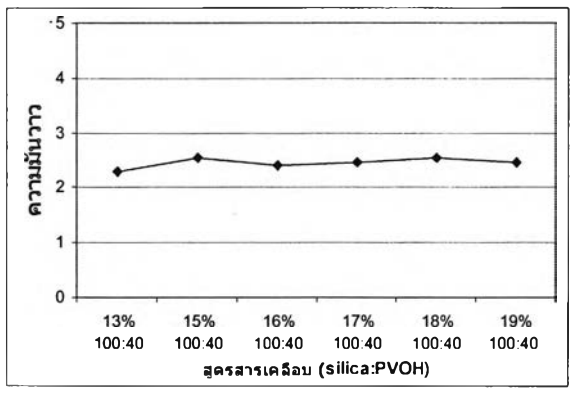
ชนิดของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า	ความขาว
A	115.2
B	126.6
C	124.0

จากกราฟที่ 4.11 - 4.13 พบว่ากระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้ทุกสูตรมีความขาวในช่วง 97.0 - 101.0 เมื่อสังเกตด้วยตาจะไม่พบความแตกต่าง แต่ยังมีค่าต่ำกว่ากระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด A B และ C ซึ่งมีค่าเท่ากับ 115.2 126.6 และ 124.0 ตามลำดับ เนื่องจากพิกเม้นท์ในกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้ามีมากกว่า 2 ชนิด ซึ่งพิกเม้นท์นั้นอาจช่วยเพิ่มความขาวและค่าการสะท้อนแสงมากขึ้น และ/หรือ มีการใส่สารเติมแต่งเพิ่มความขาวเข้าไป

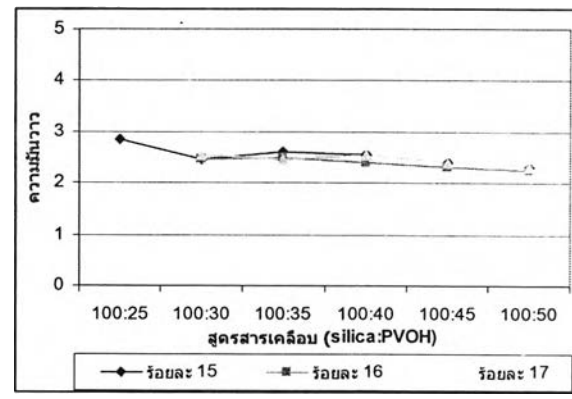
เมื่อเปรียบเทียบความขาวของกระดาษอิงก์เจ็ตที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่มีซิลิกาและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นส่วนประกอบและกระดาษอิงก์เจ็ตที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่มีซิลิกา พอลิไวนิลแอลกอฮอล์และซีเอ็มซี พบว่ามีค่า 95.7-100.4 และ 97.0-98.5 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่างกันเล็กน้อย สำหรับกระดาษอิงก์เจ็ตที่สารเคลือบมีซีเอ็มซีทางการค้าและซีเอ็มซีจากชานอ้อยเป็นส่วนประกอบ พบว่าความขาวมีค่า 97.1-98.5 และ 97.0-98.0 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพราะองค์ประกอบหลักภายในสารเคลือบเป็นสารชนิดเดียวกัน การเพิ่มซีเอ็มซีเข้าไปปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ไม่มีผลต่อความขาวของชั้นสารเคลือบ

4.3.4.5 ความมันวาวของกระดาษ

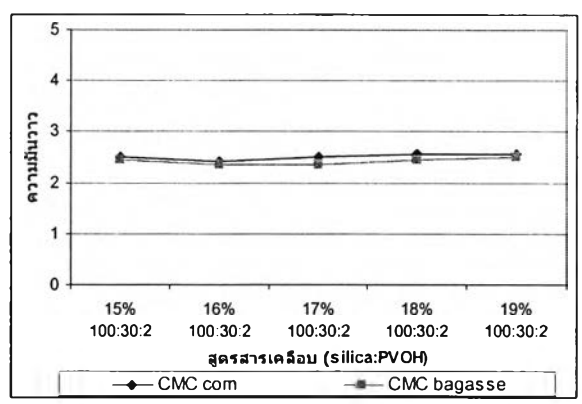
หลังจากวัดความขาวแล้ว นำกระดาษชุดเดียวกันมาวัดความมันวาวด้วยเครื่องวัดความมันวาวที่มุม 75° ซึ่งเป็นมุมสำหรับวัดความมันวาวของกระดาษ ทำการวัด 2 ตำแหน่งต่างกัน ความมันวาวของชั้นสารเคลือบบนกระดาษได้รับอิทธิพลโดยตรงมาจากขนาดของอนุภาคพิกเม้นท์ รูปร่างอนุภาค การจัดเรียงตัวของอนุภาค ชนิดของสารยึดและปริมาณสารยึด การยึดติดของสารเคลือบ การปกคลุมผิวกระดาษของสารเคลือบและจำนวนของการขัดผิว



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความมันวาวของกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 13-19 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์คือ100:40



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความมันวาวของกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15-17 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างกัน



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความมันวาวของกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15-19 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซี เป็น100:30:2 โดยใช้ซีเอ็มซีทางการค้าและจากชานอ้อย

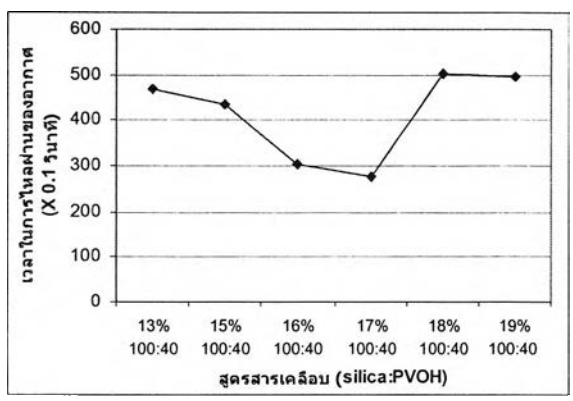
ตารางที่ 4.11 ความมันวาวของกระดาษของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า

ชนิดของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า	ความมันวาวของกระดาษ
A	5.0
B	2.7
C	3.5

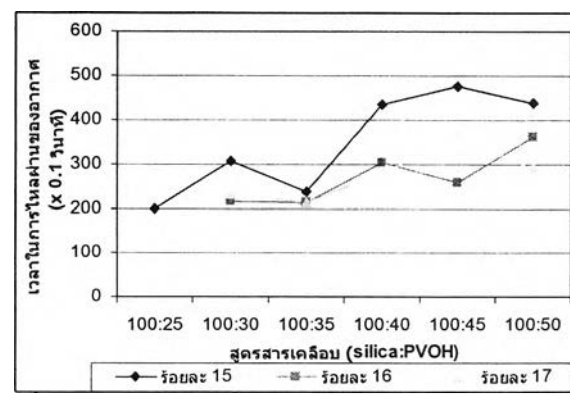
จากรูปที่ 4.14 - 4.16 พบว่ากระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้ทุกสูตรมีความมันวาวต่ำ มีค่า 2-3 (วัดที่มุม 75°) ส่วนกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด A B และ C มีค่า 5 2.7 และ 3.5 ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่ากระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้และกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้ามีความมันวาวต่ำ จึงมองเห็นว่ากระดาษมีผิวด้าน

4.3.4.6 ความพรุนของกระดาษ

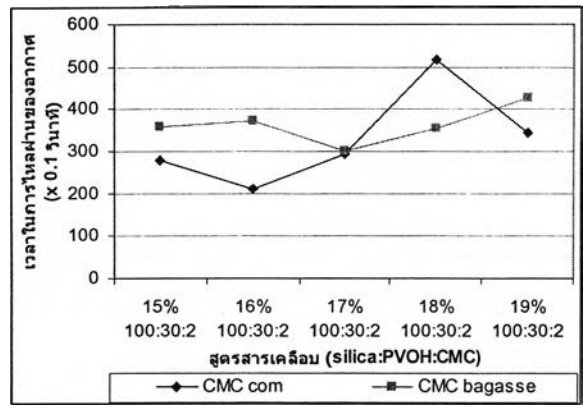
กระดาษอิงก์เจ็ตที่นำมาหาความพรุน คือ กระดาษที่มีสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็ง 13-19 และมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:40 และสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็ง 15-17 ที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:30 100:35 100:40 100:45 และ 100:50 และสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็ง 15-19 ที่มีสัดส่วนของซิลากาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 ซึ่งเป็นกระดาษชุดเดียวกับที่นำมาใช้หาสมบัติข้างต้น การวัดความพรุนของกระดาษจะหาได้โดยการวัดเวลาในการไหลผ่านของอากาศผ่านแผ่นกระดาษด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง ดังนั้นหากเวลาในการไหลผ่านของอากาศน้อยแสดงว่ากระดาษมีความพรุนมากและในทางกลับกันกระดาษที่มีความพรุนน้อย เวลาในการไหลผ่านของอากาศจะมาก สามารถวัดได้ด้วยเครื่องวัดความพรุน รุ่น Gurley type densometer model B No. 158 โดยนำด้านที่เป็นชั้นสารเคลือบหงายขึ้น ทำการวัดโดยการจับเวลาตั้งแต่กระบอกวัดอ่านค่าได้ 100 cc จนถึง 200 cc



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความพรุนของกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 13-19 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:40



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความพรุนของกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15-17 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างกัน



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความพรุนของกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15-19 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซี เป็น100:30:2 โดยใช้ซีเอ็มซีทางการค้าและจากชานอ้อย

ตารางที่ 4.12 ความพรุนของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า

ชนิดของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า	เวลาในการไหลผ่านของอากาศ (×0.1 วินาที)
A	790
B	380
C	541

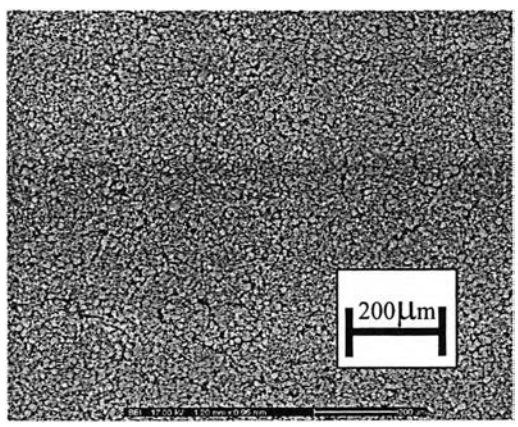
จากรูปที่ 4.11- 4.19 พบว่าสมบัติความพรุนของกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้นั้นมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณสัดส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จาก 30 ส่วนถึง 50 ส่วน อาจเป็นเพราะการใช้อัตราส่วนของสารยึดต่อพิกเม้นท์สูงเป็นผลให้สารยึดไปอุดช่องว่างระหว่างอนุภาคพิกเม้นท์หรือช่องว่างภายในซิลิกามากขึ้น ทำให้ซิลิกาเกิดการกระจายตัวกันอย่างหลวม ๆ หรืออาจเกิดจากการลดปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคพิกเม้นท์มากขึ้น ซึ่งจะทำให้การกักเก็บหมึกไว้บนสารเคลือบต่ำในกรณีที่ช่องว่างนั้นมีขนาดใหญ่ แต่จะกักเก็บหมึกได้ดีในกรณีที่มีช่องว่างขนาดเล็กจำนวนมาก แต่เมื่อพิจาณาถึงความดำของหมึกพิมพ์บนกระดาษอิงก์เจ็ตที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่เปลี่ยนแปลงปริมาณสัดส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จาก 50 ส่วนลงถึง 30 ส่วนพบว่ามีความดำเพิ่มขึ้นจึงอาจเป็นไปได้ว่ารูพรุนที่มากขึ้นจนทำให้ค่าความพรุนสูงเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากจึงสามารถกักเก็บหมึกพิมพ์ได้ดีกว่า นอกจากนี้ความพรุนยังขึ้นกับการอัดตัวของอนุภาคพิกเม้นท์และการขัดผิว หากอนุภาคพิกเม้นท์มีการอัดตัวกันแน่นเวลาในการไหลผ่านของอากาศจะใช้เวลานาน แสดงว่ามีความพรุนต่ำ จากการศึกษาความพรุนของกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้และกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าพบว่าเวลาในการไหลผ่านของอากาศของกระดาษอิงก์เจ็ตที่สารเคลือบมีเปอร์เซ็นต์ของแข็งเท่ากับ 18 และมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซี 100:30:2 มีค่า 518 (×0.1 วินาที) ให้ค่าตัวเลขสูงที่สุด ซึ่งหมายความว่ามี

ความพรุนต่ำที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกับกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด C ที่เวลาในการไหลผ่านของอากาศมีค่า 541 (×0.1 วินาที) ขณะที่กระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด A และ B มีค่าเท่ากับ 796 (×0.1 วินาที) และ 380 (×0.1 วินาที) ตามลำดับและโดยส่วนมากพบว่ากระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้มีความพรุนใกล้เคียงกับกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด B นี้

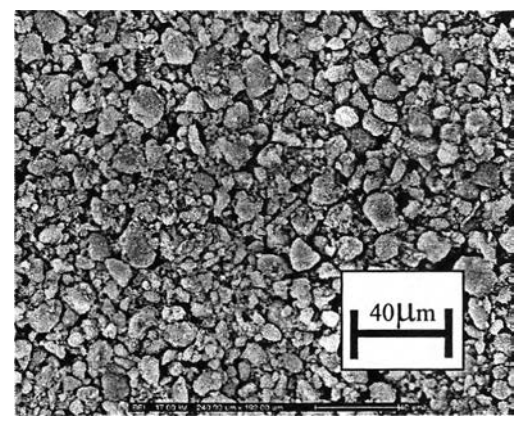
การที่ความพรุนของกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้นั้นแตกต่างจากกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าโดยเฉพาะกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด A และ B อาจเนื่องจากกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้นั้นใช้พิกเม้นท์ซึ่งเป็นซิลิกาจากขี้เถ้าแกลบชนิดเดียว แต่กระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้ามีพิกเม้นท์เป็นส่วนประกอบมากกว่า 2 ชนิด มีทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ (จากภาพ SEM) ทำให้การอัดตัวของอนุภาคพิกเม้นท์ในชั้นสารเคลือบแน่นขึ้น ช่องว่างระหว่างอนุภาคจึงลดลง ส่งผลให้ความพรุนน้อยลง เวลาในการไหลผ่านของอากาศจึงมากขึ้น แต่กระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด C เมื่อดูจากภาพ SEM จะเห็นว่ามีพิกเม้นท์มากกว่า 2 ชนิดเช่นกัน แต่พิกเม้นท์ทั้ง 2 ชนิดนี้มีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกัน ดังนั้นการอัดตัวของอนุภาคจะไม่แน่น ความพรุนจึงสูงกว่ากระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด A และ B

4.3.4.7 ความสม่ำเสมอของสารเคลือบบนกระดาษ

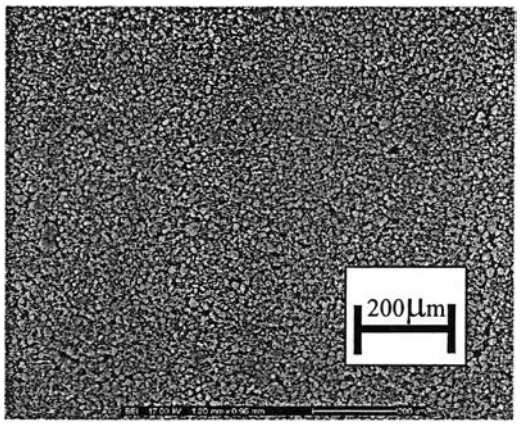
ความสม่ำเสมอของชั้นสารเคลือบ ทำการตรวจสอบด้วยเครื่อง Scaning electron micrograph (SEM) ยี่ห้อ CamScan รุ่น Maxim 2000 โดยใช้แสงกระเจิงจากด้านหลัง (BEI) ได้ผลดังนี้



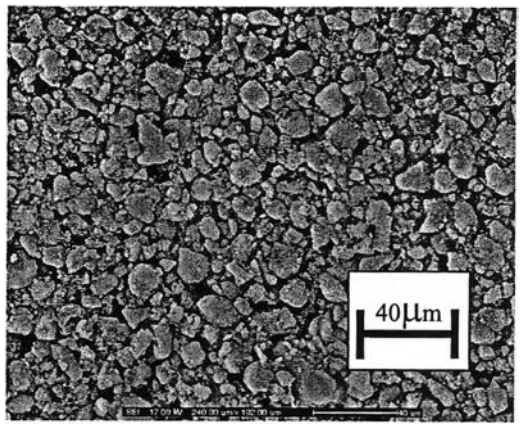
รูปที่ 4.20 ภาพ SEM ของกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 13 และมีสัดส่วนซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:40 (กำลังขยาย 100 เท่า)



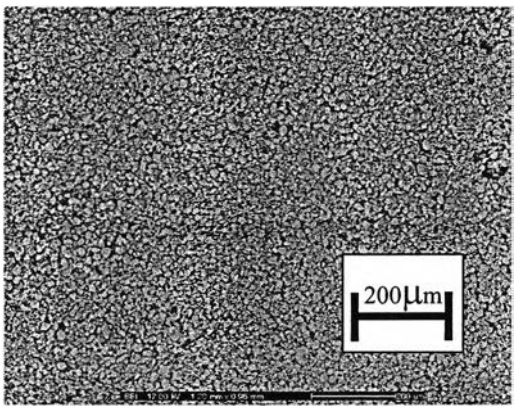
รูปที่ 4.21 ภาพ SEM ของกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 13 และมีสัดส่วนซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:40 (กำลังขยาย 500 เท่า)



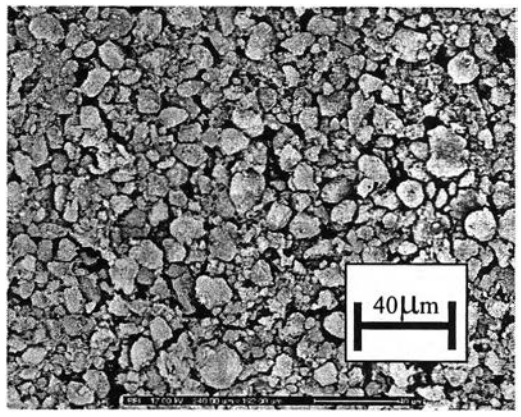
รูปที่ 4.22 ภาพ SEM ของกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 และมีสัดส่วนซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:40 (กำลังขยาย 100 เท่า)



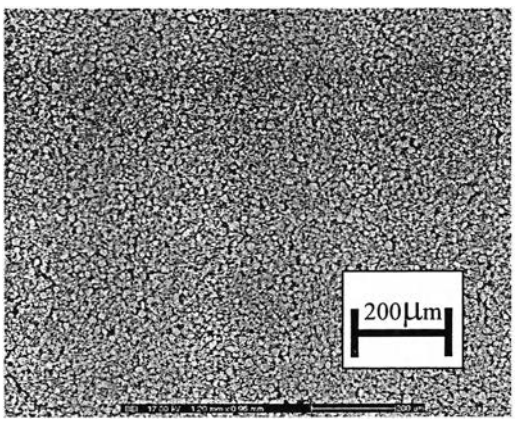
รูปที่ 4.23 ภาพ SEM ของกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 และมีสัดส่วนซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:40 (กำลังขยาย 500 เท่า)



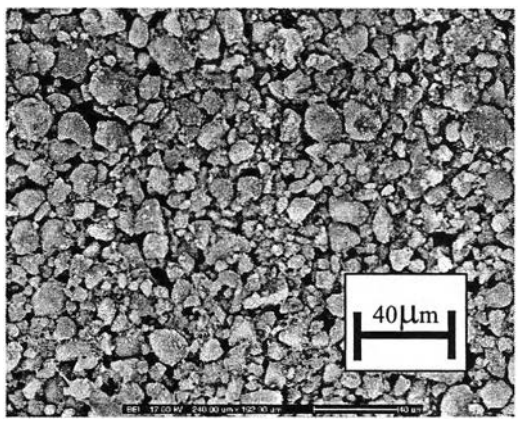
รูปที่ 4.24 ภาพ SEM ของกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 และมีสัดส่วนซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 โดยใช้ซีเอ็มซีจากชานอ้อย (กำลังขยาย 100 เท่า)



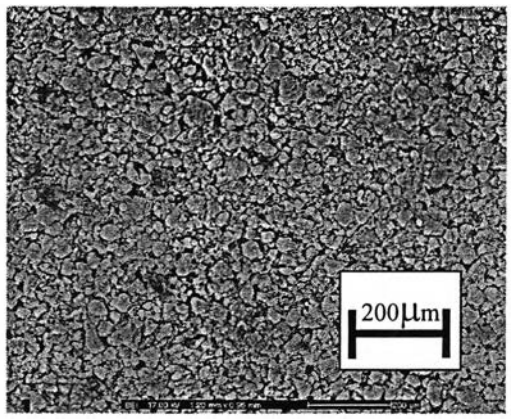
รูปที่ 4.25 ภาพ SEM ของกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 และมีสัดส่วนซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 โดยใช้ซีเอ็มซีจากชานอ้อย (กำลังขยาย 500 เท่า)



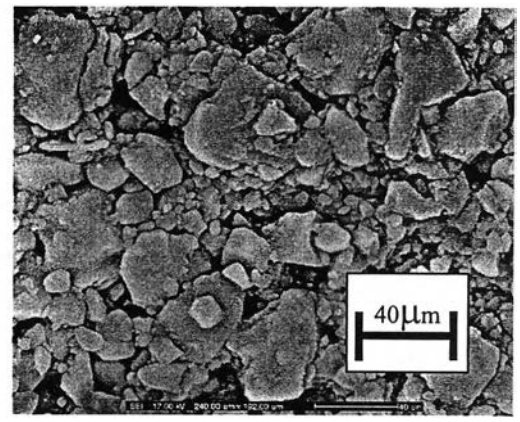
รูปที่ 4.26 ภาพ SEM ของกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 และมีสัดส่วนซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 โดยใช้ซีเอ็มซีทางการค้า (กำลังขยาย 100 เท่า)



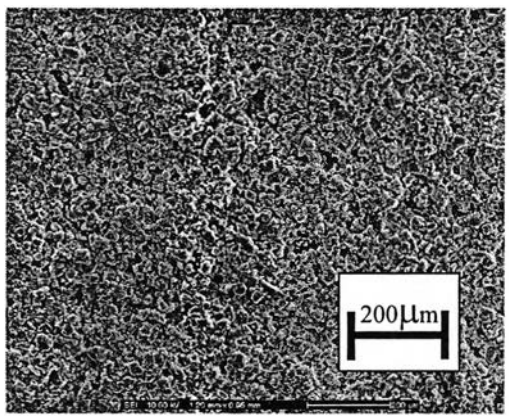
รูปที่ 4.27 ภาพ SEM ของกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 และมีสัดส่วนซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 โดยใช้ซีเอ็มซีทางการค้า (กำลังขยาย 500 เท่า)



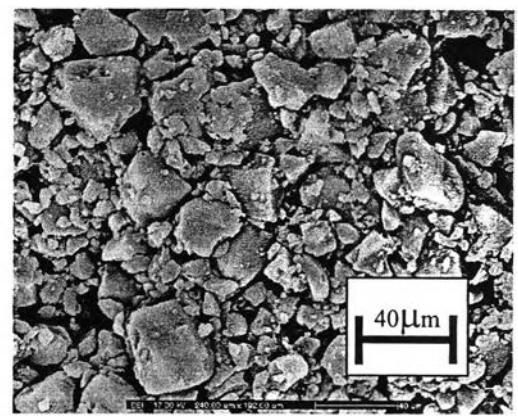
รูปที่ 4.28 ภาพ SEM ของกระดาษอิงก์เจ็ต A
(กำลังขยาย 100 เท่า)



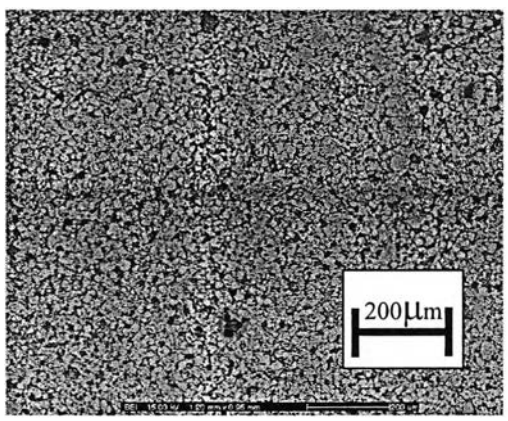
รูปที่ 4.29 ภาพ SEM ของกระดาษอิงก์เจ็ต A
(กำลังขยาย 500 เท่า)



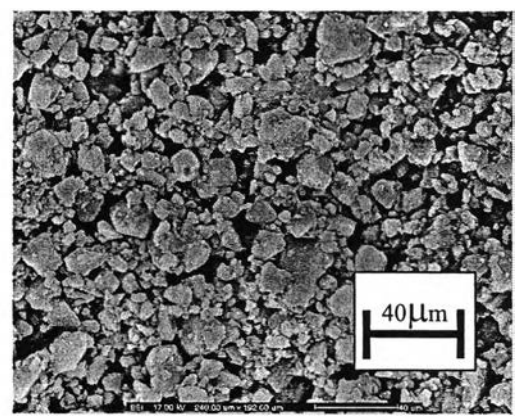
รูปที่ 4.30 ภาพ SEM ของกระดาษอิงก์เจ็ต B
(กำลังขยาย 100 เท่า)



รูปที่ 4.31 ภาพ SEM ของกระดาษอิงก์เจ็ต B
(กำลังขยาย 500 เท่า)



รูปที่ 4.32 ภาพ SEM ของกระดาษอิงก์เจ็ต C
(กำลังขยาย 100 เท่า)



รูปที่ 4.33 ภาพ SEM ของกระดาษอิงก์เจ็ต C
(กำลังขยาย 500 เท่า)

จากรูปที่ 4.20-4.23 ซึ่งเป็นตัวอย่างบางส่วนของภาพ SEM ที่ถ่ายได้ พบว่าความสม่ำเสมอของชั้นสารเคลือบบนกระดาษเมื่อเทียบที่ร้อยละของแข็งต่างกันโดยที่ซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เท่ากัน ภาพที่ได้มีลักษณะไม่แตกต่างกัน นั่นคือความสม่ำเสมอของสารเคลือบบนกระดาษมีความสม่ำเสมอดี และจากรูปที่ 4.24-4.27 ซึ่งเป็นภาพถ่ายของชั้นสารเคลือบที่มีการเพิ่มซีเอ็มซีเข้าไป 2 ส่วนโดยน้ำหนัก พบว่าการใส่ซีเอ็มซีจากชานอ้อยและซีเอ็มซีทางการค้าให้ความสม่ำเสมอของชั้นสารเคลือบเช่นเดียวกับสารเคลือบที่ไม่ใส่ซีเอ็มซี ดังนั้นสรุปได้ว่ากระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้ทุกสูตรให้ความสม่ำเสมอของชั้นสารเคลือบเหมือนกัน ไม่ว่าจะทำการเปลี่ยนร้อยละของแข็งหรือเปลี่ยนสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์หรือการเพิ่มซีเอ็มซี

เมื่อเปรียบเทียบภาพ SEM กระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้กับกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า รูปที่ 4.28-4.33 แสดงให้เห็นว่ากระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้ามีพิกเม้นท์ขนาดใหญ่กว่าซิลิกาจากขี้เถ้าแกลบและมีมากกว่า 2 ชนิด โดยที่พิกเม้นท์ขนาดใหญ่ของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด A มีลักษณะแบน บางและใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด B และ C

กระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด C ประกอบด้วยพิกเม้นท์ที่มีขนาดใกล้เคียงกันมากกว่า เมื่อเทียบกับกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด A และ B ดูจากภาพโดยรวมแล้วลักษณะใกล้เคียงกับกระดาษอิงก์เจ็ตที่เราผลิตได้มากที่สุด แต่อนุภาคขนาดใหญ่ที่อยู่ในสารเคลือบกระดาษอิงก์เจ็ตชนิด C มีลักษณะแบนต่างกับอนุภาคขนาดใหญ่ของสารเคลือบที่ผลิตได้

4.4 ขั้นตอนวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์

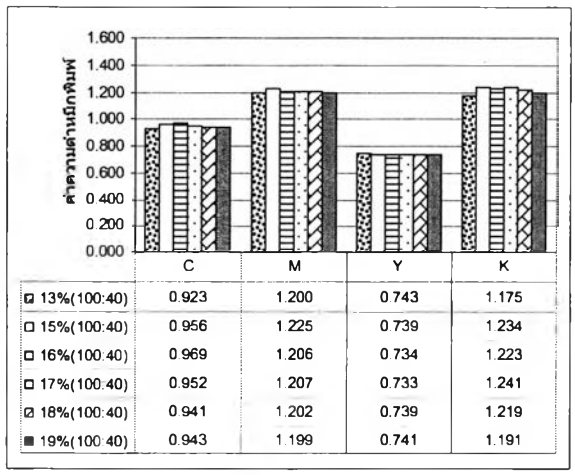
การวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์จาก QEA Test Target จะทำการวิเคราะห์ค่าความดำหมึกพิมพ์ ความมันวาวหมึกพิมพ์ คุณภาพของเส้น คุณภาพตัวอักษร ค่าร้อยละเม็ดสกรีนบวมที่ 50 การล้นเลอะระหว่างหมึกพิมพ์สีดำกับสีเหลือง ความกลมของเม็ดสกรีนสีดำ และขอบเขตสีของกระดาษที่ผลิตได้เมื่อพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Epson รุ่น Stylus photo 2100 และเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Canon รุ่น i9100

4.4.1 คุณภาพงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Epson รุ่น stylus photo 2100

4.4.1.1 ความดำหมึกพิมพ์

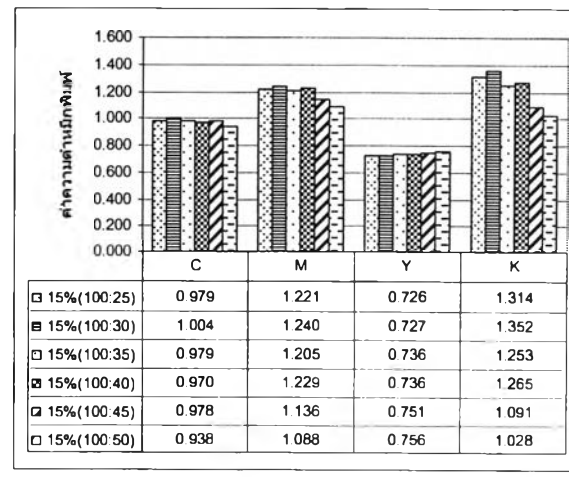
นำกระดาษที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็ง 13-19 และมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:40 และสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็ง 15-17 ที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:30 100:35 100:40 100:45 และ 100:50 และ

สารเคลือบที่มีร้อยละของแข็ง 15-19 ที่มีสัดส่วนของซิลาเกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซี เป็น 100:30:2 มาพิมพ์แผ่นทดสอบมาตรฐาน QEA test target โดยพิมพ์ชนิดละ 2 แผ่น แล้วทำการวัดค่าความดำหมึกพิมพ์ด้วยเครื่อง Spectrodensitometer ของสีไซแอน มาเจนตา สีเหลืองและสีดำ บริเวณพื้นตาย สีละ 3 ครั้งที่ตำแหน่งต่างกัน จากนั้นหาค่าเฉลี่ยที่วัดได้ทั้ง 2 แผ่น



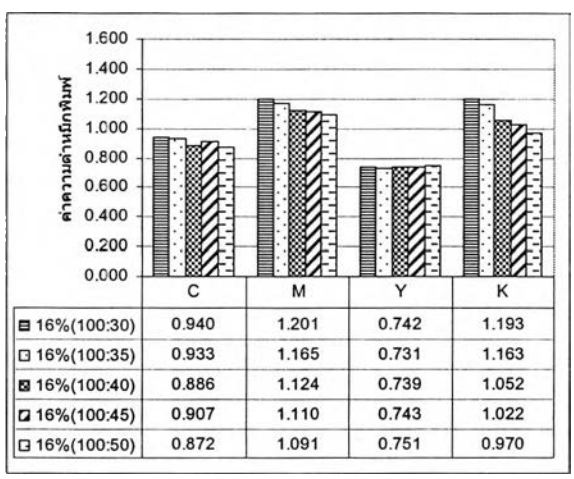
	C	M	Y	K
13%(100:40)	0.923	1.200	0.743	1.175
15%(100:40)	0.956	1.225	0.739	1.234
16%(100:40)	0.969	1.206	0.734	1.223
17%(100:40)	0.952	1.207	0.733	1.241
18%(100:40)	0.941	1.202	0.739	1.219
19%(100:40)	0.943	1.199	0.741	1.191

รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความดำหมึกพิมพ์ที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 13-19 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:40



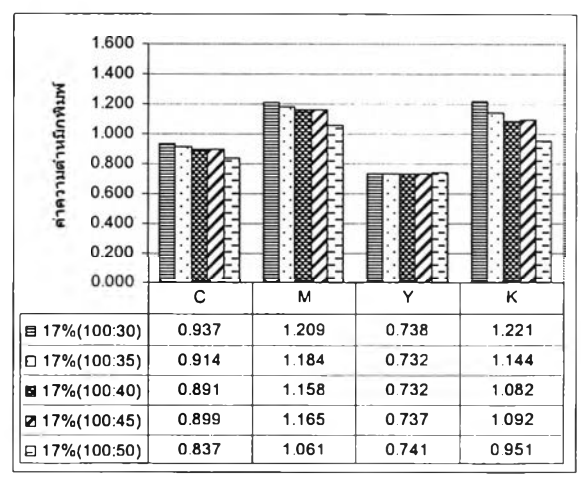
	C	M	Y	K
15%(100:25)	0.979	1.221	0.726	1.314
15%(100:30)	1.004	1.240	0.727	1.352
15%(100:35)	0.979	1.205	0.736	1.253
15%(100:40)	0.970	1.229	0.736	1.265
15%(100:45)	0.978	1.136	0.751	1.091
15%(100:50)	0.938	1.088	0.756	1.028

รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความดำหมึกพิมพ์ที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างกัน



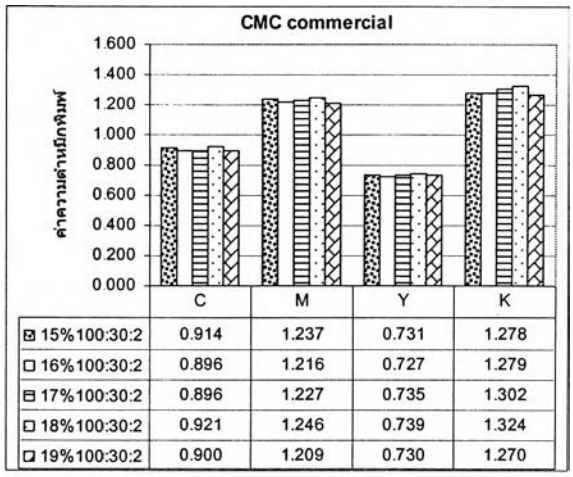
	C	M	Y	K
16%(100:30)	0.940	1.201	0.742	1.193
16%(100:35)	0.933	1.165	0.731	1.163
16%(100:40)	0.886	1.124	0.739	1.052
16%(100:45)	0.907	1.110	0.743	1.022
16%(100:50)	0.872	1.091	0.751	0.970

รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความดำหมึกพิมพ์ที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 16 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างกัน



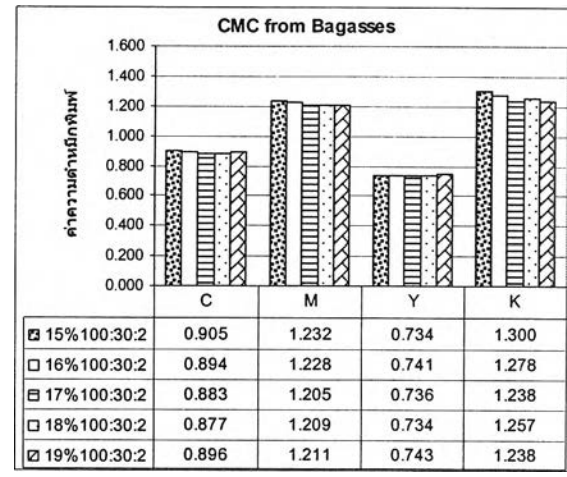
	C	M	Y	K
17%(100:30)	0.937	1.209	0.738	1.221
17%(100:35)	0.914	1.184	0.732	1.144
17%(100:40)	0.891	1.158	0.732	1.082
17%(100:45)	0.899	1.165	0.737	1.092
17%(100:50)	0.837	1.061	0.741	0.951

รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความดำหมึกพิมพ์ที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 17 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างกัน



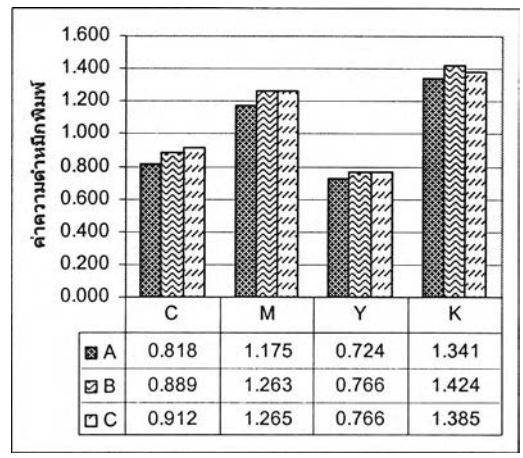
	C	M	Y	K
15%100:30:2	0.914	1.237	0.731	1.278
16%100:30:2	0.896	1.216	0.727	1.279
17%100:30:2	0.896	1.227	0.735	1.302
18%100:30:2	0.921	1.246	0.739	1.324
19%100:30:2	0.900	1.209	0.730	1.270

รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความดำหมึกพิมพ์ที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15-19 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 โดยใช้ซีเอ็มซีทางการค้า



	C	M	Y	K
15%100:30:2	0.905	1.232	0.734	1.300
16%100:30:2	0.894	1.228	0.741	1.278
17%100:30:2	0.883	1.205	0.736	1.238
18%100:30:2	0.877	1.209	0.734	1.257
19%100:30:2	0.896	1.211	0.743	1.238

รูปที่ 4.39 กราฟแสดงความดำหมึกพิมพ์ที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15-19 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 โดยใช้ซีเอ็มซีจากชานอ้อย



	C	M	Y	K
A	0.818	1.175	0.724	1.341
B	0.889	1.263	0.766	1.424
C	0.912	1.265	0.766	1.385

รูปที่ 4.40 กราฟแสดงความดำหมึกพิมพ์บนกระดาษอิงก์เจ็ดทางการค้า 3 ชนิด

การพิจารณาค่าความดำหมึกพิมพ์ เป็นปัจจัยสำคัญในการวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์ด้วยตาของมนุษย์ที่เห็นได้ชัดเจนที่สุด ผู้บริโภคสื่อสิ่งพิมพ์ต้องการให้ภาพที่ได้มีความเปรียบต่างสูง สีสด เพราะรู้สึกว่าได้ภาพที่สวยงาม จากรูปที่ 4.49 แสดงให้เห็นว่าสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งเท่ากับ 13 และสัดส่วนซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:40 ให้ค่าความดำหมึกพิมพ์น้อยกว่าสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งเท่ากับ 15-19 และสัดส่วนซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:40 อย่างมีนัยสำคัญโดยเฉพาะค่าความดำหมึกพิมพ์สีดำ นั่นหมายความว่าต่างกันเกิน ± 0.05 ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานของประเทศอเมริกาในระบบพิมพ์ออฟเซต ซึ่งในทางระบบพิมพ์อิงก์เจ็ตยังไม่มีผู้กำหนดเป็นมาตรฐานที่แน่นอน ขณะที่ค่าความดำหมึกพิมพ์ของสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งเท่ากับ 15-19 และมีสัดส่วนซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:40 นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ปัญหาคือ สารเคลือบที่มี

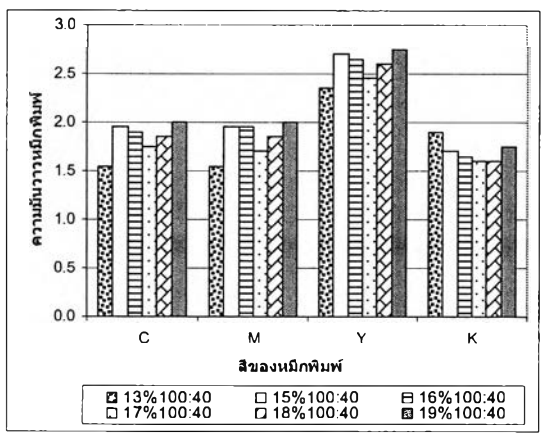
จากรูปที่ 4.35-4.37 เป็นค่าความดำหมึกพิมพ์ที่มีร้อยละของแข็งเท่ากับ 15-17โดยทำการเปลี่ยนสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:30 100:35 100:40 100:45 และ 100:50 ทำให้ทราบว่าการเพิ่มของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะทำให้ค่าความดำหมึกพิมพ์ลดลงตามลำดับ เพราะว่าการเพิ่มสัดส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ทำให้สารยึดนี้ปกคลุมพิกเม้นท์ไว้มากเกินไป และทำให้พิกเม้นท์เกิดการกระจายตัวกันหลวมขึ้น รูพรุนจึงมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้หมึกพิมพ์สามารถซึมผ่านลงไปในชั้นสารเคลือบได้มากขึ้น ดังนั้นค่าความดำหมึกพิมพ์จึงต่ำลง ในขณะเดียวกันปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลให้เคลือบผิวซิลิกาได้มากขึ้น เพราะฉะนั้นความพรุนจึงต่ำลง ซิลิกาซึ่งเป็นพิกเม้นท์ ทำหน้าที่รับหมึกจึงรับหมึกได้น้อยลง ยกเว้นสีเหลืองเท่านั้นที่มีค่าความดำหมึกพิมพ์ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็ง 15-17 และมีสัดส่วนของซิลิกาต่อ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:30 เหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นสารเคลือบสำหรับการเคลือบผิวด้วยวิธีใช้ขดลวด ขณะที่การทดลองลดปริมาณของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ลงเป็น 100:25 ไม่ได้มีผลให้ค่าความดำหมึกพิมพ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีจำนวนน้อยจนกระทั่งไม่สามารถแทรกและกระจายตัวอยู่ระหว่างซิลิกาได้อย่างทั่วถึง เป็นผลให้ไม่สามารถยึดซิลิกากับซิลิกาและยึดซิลิกากับกระดาษไว้ได้ทำให้บริเวณผิวของกระดาษมีปัญหาเรื่องฝุ่นของซิลิกาที่หลุดออกมา

ในอุตสาหกรรมสารเคลือบกระดาษพิมพ์อิงก์เจ็ตนั้น นิยมใช้ซีเอ็มซีลงไปเพียง 1-2 ส่วนโดยน้ำหนักเพื่อปรับการไหลและวิทยากระแสของสารเคลือบ และในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการใช้ซีเอ็มซีที่ผลิตได้จากชานอ้อยเพื่อใช้เป็นสารยึดร่วมในสูตรสารเคลือบเทียบกับการใช้ซีเอ็มซีทางการค้า โดยใส่ในปริมาณ 2 ส่วนโดยน้ำหนัก จากรูปที่ 4.38 เป็นกราฟที่แสดงค่าความดำหมึกพิมพ์ที่เพิ่มซีเอ็มซีทางการค้าพบว่าทุกสูตรให้ค่าความดำใกล้เคียงกัน คือ ค่าความดำหมึกพิมพ์ของสีไซแอนอยู่ในช่วง 0.896-0.921 สีมาเจนตาอยู่ในช่วง 1.209-1.246 สีเหลืองอยู่ในช่วง 0.727-0.739 และสีดำอยู่ในช่วง 1.270-1.324 แต่สูตรที่ให้ค่ามากที่สุด คือ สูตรของสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งเท่ากับ 18 และมีสัดส่วนซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น100:30:2 คือ ให้ค่าความดำของสีไซแอน = 0.921 สีมาเจนตา = 1.246 สีเหลือง = 0.739 และสีดำ = 1.324 ขณะที่ค่าความดำหมึกพิมพ์ที่เพิ่มซีเอ็มซีจากชานอ้อยในสารเคลือบ (รูปที่ 4.39) ให้ค่ามากที่สุด ได้แก่ สูตรสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งเท่ากับ 15 และมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า รูปที่ 4.55 พบว่ากระดาษอิงก์เจ็ตที่มีซีเอ็มซีทางการค้าสูตรสารเคลือบที่ร้อยละของแข็งเท่ากับ 18 และสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 นั้นมีค่าความดำหมึกพิมพ์ของสีไซแอน มาเจนตา สีเหลืองและสีดำใกล้เคียงกับกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า ยกเว้นกระดาษชนิด B ที่ให้ค่าความดำหมึกพิมพ์สีดำสูงกว่ามาก ขณะที่กระดาษอิงก์เจ็ตที่มีซีเอ็มซีจากชานอ้อยสูตรสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งเท่ากับ 15 และสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 นั้นให้ค่าความดำหมึกพิมพ์สีดำต่างกับกระดาษ

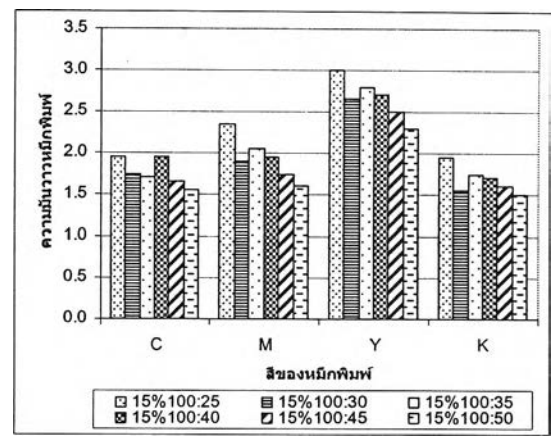
ทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญ แต่สีอื่น ๆ นั้นใกล้เคียงกับกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด A ส่วนกระดาษชนิด B และ C นั้นให้ค่าสีมาเจนตาและสีเหลืองสูงกว่า

4.4.1.2 ความมันวาวหมึกพิมพ์

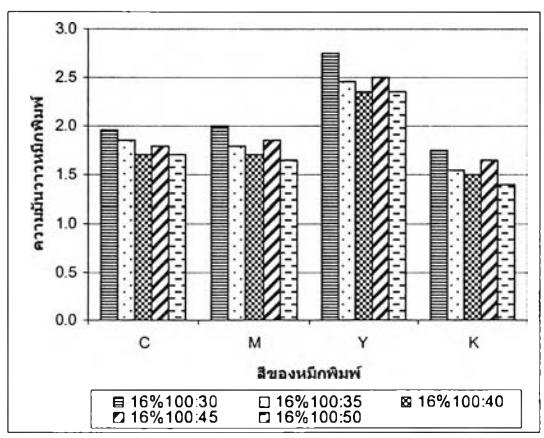
ความมันวาวหมึกพิมพ์เป็นสมบัติที่ได้รับอิทธิพลมาจากความเรียบและความมันวาวของกระดาษที่ใช้พิมพ์ และชนิดของหมึกพิมพ์ ในการวัดความมันวาวหมึกพิมพ์บนกระดาษที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะทำการวัดที่มุม 75° เช่นเดียวกับการวัดความมันวาวของกระดาษ โดยวัดความมันวาวของหมึกพิมพ์สีไซแอน มาเจนตา สีเหลืองและสีดำของกระดาษอิงก์เจ็ตที่มีสูตรสารเคลือบชนิดเดียวกันจำนวน 2 แผ่น แล้วหาค่าเฉลี่ย



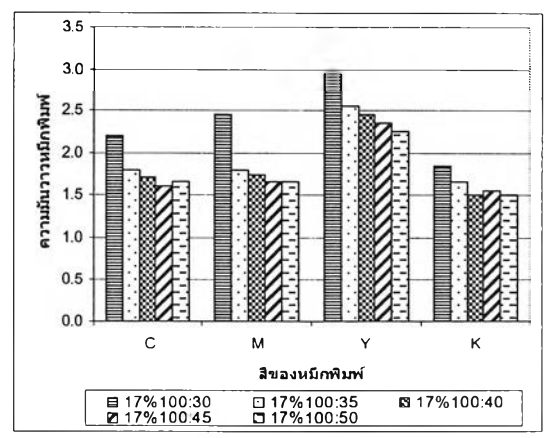
รูปที่ 4.41 กราฟแสดงความมันวาวหมึกพิมพ์ที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 13-19 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:40



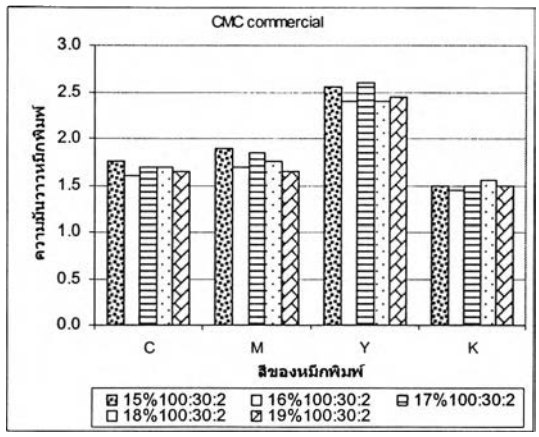
รูปที่ 4.42 กราฟแสดงความมันวาวหมึกพิมพ์ที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างกัน



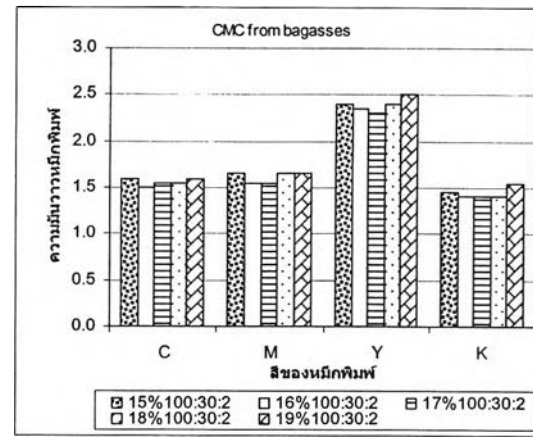
รูปที่ 4.43 กราฟแสดงความมันวาวหมึกพิมพ์ที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 16 เมื่อมีสัดส่วนของ ซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างกัน



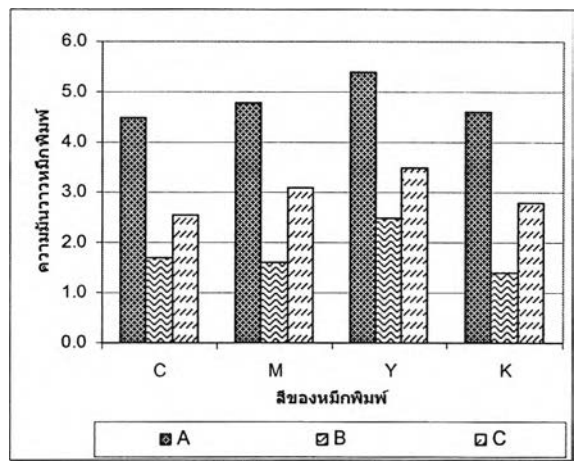
รูปที่ 4.44 กราฟแสดงความมันวาวหมึกพิมพ์ที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 17 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างกัน



รูปที่ 4.45 กราฟแสดงความมันวาวหมึกพิมพ์ที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15-19 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซี เป็น 100:30:2 โดยใช้ซีเอ็มซีทางการค้า



รูปที่ 4.46 กราฟแสดงความมันวาวหมึกพิมพ์ที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15-19 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 โดยใช้ซีเอ็มซีจากชานอ้อย



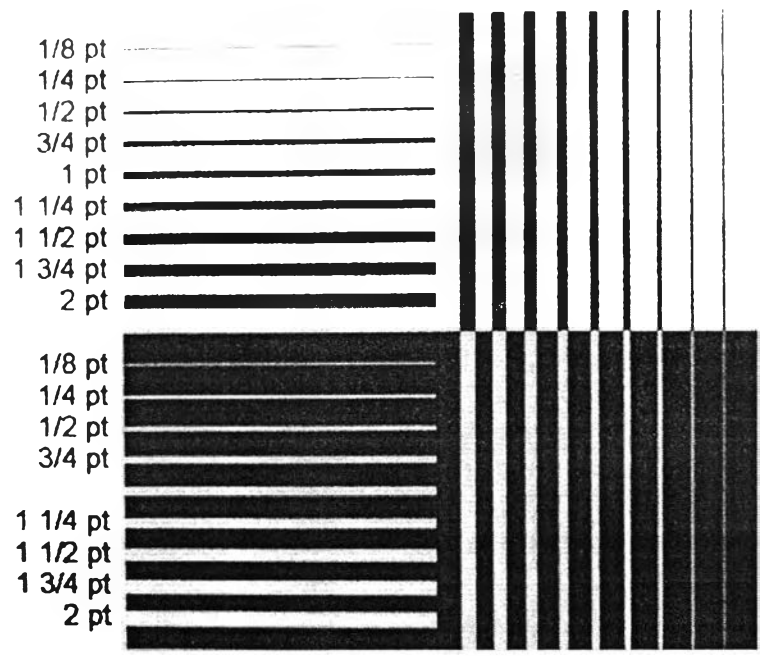
รูปที่ 4.47 กราฟแสดงความมันวาวหมึกพิมพ์บนกระดาษอิงก์เจ็ดทางการค้า 3 ชนิด

จากกราฟแสดงความมันวาวหมึกพิมพ์ทั้งหมด รูปที่ 4.41-4.47 พบว่าค่าความมันวาวมีค่าต่ำกว่า 10 หน่วย หมายถึง ไม่มีความมันวาวแม้จะมองเฉียง ๆ ซึ่งสรุปได้ว่ากระดาษอิงก์เจ็ตที่เราผลิตได้เป็นกระดาษอิงก์เจ็ตชนิดด้าน เมื่อเทียบกับกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าแล้วพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันกับกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด B และ C แต่สำหรับกระดาษชนิด A จะมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย ทั้งนี้เป็นผลมาจากความเรียบบนพื้นผิวของกระดาษที่มากกว่ากระดาษอิงก์เจ็ดชนิดอื่น ๆ

4.4.1.3 คุณภาพของเส้น

นำกระดาษที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็ง 13-19 และมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:40 และสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็ง 15-17 ที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:30 100:35 100:40 100:45 และ 100:50 และสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็ง 15-19 ที่มีสัดส่วนของซิลากาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 ที่พิมพ์แผ่นทดสอบมาตรฐาน QEA test target แล้วมาพิจารณาคุณภาพของเส้นที่ผลิตได้โดยการใช้กล้องขยายส่องดูขนาดและลักษณะของเส้นแนวนอนและเส้นแนวตั้งที่เป็นเส้นพอสิทีฟและเนกาทีฟของสีไซแอน สีมาเจนตา สีเหลืองและสีดำ ดังรูปที่ 4.48

จากรูปในภาคผนวก ก พบว่าสามารถผลิตเส้นพอสิทีฟได้ละเอียดถึง 1/8 พอยท์ทั้งแนวนอนและแนวดิ่ง แต่จะมีปัญหาจากเส้นเนกาทีฟที่บางสูตรสารเคลือบไม่สามารถผลิตได้ละเอียดถึง 1/8 พอยท์ การประเมินคุณภาพของเส้นที่ผลิตได้นั้นจะพิจารณา



รูปที่ 4.48 ภาพถ่ายเส้นพอสิทีฟและเนกาทีฟตามแนวนอนและแนวตั้งของสีดำที่มีขนาดต่างกัน

ตารางที่ 4.13 คุณภาพของเส้นของกระดาษอิงก์เจ็ตที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่ร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 13-19 และมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เท่ากับ 100:40

ร้อยละของแข็ง	SiO_2:PVOH	คุณภาพของเส้นที่ผลิตได้ (พอยท์)				
		C	M	Y	K	ทิศทาง
13	100:40	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8 f	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8 f	Neg/v
15	100:40	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8 f	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8 f	Neg/v
16	100:40	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8 f	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8 f	Neg/v
17	100 :40	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8 f	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8 f	Neg/v
18	100:40	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8 f	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8 f	Neg/v
19	100:40	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8 f	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8 f	Neg/v

Pos และ Neg คือเส้นพอสิทีฟและเนกาทีฟตามลำดับ

h และ v คือทิศทางแนวนอนและแนวดิ่งตามลำดับ

f : ไม่คมชัด

ตารางที่ 4.14 คุณภาพของเส้นของกระดาษอิงก์เจ็ตที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 และมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างกัน

ร้อยละของแข็ง	SiO_2:PVOH	คุณภาพของเส้นที่ผลิตได้ (พอยท์)				
		C	M	Y	K	ทิศทาง
15	100:25	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8 f	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8 f	Neg/v
15	100:30	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8 f	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8 f	Neg/v
15	100:35	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8 f	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8 f	Neg/v
15	100 :40	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8 f	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8 f	Neg/v
15	100:45	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8 f	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/4 f	Neg/v
15	100:50	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/4 f	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/4 f	Neg/v

Pos และ Neg คือเส้นพอสิทีฟและเนกาทีฟตามลำดับ

h และ v คือทิศทางแนวนอนและแนวดิ่งตามลำดับ

f : ไม่คมชัด

ตารางที่ 4.15 คุณภาพของเส้นของกระดาษอิงก์เจ็ตที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 16 และมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างกัน

เปอร์เซ็นต์ของแข็ง	SiO_2:PVOH	คุณภาพของเส้นที่ผลิตได้ (พอยท์)				
		C	M	Y	K	ทิศทาง
16	100:30	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8 f	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8 f	Neg/v
16	100:35	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8 f	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8 f	Neg/v
16	100:40	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8 f	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8 f	Neg/v
16	100:45	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8 f	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8 f	Neg/v
16	100:50	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8 f	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/4 f	Neg/v

Pos และ Neg คือเส้นพอสิทีฟและเนกาทีฟตามลำดับ

h และ v คือทิศทางแนวนอนและแนวดิ่งตามลำดับ

f : ไม่คมชัด

ตารางที่ 4.16 คุณภาพของเส้นของกระดาษอิงก์เจ็ตที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 17 และมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างกัน

เปอร์เซ็นต์ของแข็ง	SiO_2:PVOH	คุณภาพของเส้นที่ผลิตได้ (พอยท์)				
		C	M	Y	K	ทิศทาง
17	100:30	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8 f	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8 f	Neg/v
17	100:35	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8 f	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8 f	Neg/v
17	100:40	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8 f	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8 f	Neg/v
17	100:45	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8 f	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8 f	Neg/v
17	100:50	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8 f	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/4 f	Neg/v

Pos และ Neg คือเส้นพอสิทีฟและเนกาทีฟตามลำดับ

h และ v คือทิศทางแนวนอนและแนวดิ่งตามลำดับ

f : ไม่คมชัด

ตารางที่ 4.17 คุณภาพของเส้นของกระดาษอิงก์เจ็ตที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15-19 และมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 โดยใช้ซีเอ็มซีทางการค้า

ร้อยละของแข็ง	SiO_2:PVOH:CMC	คุณภาพของเส้นที่ผลิตได้ (พอยท์)				
		C	M	Y	K	ทิศทาง
15	100:30:2	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8f	Neg/v
16	100:30:2	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8f	Neg/v
17	100:30:2	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8f	Neg/v
18	100:30:2	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8f	Neg/v
19	100:30:2	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8f	Neg/v

Pos และ Neg คือเส้นพอสิทีฟและเนกาทีฟตามลำดับ

h และ v คือทิศทางแนวนอนและแนวดิ่งตามลำดับ

f : ไม่คมชัด

ตารางที่ 4.18 คุณภาพของเส้นของกระดาษอิงก์เจ็ตที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15-19 และมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 โดยใช้ซีเอ็มซีจากชานอ้อย

เปอร์เซ็นต์ของแข็ง	SiO_2:PVOH:CMC	คุณภาพของเส้นที่ผลิตได้ (พอยท์)				
		C	M	Y	K	ทิศทาง
15	100:30:2	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8f	Neg/v
16	100:30:2	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8f	Neg/v
17	100:30:2	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8f	Neg/v
18	100:30:2	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8f	Neg/v
19	100:30:2	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8f	Neg/v

Pos และ Neg คือเส้นพอสิทีฟและเนกาทีฟตามลำดับ

h และ v คือทิศทางแนวนอนและแนวดิ่งตามลำดับ

f : ไม่คมชัด

ตารางที่ 4.19 คุณภาพของเส้นของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า 3 ชนิด

ชนิดของกระดาษ	น้ำหนักกระดาษ (g/m2)	คุณภาพของเส้นที่ผลิตได้ (พอยท์)				
		C	M	Y	K	ทิศทาง
A	100	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8 f	Neg/v
B	90	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8 f	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8 f	Neg/v
C	90	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8 f	Neg/h
		1/8 f	1/8 f	1/8 f	1/8 f	Neg/v

Pos และ Neg คือเส้นพอสิทีฟและเนกาทีฟตามลำดับ

h และ v คือทิศทางแนวนอนและแนวดิ่งตามลำดับ

f : ไม่คมชัด

จากตารางที่ 4.13-4.19 พบว่าปัญหาของเส้นที่ผลิตได้มักเกิดกับเส้นเนกาทีฟแนวตั้ง เมื่อพิจารณาสูตรสารเคลือบที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอลเป็น 100:40 ที่ร้อยละของแข็งในสารเคลือบต่าง ๆ กัน สามารถผลิตเส้นได้ละเอียดที่สุดถึง 1/8 พอยท์ แต่เมื่อพิจารณาเส้นเนกาทีฟสีดำจะเห็นว่าคุณภาพของเส้นไม่ดี ไม่คมชัดทั้งของเส้นเนกาทีฟแนวตั้งและแนวนอน

เมื่อพิจารณาที่ร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากันพบว่า สารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 ที่มีสัดส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 45 และสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 16 และ 17 ที่มีพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 50 ส่วนโดยน้ำหนัก ทำให้เส้นสีดำเนกาทีฟแนวตั้งมีคุณภาพต่ำลง คือสามารถผลิตเส้นได้ละเอียดถึง 1/4 พอยท์ เท่านั้น ส่วนสีอื่น ๆ ยังคงคุณภาพเช่นเดียวกับที่กล่าวมา

สำหรับสารเคลือบที่ทำการใส่ซีเอ็มซีลงไป คุณภาพของเส้นจะดีขึ้นคือเส้นเนกาทีฟแนวตั้งของสีดำแนวนอนจะคมชัดขึ้น ส่วนเส้นเนกาทีฟแนวตั้งของสีไซแอน มาเจนตาและสี

เหลืองยังคงไม่คมชัด โดยสารเคลือบที่ใส่ซีเอ็มซีจากชานอ้อยและซีเอ็มซีทางการค้าให้คุณภาพของเส้นเช่นเดียวกัน

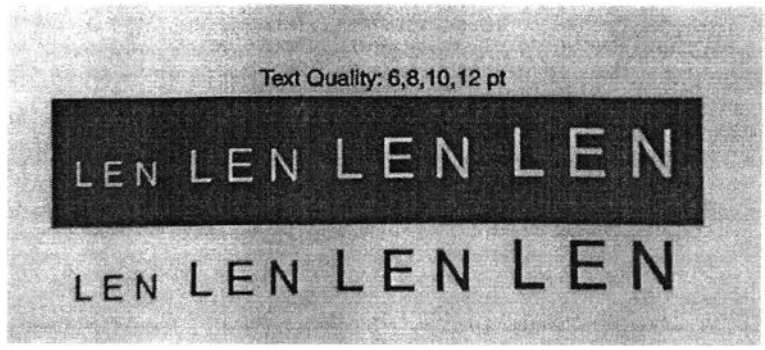
สำหรับกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้านั้นเมื่อเทียบตามลำดับคุณภาพของเส้นแล้วสามารถเรียงลำดับจากดีมากไปน้อยได้ดังนี้ กระดาษชนิด A C เท่ากับ B และกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้ที่ใส่ซีเอ็มซีเมื่อใช้สูตรสารเคลือบที่ใส่ซีเอ็มซีและมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เท่ากับ 100:30:2 สามารถเทียบได้กับกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด A สำหรับกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด B และ C ให้คุณภาพของเส้นใกล้เคียงกับกระดาษอิงก์เจ็ตสูตรที่ไม่ใส่ซีเอ็มซีที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15-17 และมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 100:30 100:35 100:40 100:45 และ 100:50

4.4.1.4 คุณภาพตัวอักษร

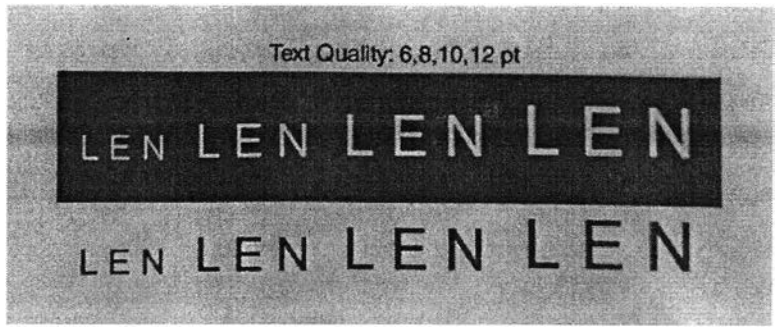
หลังจากพิจารณาคุณภาพของเส้นแล้ว ให้พิจารณาคุณภาพตัวอักษรที่เป็นพอสิทีฟและเนกาทีฟซึ่งมีขนาด 6 8 10 และ 12 พอยท์ โดยดูความคมชัดและขนาดของตัวอักษรที่ผลิตได้

รูปที่ 4.49 ภาพถ่ายตัวอักษรของสูตรสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:30

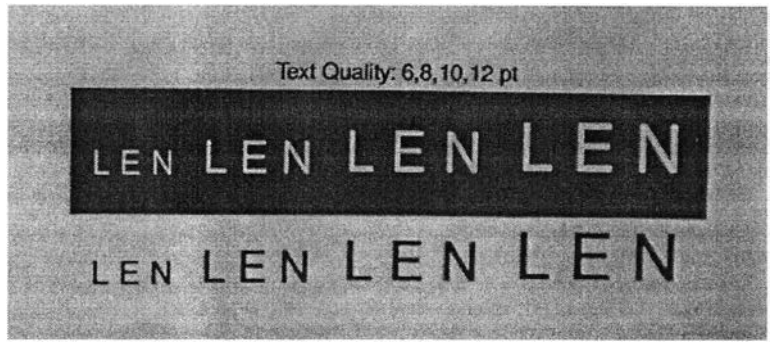
รูปที่ 4.50 ภาพถ่ายตัวอักษรของสูตรสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:40



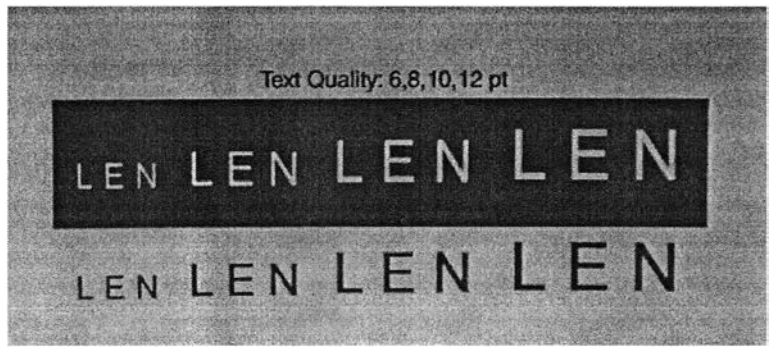
รูปที่ 4.51 ภาพถ่ายตัวอักษรของสูตรสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 16 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:30



รูปที่ 4.52 ภาพถ่ายตัวอักษรของสูตรสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 17 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:30

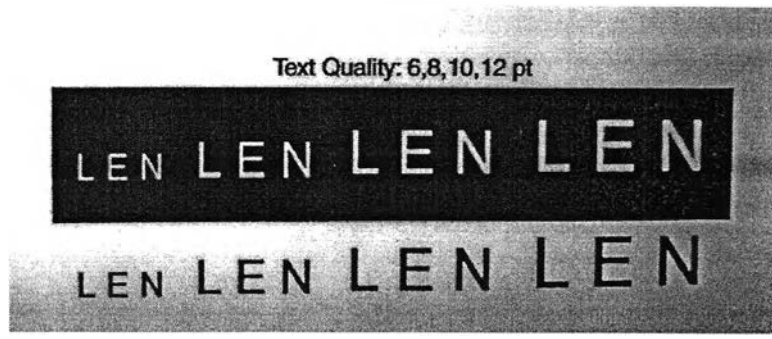


รูปที่ 4.53 ภาพถ่ายตัวอักษรของสูตรสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 โดยใช้ซีเอ็มซีทางการค้า



รูปที่ 4.54 ภาพถ่ายตัวอักษรของสูตรสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 โดยใช้ซีเอ็มซีจากชานอ้อย

รูปที่ 4.55 ภาพถ่ายตัวอักษรของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด A



รูปที่ 4.56 ภาพถ่ายตัวอักษรของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด B

รูปที่ 4.57 ภาพถ่ายตัวอักษรของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด C

จากรูปที่ 4.49-4.57 ภาพถ่ายตัวอักษรทั้งหมดพบว่า กระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้และกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าสามารถผลิตตัวอักษรได้คุณภาพและความคมชัดใกล้เคียงกัน ทั้งอักษรที่เป็นพอสิทีฟและเนกาทีฟสามารถผลิตได้ถึงขนาด 6 พอยท์

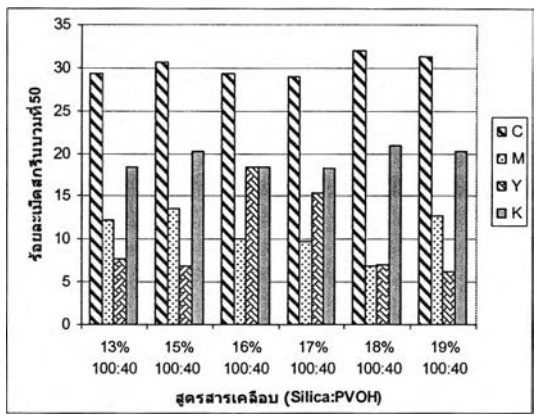
4.4.1.5 ค่าร้อยละเม็ดสกรีนบวมที่ 50

การเกิดเม็ดสกรีนบวมเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากความพรุนของกระดาษทำให้หมึกที่พิมพ์ลงบนกระดาษนั้นถูกดูดซึมลงไปในรูพรุนและทำให้รูปร่างเม็ดสกรีน

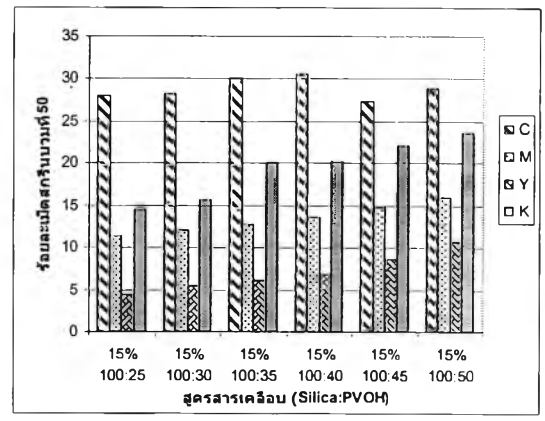
สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขยายขึ้น ซึ่งจะมากน้อยขึ้นอยู่กับความพรุนและความหยาบของผิวกระดาษ ความหนืดของหมึกพิมพ์และแรงกดพิมพ์

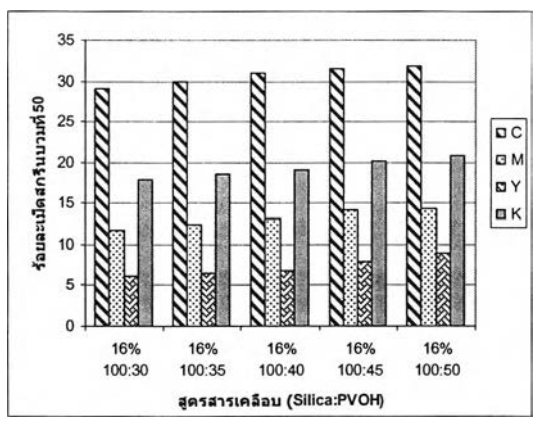
การวัดค่าเม็ดสกรีนบวมทำได้โดยเครื่องวัดความดำของหมึกพิมพ์ของบริษัท X-Rite วัดบริเวณโทนที่ร้อยละ50 ของสีไซแอน มาเจนตา สีเหลืองและสีดำ อย่างละ 3 ตำแหน่ง โดยทำการวัดกระดาษชนิดเดียวกัน 2 แผ่น จากนั้นหาค่าเฉลี่ย แล้วนำค่าที่วัดได้ลบกับ 50 ก็จะได้ค่าเม็ดสกรีนบวม



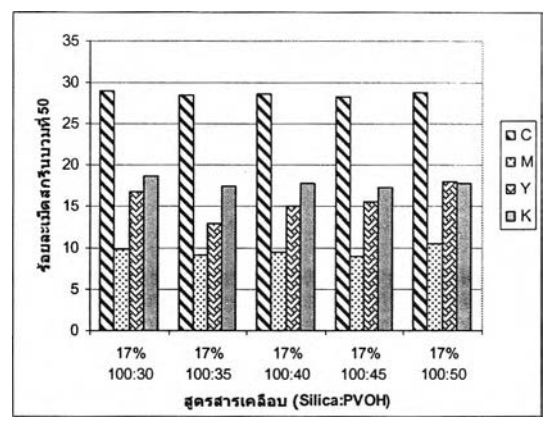
รูปที่ 4.58 กราฟแสดงค่าร้อยละเม็ดสกรีนบวมที่ 50 ที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 13-19 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:40



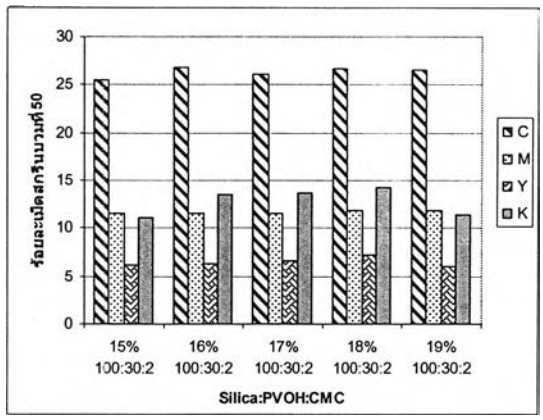
รูปที่ 4.59 กราฟแสดงค่าร้อยละเม็ดสกรีนบวมที่ 50 ที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างกัน



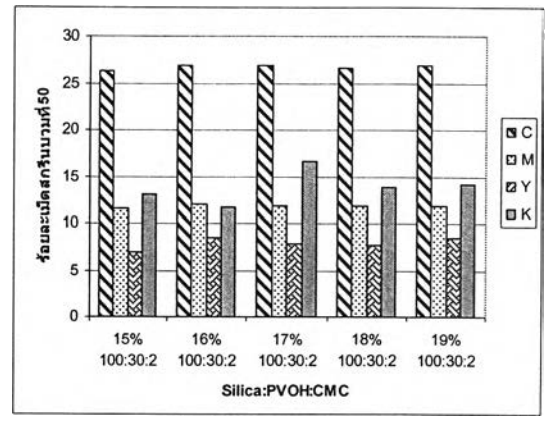
รูปที่ 4.60 กราฟแสดงค่าร้อยละเม็ดสกรีนบวมที่ 50 ที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 16 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างกัน



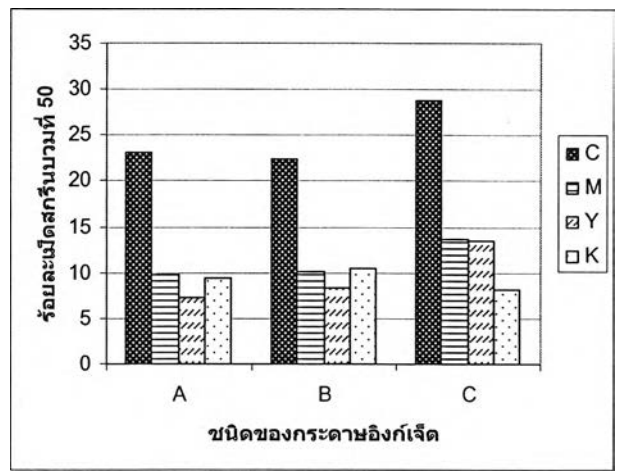
รูปที่ 4.61 กราฟแสดงค่าร้อยละเม็ดสกรีนบวมที่ 50 ที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 17 เมื่อมีสัดส่วนของ ซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างกัน



รูปที่ 4.62 กราฟแสดงค่าร้อยละเม็ดสกรีนบวมที่ 50 ที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15-19 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 โดยใช้ซีเอ็มซีทางการค้า



รูปที่ 4.63 กราฟแสดงค่าร้อยละเม็ดสกรีนบวมที่ 50 ที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15-19 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 โดยใช้ซีเอ็มซีจากชานอ้อย



รูปที่ 4.64 กราฟแสดงค่าร้อยละเม็ดสกรีนบวมที่ 50 ของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า 3

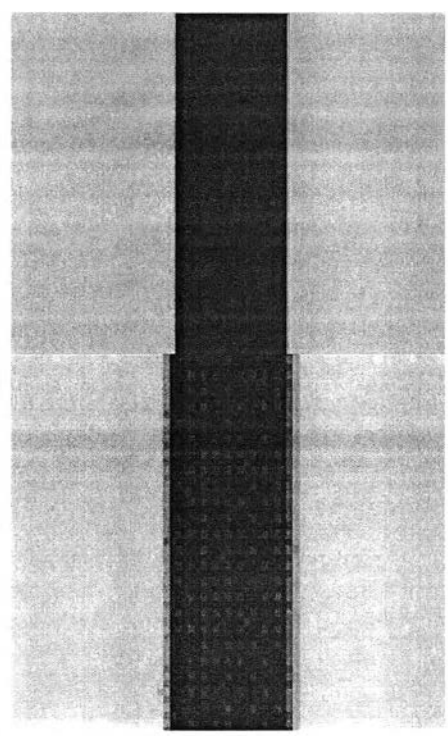
จากกราฟรูปที่ 4.58 แสดงค่าเม็ดสกรีนของสารเคลือบที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์คงที่ 100:40 แต่ทำการเปลี่ยนแปลงค่าร้อยละของแข็งในสารเคลือบเป็น 13 ถึง 19 พบว่าค่าเม็ดสกรีนบวมมีค่าไม่คงที่และไม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลง

สำหรับสารเคลือบที่มีสัดส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น เมื่อร้อยละของแข็งในสารเคลือบคงที่ รูปที่ 4.59-4.61 พบว่าร้อยละเม็ดสกรีนบวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มากขึ้น ดังนั้นสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ 100:30 จะให้ค่าร้อยละเม็ดสกรีนบวมต่ำสุด และการใส่ซีเอ็มซีเข้าไปในสารเคลือบทำให้ค่าร้อยละเม็ดสกรีนบวมของสีไซแอน (C) และสีดำ (K) มีค่าลดลง และเมื่อเปรียบเทียบสารเคลือบที่ใส่ซีเอ็มซีทางการค้ากับซีเอ็มซีจากชานอ้อย พบว่าค่าเม็ดสกรีนบวมมีค่าใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.62-4.63 นี่เป็นเหตุผลว่าทำไมคุณภาพของเส้นดีขึ้น

จากกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าทั้ง 3 ชนิด รูปที่ 4.64 พบว่าค่าเม็ดสกรีนบวมของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด C มีค่าสูงกว่ากระดาษชนิด B และ A แต่เมื่อเปรียบเทียบกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด A และ B กับกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้แล้วพบว่าค่าเม็ดสกรีนบวมที่วัดได้ใกล้เคียงกับกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า C มากที่สุด และมีค่ามากกว่ากระดาษอิงก์เจ็ดชนิด A และ B แต่ว่าความดำของหมึกพิมพ์ยังมีค่าต่ำกว่าเพราะกระดาษอิงก์เจ็ดทางการค้ามีพิกเม้นท์มากกว่า 2 ชนิดขึ้นไป ทำให้กักเก็บหมึกไว้บนพื้นผิวได้ดีกว่า

4.4.1.6 การล้นเลอะระหว่างสี

การล้นเลอะระหว่างสีเกิดขึ้นจากการซึมของหมึกผ่านรูพรุนของกระดาษไปยังตำแหน่งที่ไม่ต้องการทำให้เกิดการซ้อนทับกันของสีบริเวณรอยต่อของสี 2 สี โดยความสามารถในการซึมของหมึกแต่ละสีมีค่าไม่เท่ากัน สีใดที่มีการล้นเลอะของสีสูงจะซึมเข้าหาอีกสีหนึ่ง เช่นการล้นเลอะระหว่างเส้นสีดำบนสีเหลือง หากสีดำมีการล้นเลอะของสีสูงกว่าก็จะทำให้เส้นสีดำมีขนาดใหญ่กว่าต้นฉบับเพราะเกิดการซึมของหมึกสีดำเข้าไปในสีเหลือง



รูปที่ 4.65 ภาพต้นฉบับ เส้นสีดำมีความกว้าง 1 mm (บน) ภาพที่ผลิตได้เกิดการล้นเลอะระหว่างสี (ล่าง)

ตารางที่ 4.20 ร้อยละการล้นเลอะระหว่างเส้นสีดำบนพื้นสีเหลืองของกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้

ร้อยละของแข็ง	SiO_2:PVOH:CMC (สัดส่วนโดยน้ำหนัก)	ความกว้างของเส้นสีดำ (mm)		ร้อยละการล้นเลอะระหว่างสีดำบนพื้นสีเหลือง
		ต้นฉบับ	จากการวัด	
13	100:40:0	1.00	1.10	9.7
15	100:25:0	1.00	1.10	9.7
15	100:30:0	1.00	1.07	7.0
15	100:35:0	1.00	1.06	5.7
15	100:40:0	1.00	1.07	6.7
15	100:45:0	1.00	1.06	6.0
15	100:50:0	1.00	1.11	11.3
16	100:30:0	1.00	1.08	8.0
16	100:35:0	1.00	1.06	5.7
16	100:40:0	1.00	1.09	9.0
16	100:45:0	1.00	1.05	5.3
16	100:50:0	1.00	1.10	9.7
17	100:30:0	1.00	1.06	6.3
17	100:35:0	1.00	1.06	5.7
17	100:40:0	1.00	1.07	7.0
17	100:45:0	1.00	1.09	9.3
17	100:50:0	1.00	1.09	9.0
18	100:40:0	1.00	1.05	5.3
19	100:40:0	1.00	1.05	4.7
15	100:30:2 [c]	1.00	1.05	5.3
16	100:30:2 [c]	1.00	1.08	7.7
17	100:30:2 [c]	1.00	1.10	10.3
18	100:30:2 [c]	1.00	1.08	8.0
19	100:30:2 [c]	1.00	1.08	8.3
15	100:30:2 [b]	1.00	1.04	4.3
16	100:30:2 [b]	1.00	1.08	7.7
17	100:30:2 [b]	1.00	1.10	10.0
18	100:30:2 [b]	1.00	1.09	9.3
19	100:30:2 [b]	1.00	1.10	9.7

c คือสารเคลือบที่ใช้ซีเอ็มซีทางการค้า

b คือสารเคลือบที่ใช้ซีเอ็มซีจากชานอ้อย

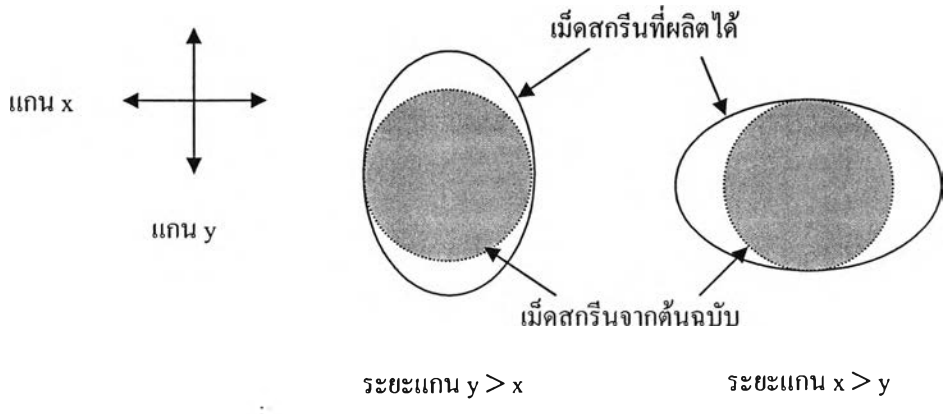
ตารางที่ 4.21 ร้อยละการล้นเลอะระหว่างเส้นสีดำบนพื้นสีเหลืองของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า

ชนิดของกระดาษ	ความกว้างของเส้นสีดำ (mm)		ร้อยละการล้นเลอะระหว่างสีดำบนพื้นสีเหลือง
	ต้นฉบับ	จากการวัด	
A	1.00	1.04	3.7
B	1.00	1.11	11.3
C	1.00	1.05	5.3

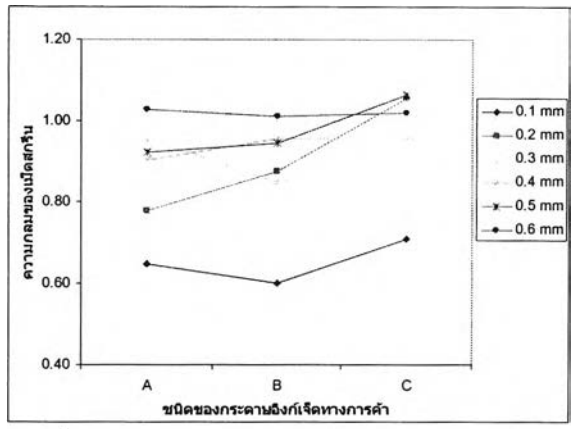
จากตารางที่ 4.20 และ 4.21 พบว่าร้อยละการล้นเลอะระหว่างสีดำบนพื้นสีเหลืองของกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้ มีค่าน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ แต่สำหรับกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้ามีค่าน้อยกว่าของกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้ คือมีค่า 1.0 3.7 และ 5.3 สำหรับกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด B A และ C ตามลำดับ

4.4.1.7 ความกลมของเม็ดสกรีนสีดำ

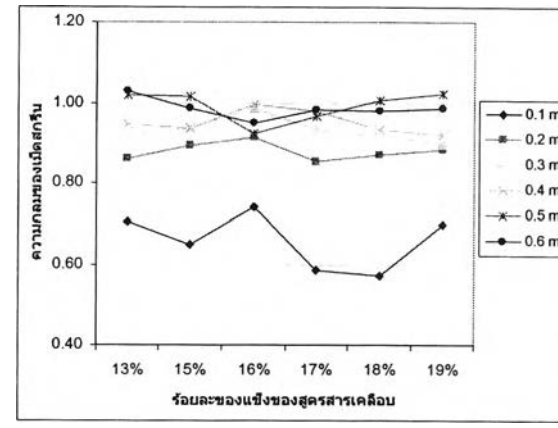
ความกลมของเม็ดสกรีนเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพงานพิมพ์ เนื่องจากในระบบการพิมพ์อิงก์เจ็ตเป็นการพิมพ์ระบบพ่นหมึก หยดหมึกที่ถูกพ่นออกมามีลักษณะเป็นทรงกลม เมื่อพิมพ์ลงบนกระดาษแล้วก็ควรมีลักษณะกลมเช่นกัน แต่จากการใช้เครื่องพิมพ์และกระดาษต่างชนิดกันอาจเป็นสาเหตุให้เม็ดสกรีนไม่กลมได้ ค่าเม็ดสกรีนบวมเป็นค่าที่คำนวณได้จากอัตราส่วนของระยะของเม็ดสกรีนตามแนวแกน y และ x ถ้าได้ค่าเป็น 1 แสดงว่าเม็ดสกรีนมีความกลม แต่ถ้าค่าที่ได้น้อยกว่าหรือมากกว่า 1 แสดงว่าเม็ดสกรีนไม่กลม และสามารถอธิบายได้ว่าค่าเม็ดสกรีนที่น้อยกว่า 1 แสดงว่าระยะของเม็ดสกรีนตามแนวแกน x มากกว่า y หากค่าเม็ดสกรีนที่ได้มากกว่า 1 แสดงว่าระยะของเม็ดสกรีนตามแนวแกน x น้อยกว่า y ดังรูปที่ 4.66



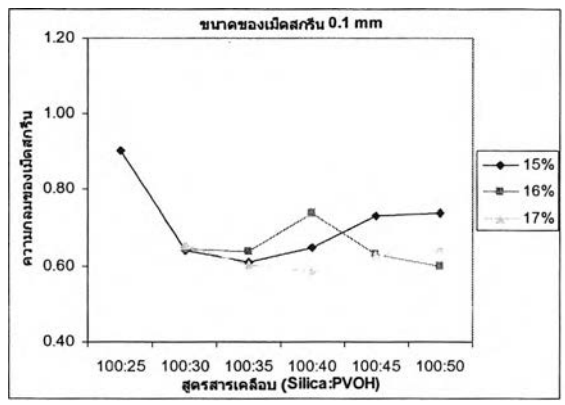
รูปที่ 4.66 ลักษณะความไม่กลมของเม็ดสกรีนโดยระยะของเม็ดสกรีนตามแนวแกน y มากกว่า x (ซ้าย) และระยะของเม็ดสกรีนตามแนวแกน y น้อยกว่า x (ขวา)



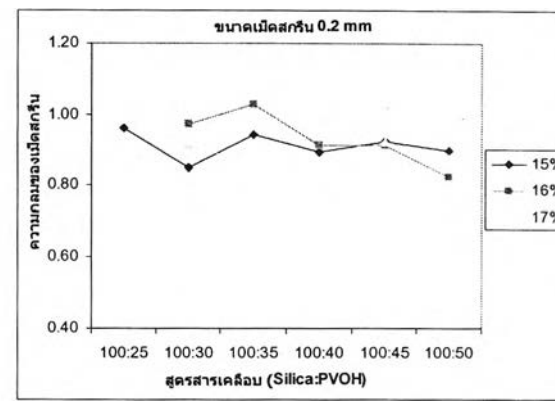
รูปที่ 4.67 ความกลมของเม็ดสกรีนของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า



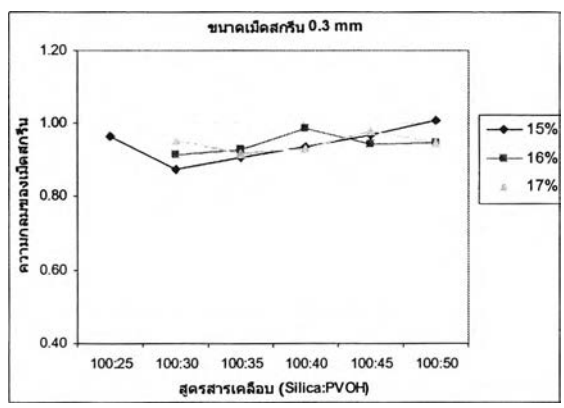
รูปที่ 4.68 ความกลมของเม็ดสกรีนที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:40



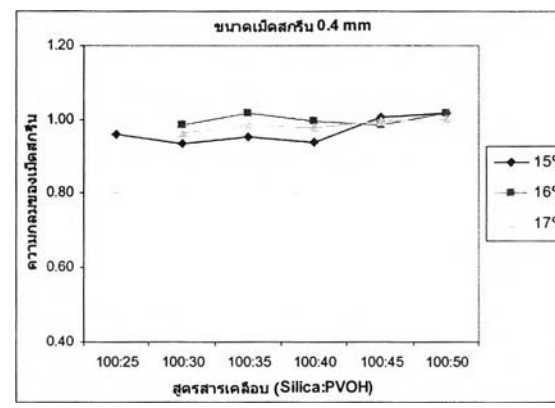
รูปที่ 4.69 ความกลมของเม็ดสกรีนขนาด 0.1 mm ที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15-17 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างกัน



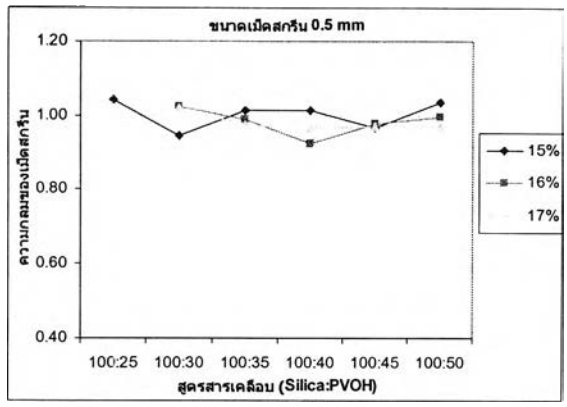
รูปที่ 4.70 ความกลมของเม็ดสกรีนขนาด 0.2 mm ที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15-17 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างกัน



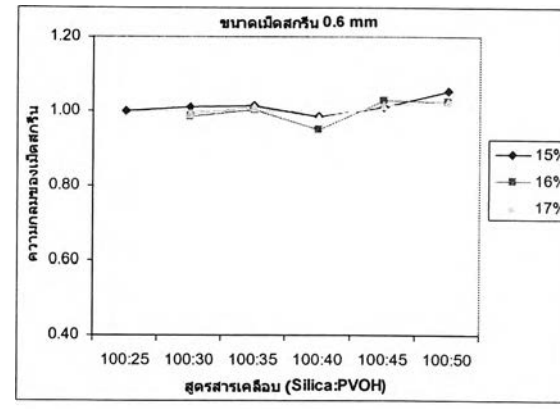
รูปที่ 4.71 ความกลมของเม็ดสกรีนขนาด 0.3 mm ที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15-17 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างกัน



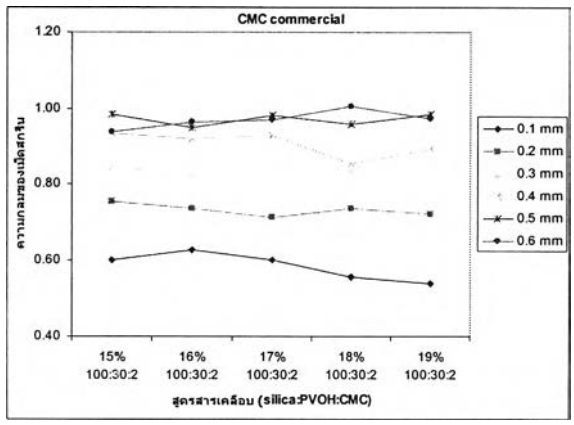
รูปที่ 4.72 ความกลมของเม็ดสกรีนขนาด 0.4 mm ที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15-17 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างกัน



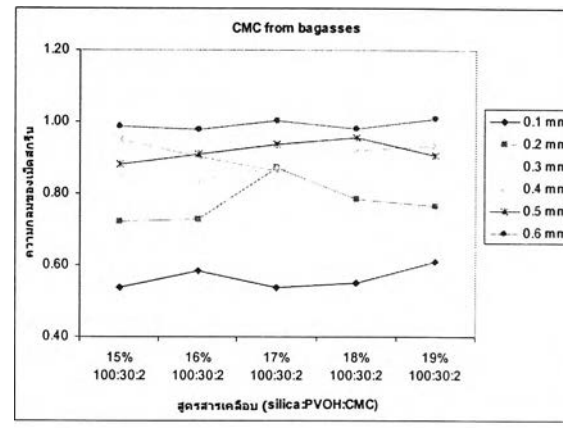
รูปที่ 4.73 ความกลมของเม็ดสกรีนขนาด 0.5 mm ที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15-17 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างกัน



รูปที่ 4.74 ความกลมของเม็ดสกรีนขนาด 0.6 mm ที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15-17 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างกัน



รูปที่ 4.75 ความกลมของเม็ดสกรีนที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15-19 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น100:30:2 โดยใช้ซีเอ็มซีทางการค้า



รูปที่ 4.76 ความกลมของเม็ดสกรีนที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15-19 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น100:30:2 โดยใช้ซีเอ็มซีจากชานอ้อย

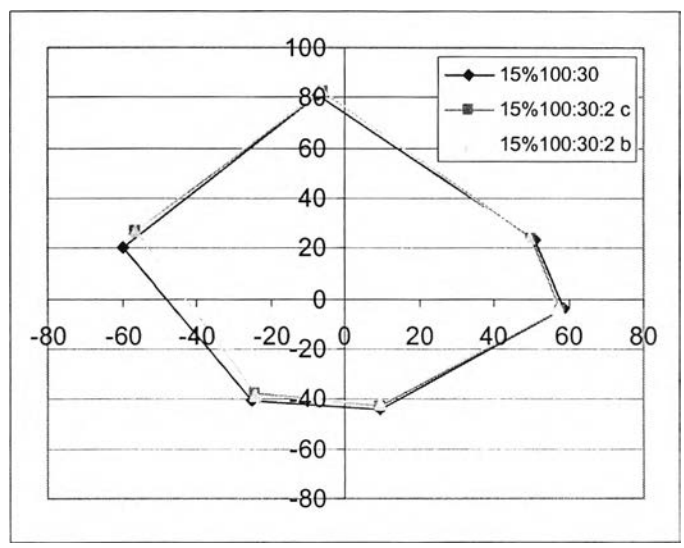
เมื่อพิจารณาความกลมของเม็ดสกรีนสีดำซึ่งเป็นสีที่เห็นชัดเมื่อมองผ่านกล้องวิเคราะห์ภาพพบว่า เมื่อเม็ดสกรีนมีขนาดใหญ่ขึ้น ความกลมของเม็ดสกรีนมีค่าใกล้เคียงกับ 1 มากขึ้น นั่นคือความกลมของเม็ดสกรีนมีมากขึ้นโดยเฉพาะเม็ดสกรีนขนาด 0.5 mm และ 0.6 mm

จากการพิจารณาความกลมของเม็ดสกรีนขนาด 0.6 mm ในรูปที่ 4.74 สรุปได้ว่าสูตรสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:50 และสูตรสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 16 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:40 เม็ดสกรีนมีความกลมน้อยโดยมีค่าความกลมเท่ากับ 1.05 และ 0.95 ตามลำดับ ขณะที่สูตรสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งเท่ากับ 15-17 และมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อื่น ๆ นอกเหนือจากที่กล่าวมาให้ค่าความกลมของเม็ดสกรีนใกล้เคียงกับ 1 มากกว่ากระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด A B และ C

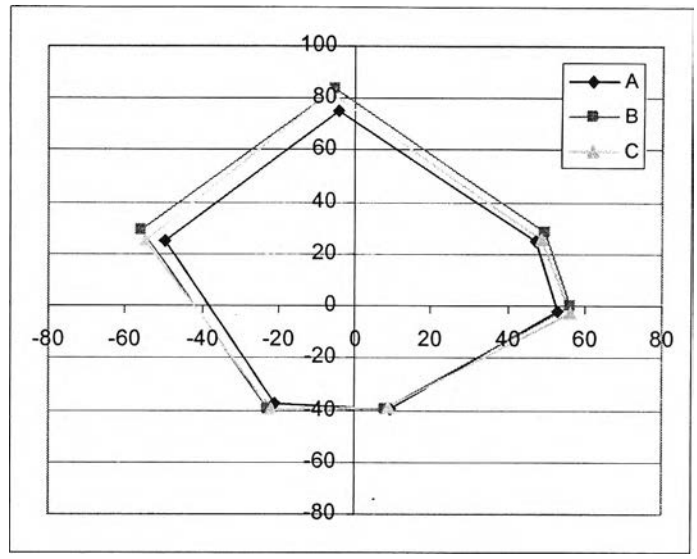
จากรูปที่ 4.75 และ 4.76 พบว่ากระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่ใส่ซีเอ็มซีจากทางการค้าและจากชานอ้อยให้ค่าความกลมของเม็ดสกรีนใกล้เคียงกับกระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่ไม่ใส่ซีเอ็มซี และที่เม็ดสกรีนขนาด 0.1 0.2 0.3 0.4 และ 0.5 mm พบว่ากระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่ใส่ซีเอ็มซีจากชานอ้อยให้ค่าความกลมของเม็ดสกรีนต่ำกว่าสารเคลือบที่ใส่ซีเอ็มซีทางการค้า แต่ถ้าพิจารณาที่เม็ดสกรีนขนาด 0.6 mm พบว่ากระดาษที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่ใส่ซีเอ็มซีจากชานอ้อยให้ความกลมของเม็ดสกรีนดีกว่าและจากภาพสรุปได้ว่าสารเคลือบที่ใส่ซีเอ็มซีจากชานอ้อยสูตรซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซี 100:30:2 (ร้อยละของแข็งเท่ากับ 17) และสารเคลือบที่ใส่ซีเอ็มซีทางการค้าสูตรซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซี 100:30:2 (ร้อยละของแข็งเท่ากับ 18) ให้ค่าความกลมเม็ดสกรีนเท่ากับ 1 ขณะที่กระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าไม่มีชนิดใดเลยที่ให้ค่าความกลมของเม็ดสกรีนค่าเท่ากับ 1

4.4.1.8 ขอบเขตสี

นำกระดาษที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็ง 13-19 และมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:40 และสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็ง 15-17 ที่มีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:30 100:35 100:40 100:45 และ 100:50 และสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็ง 15-19 ที่มีสัดส่วนของซิลากาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 ที่พิมพ์แผ่นทดสอบมาตรฐาน QEA test target แล้วมาวัดขอบเขตสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer ของ X-Rite ที่สภาวะแสง D65/2° จากนั้นทำการเขียนกราฟขอบเขตสีที่วัดได้



รูปที่ 4.77 ขอบเขตสีของงานพิมพ์บนกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เป็น 100:30 และกระดาษที่มีร้อยละของแข็งเท่ากับ 15 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซี เป็น 100:30:2 โดยใช้ซีเอ็มซีทางการค้าและซีเอ็มซีจากชานอ้อย



รูปที่ 4.78 ขอบเขตสีของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า 3 ชนิด

จากรูปที่ 4.77 -4.78 พบว่ากระดาษอิงก์เจ็ตที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 และมีสัดส่วนซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:30 ให้ขอบเขตสีกว้างกว่ากระดาษชนิดอื่น ๆ เนื่องจากสามารถให้ความอิ่มตัวของสีดีกว่า ความดำหมึกพิมพ์สูงกว่า ส่วนกระดาษอิงก์เจ็ตที่ใส่ซีเอ็มซีทั้งจากทางการค้าและชานอ้อยให้ขอบเขตสีใกล้เคียงกันเพราะค่าความดำหมึกพิมพ์ใกล้เคียงกัน สำหรับกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด A นั้นมีขอบเขตสีต่ำที่สุด ขณะที่กระดาษชนิด C และ B มีขอบเขตสีใกล้เคียงกัน จากการมองภาพรวมพบว่ากระดาษอิงก์เจ็ตที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบ 15 และมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:30 ให้ขอบเขตสีกว้างกว่ากระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าทั้ง 3 ชนิด กระดาษอิงก์เจ็ตที่ทำการใส่ซีเอ็มซีให้ขอบเขตสีใกล้เคียงกับกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าของ C และ B

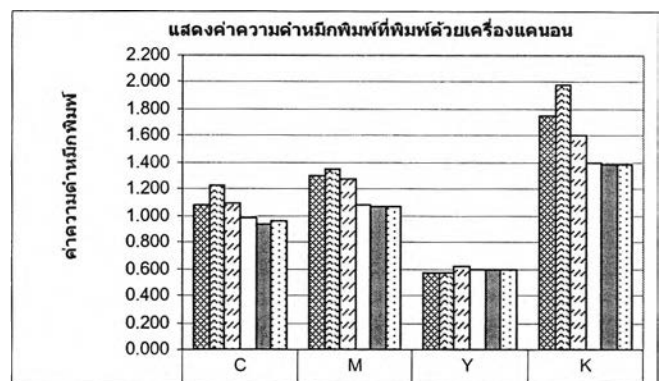
4.4.2 คุณภาพงานพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Canon รุ่น i9100

จากการศึกษาคุณภาพงานพิมพ์ของกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้และกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าทั้งหมดที่พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Epson รุ่น Stylus photo 2100 พบว่ากระดาษอิงก์เจ็ตที่เหมาะสมนำมาใช้ในการพิมพ์ระบบอิงก์เจ็ต คือ กระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบ 15 และมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:30 และกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบ 15 และมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 เนื่องจากใช้ปริมาณวัตถุดิบต่ำและให้คุณภาพงานพิมพ์เป็นที่ยอมรับเมื่อเทียบกับกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า ดังนั้นเราจึงได้นำกระดาษอิงก์เจ็ตที่เราผลิตได้นี้มาทดสอบงานพิมพ์กับเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Canon รุ่น i9100 ว่าให้คุณภาพงานพิมพ์เป็นที่ยอมรับหรือไม่ โดยจะทำการวิเคราะห์ค่าความดำหมึกพิมพ์

ความมันวาวหมึกพิมพ์ คุณภาพของเส้น คุณภาพตัวอักษร ค่าร้อยละเม็ดสกรีนบวมที่ 50 การล้นเลอะระหว่างหมึกพิมพ์สีดำกับสีเหลือง ความกลมของเม็ดสกรีนสีดำและขอบเขตสีของกระดาษที่เราผลิตได้และกระดาษอิงก์เจ็ดทางการค้า 3 ชนิด เช่นเดียวกับที่ใช้กับเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Epson

4.4.2.1 ความดำหมึกพิมพ์

นำกระดาษอิงก์เจ็ตที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 และมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:30 และกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 และมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 มาพิมพ์ QEA test target ด้วยเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Canon รุ่น i9100 ที่มีความละเอียดในการพิมพ์ 4,800x1,200 dpi เป็นเครื่องพิมพ์ 6 สี และมีสารให้สีในหมึกพิมพ์เป็นสีย้อม จากนั้นทำการหาค่าความดำหมึกพิมพ์



	C	M	Y	K
A	1.082	1.297	0.576	1.750
B	1.231	1.345	0.568	1.983
C	1.100	1.282	0.621	1.601
15%100:30:2 com	0.985	1.081	0.593	1.402
15%100:30:2 Lab	0.931	1.067	0.596	1.391
15%100:30	0.957	1.068	0.598	1.382

รูปที่ 4.79 กราฟแสดงความดำหมึกพิมพ์ของกระดาษอิงก์เจ็ดที่พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Canon รุ่น i9100

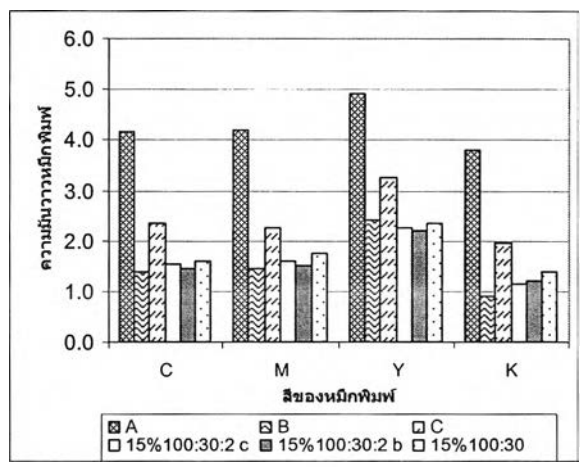
จากรูปที่ 4.79 พบว่ากระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้ให้ค่าความดำหมึกพิมพ์ต่ำกว่าของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าอยู่มาก โดยเฉพาะสีไซแอน สีดำและสีมาเจนตา แต่เมื่อเปรียบเทียบกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้ภายในกลุ่มเดียวกันแล้ว ค่าความดำหมึกพิมพ์ที่ได้มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่ในกลุ่มของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า พบว่ากระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด C A และ B ให้ค่าความดำหมึกพิมพ์จากมากที่สุดไปน้อยที่สุดตามลำดับ

ค่าความดำหมึกพิมพ์ที่ได้จากเครื่องยี่ห้อ Canon นี้แตกต่างกับค่าที่ได้จากเครื่อง Epson มาก คือ กระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าที่พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Canon ให้ค่าความดำหมึกพิมพ์ของสีไซแอน สีมาเจนตาและสีดำสูงกว่าเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Epson แต่สีเหลืองมีค่าความดำหมึก

พิมพ์ต่ำกว่า ขณะที่กระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้เมื่อพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Canon ให้ค่าความดำหมึกพิมพ์ของสีไซแอน สีมาเจนตาและสีดำใกล้เคียงกับเมื่อพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Epson ยกเว้นค่าความดำหมึกพิมพ์สีเหลืองที่มีค่าต่ำกว่า เหตุผลที่ค่าความดำหมึกพิมพ์ต่างกันเนื่องจากหมึกพิมพ์ของ Epson เป็นชนิดพิกเม้นท์ 7 สี โดยมีสีดำอ่อน (Light black) เพิ่มขึ้นมามากกว่าเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Canon ที่หมึกพิมพ์เป็นชนิดสีย้อม และมีหมึกพิมพ์เพียง 6 สี คือ ไซแอน มาเจนตา เหลือง ดำ ไซแอนอ่อน และมาเจนตาอ่อน อีกปัจจัยที่ทำให้ค่าความดำหมึกพิมพ์ต่างกันก็คือเทคโนโลยีหัวพิมพ์ที่ใช้ แตกต่างกัน คือ Canon เป็นระบบ Bubble Jet ขณะที่ Epson เป็นระบบ Piezo

4.4.2.2 ความมันวาวหมึกพิมพ์

เมื่อวัดค่าความดำหมึกพิมพ์แล้วก็นำกระดาษที่พิมพ์ QEA test target นั้นมาทำการวัดความมันวาวหมึกพิมพ์โดยวัดที่มุม 75°



รูปที่ 4.80 กราฟแสดงความมันวาวหมึกพิมพ์ของกระดาษอิงก์เจ็ตที่พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Canon รุ่น i9100

ความมันวาวหมึกพิมพ์ของกระดาษที่พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Canon มีค่าต่ำกว่า 10 หน่วย ทั้งสีไซแอน มาเจนตา สีเหลืองและสีดำ (รูปที่ 4.80) นั่นแสดงว่ากระดาษที่ผลิตได้เป็นกระดาษชนิดด้านทำให้หมึกพิมพ์ไม่เกิดความมันวาว ค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับเมื่อพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Epson

4.4.2.3 คุณภาพของเส้น

นำกระดาษอิงก์เจ็ตที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 และมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:30 และกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 และมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 มาวิเคราะห์คุณภาพของเส้นที่มีขนาดต่าง ๆ กัน ทั้งเนกาทีฟและพอสิทีฟตามแนวนอนและแนวตั้ง

ตารางที่ 4.22 คุณภาพของเส้นของกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้ (พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Canon)

ร้อยละของแข็ง	SiO_2:PVOH:CMC	คุณภาพของเส้นที่ผลิตได้ (พอยท์)				
		C	M	Y	K	ทิศทาง
15	100:30:2 [c]	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8	Neg/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Neg/v
15	100:30:2 [b]	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8	Neg/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Neg/v
15	100:30:0	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8	Neg/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Neg/v

c คือสารเคลือบที่ใช้ซีเอ็มซีทางการค้า

b คือสารเคลือบที่ใช้ซีเอ็มซีจากชานอ้อย

Pos และ Neg คือเส้นพอสิทีฟและเนกาทีฟตามลำดับ

h และ v คือทิศทางแนวนอนและแนวดิ่งตามลำดับ

f : เส้นไม่คมชัด

ตารางที่ 4.23 คุณภาพของเส้นของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า (พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Canon)

ชนิดของกระดาษ	น้ำหนักพื้นฐาน (g/m2)	คุณภาพของเส้นที่ผลิตได้ (พอยท์)				
		C	M	Y	K	ทิศทาง
A	100	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8	Neg/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Neg/v
B	90	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8f	1/8f	1/8f	1/8f	Neg/h
		1/8f	1/8f	1/8f	1/8f	Neg/v
C	90	1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/h
		1/8	1/8	1/8	1/8	Pos/v
		1/8	1/8	1/8	1/8f	Neg/h
		1/8	1/8	1/8	1/8f	Neg/v

Pos และ Neg คือเส้นพอสิทีฟและเนกาทีฟตามลำดับ

h และ v คือทิศทางแนวนอนและแนวดิ่งตามลำดับ

f : เส้นไม่คมชัด

จากตารางที่ 4.22 และ 4.23 พบว่าคุณภาพของเส้นบนกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้ที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 และมีซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:30 และกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 และมีซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 ทั้งที่ใส่ซีเอ็มซีทางการค้าและจากชานอ้อย ให้คุณภาพของเส้นดีมาก ไม่มีปัญหาเส้นไม่คมชัดและรอยปนเปื้อน เมื่อเทียบกับกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าสามารถเทียบได้กับกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด A ขณะที่กระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด C ยังมีปัญหาเส้นเนกาทีฟสีดำไม่คมชัดและชนิด B มีปัญหาหาเส้นเนกาทีฟของสีไซแอนและสีดำไม่คมชัดอย่างเห็นได้ชัด (จากรูปในภาคผนวก ก)

สำหรับคุณภาพของเส้นที่ดีขึ้นเพราะเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Canon มีความละเอียด 4,800 X 1,200 dpi ซึ่งสูงกว่าเครื่อง Epson ที่มีความละเอียด 2,880 X 1,440 dpi ทำให้สามารถพิมพ์หยดหมึกลงบนจุดที่ต้องการได้ถี่ขึ้น ภาพจึงมีรายละเอียดมากขึ้น

4.4.2.4 คุณภาพตัวอักษร

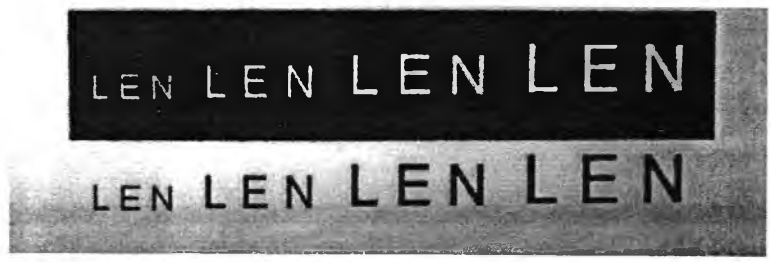
การวิเคราะห์คุณภาพตัวอักษรก็ทำเช่นเดียวกับที่วิเคราะห์คุณภาพตัวอักษรของกระดาษที่พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Epson รุ่น Stylus photo 2100 โดยวิเคราะห์ทั้งตัวอักษรที่เป็นเนกาทีฟและพอสิทีฟ

รูปที่ 4.81 ภาพถ่ายตัวอักษรของสูตรสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:30 (พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Canon)

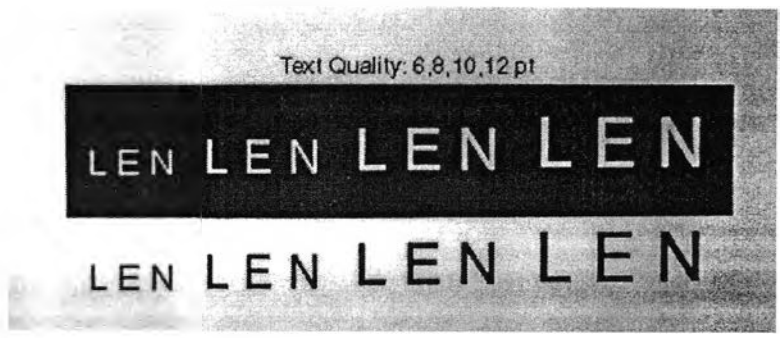
รูปที่ 4.82 ภาพถ่ายตัวอักษรของสูตรสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 โดยใช้ซีเอ็มซีทางการค้า (พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Canon)

รูปที่ 4.83 ภาพถ่ายตัวอักษรของสูตรสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 โดยใช้ซีเอ็มซีจากชานอ้อย (พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Canon)

รูปที่ 4.84 ภาพถ่ายตัวอักษรของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด A



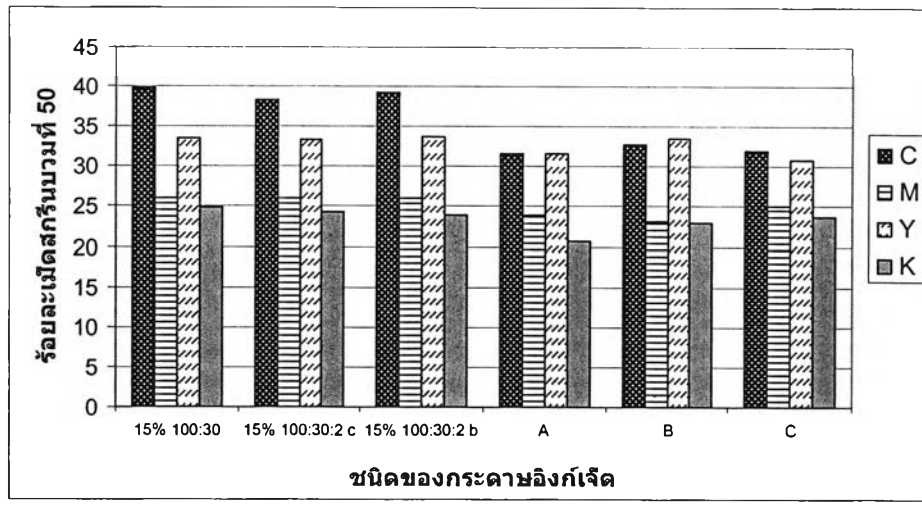
รูปที่ 4.85 ภาพถ่ายตัวอักษรของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด B



รูปที่ 4.86 ภาพถ่ายตัวอักษรของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด C

จากภาพถ่ายตัวอักษรที่ได้ (รูปที่ 4.81-4.86) แสดงให้เห็นว่ากระดาษที่ผลิตได้และกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าสามารถผลิตตัวอักษรขนาด 6 พอยท์ ทั้งในแบบพอสิทีฟและเนกาทีฟได้ ยกเว้นกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด B ที่ตัวอักษรเนกาทีฟ 6 พอยท์เกิดรอยหยักที่ขอบตัวอักษร ทำให้ตัวอักษรที่ได้ไม่สะอาดมีรอยสีดำปนเปื้อนเพราะกระดาษชนิดนี้มีความเรียบบริเวณพื้นผิวกระดาษต่ำ

4.4.2.5 ค่าร้อยละเม็ดสกรีนบวมที่ 50



รูปที่ 4.87 กราฟแสดงค่าร้อยละเม็ดสกรีนบวมที่ 50 ของกระดาษอิงก์เจ็ตที่พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Canon

จากรูปที่ 4.87 แสดงให้เห็นกว่ากระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้ที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 และมีซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:30 และกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 และมีซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 ทั้งที่ใส่ซีเอ็มซีทางการค้าและจากชานอ้อย ให้ค่าเม็ดสกรีนบวมใกล้เคียงกัน (± 5เปอร์เซ็นต์) ทั้งสีไซแอน มาเจนตา เหลือง และสีดำ และมีค่ามากกว่ากระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า เมื่อสังเกตกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าทั้ง 3 ชนิดพบว่ามีค่าเม็ดสกรีนบวมแตกต่างกันไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ หรือกล่าวได้ว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

4.4.2.6 การล้นเลอะระหว่างสี

ตารางที่ 4.24 ร้อยละการล้นเลอะระหว่างเส้นสีดำบนพื้นสีเหลืองของกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้ (พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Canon)

ร้อยละของแข็ง	SiO_2:PVOH:CMC	ความกว้างของเส้นสีดำ (mm)		ร้อยละการล้นเลอะระหว่างสีดำบนพื้นสีเหลือง
		ต้นฉบับ	จากการวัด	
15	100:30:0	1.00	1.13	13.3
15	100:30:2[c]	1.00	1.13	13.3
15	100:30:2[b]	1.00	1.14	14.0

ตารางที่ 4.25 ร้อยละการล้นเลอะระหว่างเส้นสีดำบนพื้นสีเหลืองของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า (พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Canon)

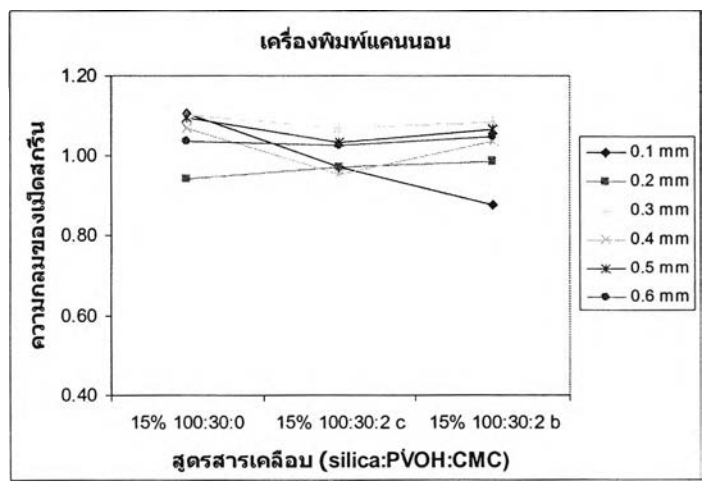
ชนิดของกระดาษ	ความกว้างของเส้นสีดำ (mm)		ร้อยละการล้นเลอะระหว่างสีดำบนพื้นสีเหลือง
	ต้นฉบับ	จากการวัด	
A	1.00	1.12	11.8
B	1.00	1.27	26.8
C	1.00	1.19	19.0

จากตารางที่ 4.24-4.25 (พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ Canon) และตารางที่ 4.20-4.21 (พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Epson) พบว่าค่าร้อยละการล้นเลอะระหว่างเส้นสีดำบนพื้นสีเหลืองด้วยเครื่อง Canon มีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากเครื่อง Epson นั่นเป็นเพราะว่าเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Canon มีความละเอียด 4,800 x 1,200 dpi ซึ่งตามแนวแกน x มากกว่าของเครื่อง Epson ที่มีค่า 2,880 x 1,440 dpi

ตาราง 4.25 แสดงให้เห็นค่าร้อยละการล้นเลอะของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด B ว่ามีค่า 26.8 และกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด C มีค่าร้อยละ 19.0 ซึ่งสูงกว่ากระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้ ส่วนกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด A มีค่าต่ำสุดคือร้อยละ 11.8

4.4.2.7 ความกลมของเม็ดสกรีนสีดำ

การวัดความกลมของเม็ดสกรีนสีดำจะทำการวัดด้วยวิธีการเช่นเดียวกับที่หาในหัวข้อที่ 4.4.1.7 ของกระดาษอิงก์เจ็ตที่พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Epson แต่ในขั้นตอนนี้จะทำการวัดความกลมของเม็ดสกรีนสีดำของภาพพิมพ์บนกระดาษอิงก์เจ็ตที่พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Canon ได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.88 ความกลมของเม็ดสกรีนขนาด 0.1-0.6 mm ที่พิมพ์บนกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้ ด้วยเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Canon

ตารางที่ 4.26 ค่าความกลมของเม็ดสกรีนของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า (พิมพ์ด้วยเครื่องยี่ห้อ Canon)

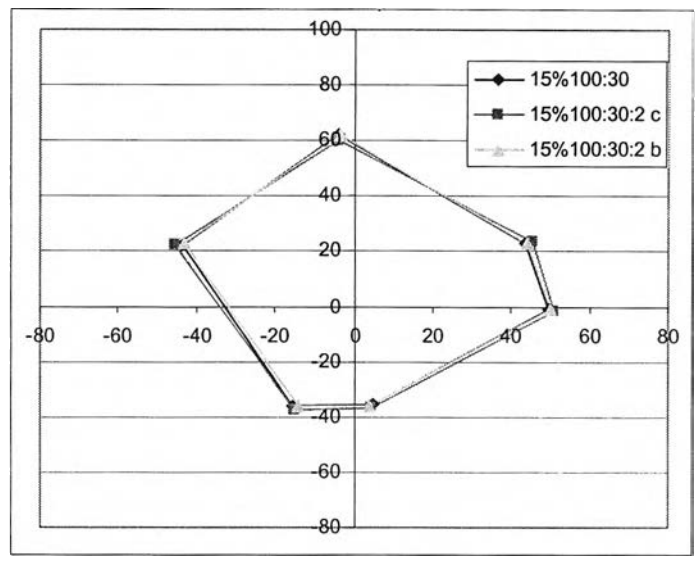
ชนิดของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า	ขนาดเม็ดสกรีน (mm)	ระยะแกน y (mm)	ระยะแกน x (mm)	ความกลมของเม็ดสกรีน
A	0.10	0.183	0.225	0.81
	0.20	0.275	0.290	0.95
	0.30	0.420	0.408	1.03
	0.40	0.600	0.575	1.04
	0.50	0.693	0.665	1.04
	0.60	0.800	0.740	1.08
B	0.10	0.298	0.343	0.87
	0.20	0.325	0.370	0.88
	0.30	0.538	0.510	1.05
	0.40	0.618	0.578	1.07
	0.50	0.703	0.655	1.07
	0.60	0.805	0.765	1.05
C	0.10	0.255	0.270	0.94
	0.20	0.348	0.338	1.03
	0.30	0.503	0.500	1.01
	0.40	0.633	0.588	1.08
	0.50	0.720	0.695	1.04
	0.60	0.850	0.765	1.11

ค่าความกลมของเม็ดสกรีนขนาด 0.1 mm และ 0.2 mm ที่วัดและคำนวณได้เมื่อพิมพ์บนกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้โดยใช้สูตรสารเคลือบที่มีเปอร์เซ็นต์ของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 และมีซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:30 และกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 และมีซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 ทั้งที่ใส่ซีเอ็มซีทางการค้าและจากชานอ้อยและกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าห่างจากค่า 1 มาก ตามตารางที่ 4.26 แต่กระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้มีค่าใกล้เคียงกับ 1 มากกว่า แสดงว่าเม็ดสกรีนขนาด 0.1 mm และ 0.2 mm มีความกลมน้อย ขณะที่เม็ดสกรีนขนาด 0.3-0.6 mm มีค่าใกล้กับ 1 มากกว่า โดยกระดาษอิงก์เจ็ตสูตรสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งเท่ากับ 15 เมื่อมีซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 ที่ใช้ซีเอ็มซีทางการค้าให้ค่าความกลมของเม็ดสกรีนมากกว่ากระดาษอิงก์เจ็ตที่ใช้ซีเอ็มซีจากชานอ้อยและที่ไม่

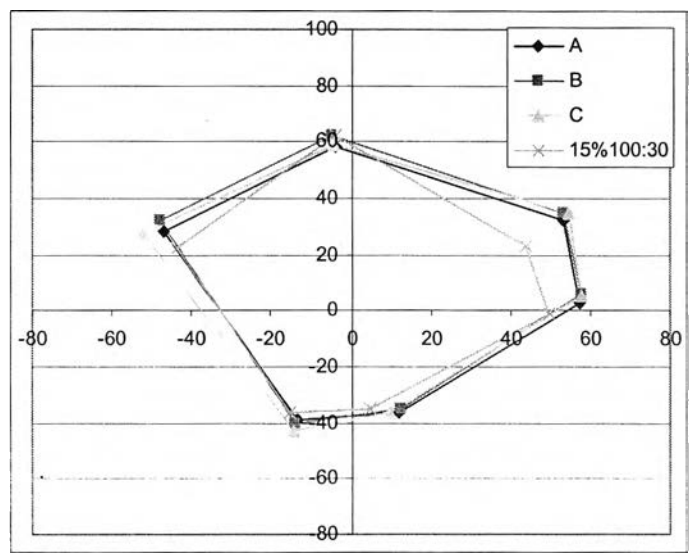
ใช้ซีเอ็มซี ขณะที่กระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด B มีความกลมของเม็ดสกรีนมากกว่ากระดาษชนิด Aและ C มีค่าความกลมน้อยที่สุด

4.4.2.8 ขอบเขตสี

สมบัติสุดท้ายคือความอิ่มตัวของสีก็จะแปรผันตามกับค่าความดำของหมึกพิมพ์ที่ได้ คือถ้ากระดาษใดให้ค่าความดำหมึกพิมพ์มากก็จะให้ความอิ่มตัวของสีสูงขึ้นเป็นผลให้ขอบเขตสีกว้างขึ้น



รูปที่ 4.89 ขอบเขตสีของงานพิมพ์บนกระดาษที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เป็น 100:30 และกระดาษที่มีร้อยละของแข็งเท่ากับ 15 เมื่อมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซี เป็น 100:30:2 โดยใช้ซีเอ็มซีทางการค้าและซีเอ็มซีจากชานอ้อย (พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Canon)



รูปที่ 4.90 ขอบเขตสีของกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า 3 ชนิด (พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Canon)

รูปที่ 4.89-4.90 แสดงว่าขอบเขตสีของกระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้ เมื่อพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ยี่ห้อ Canon รุ่น i9100 พบว่าสารเคลือบที่มีร้อยละของแข็งในสารเคลือบเท่ากับ 15 และมีสัดส่วนของซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 100:30 และกระดาษที่มีร้อยละของแข็งเท่ากับ 15 ที่มีซิลิกาต่อพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเอ็มซีเป็น 100:30:2 ทั้งที่มีซีเอ็มซีจากชานอ้อยและซีเอ็มซีทางการค้าให้ขอบเขตสีใกล้เคียงกันทุกสูตร ขณะที่กระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าทั้ง 3 ชนิดมีขอบเขตสีกว้างกว่ากระดาษอิงก์เจ็ตที่ผลิตได้ โดยกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าที่มีขอบเขตสีจากมากที่สุดไปน้อยที่สุด คือ กระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าชนิด C B และ A ตามลำดับ