

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

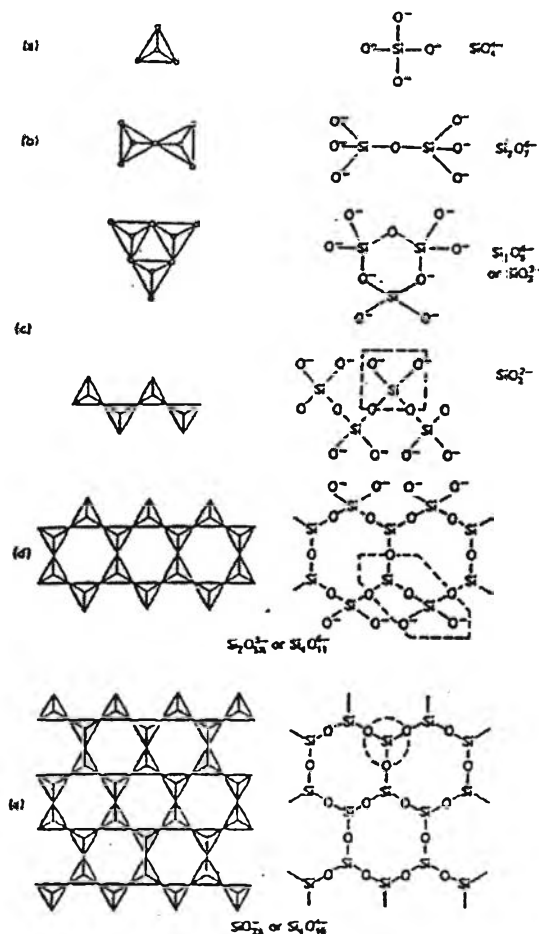


2.1 แนวคิดและทฤษฎี

2.1.1 ซิลิกาหรือซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2)

2.1.1.1 โครงสร้างของซิลิกา

ซิลิกาหรือซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2)(1) เป็นสารประกอบที่เกิดจากการรวมตัวระหว่างซิลิกอนและออกซิเจน หน่วยย่อยพื้นฐานทางโครงสร้างของซิลิกาและเกลือซิลิเกตส่วนใหญ่เป็นการจัดเรียงตัวแบบทรงสี่หน้า (Tetrahedral) ของออกซิเจนสี่อะตอมล้อมรอบซิลิกอนซึ่งเป็นอะตอมกลาง โดยโครงสร้างของซิลิกาจะมีลักษณะเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติแบบไม่รู้จักจบ (Infinite three dimensional network) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 รูปแบบต่าง ๆ ของการเชื่อมต่อของ SiO_4 Tetrahedral ในโครงสร้างพื้นฐานของซิลิกา (1)

2.1.1.2 ลักษณะของซิลิกา

ที่อุณหภูมิปกติซิลิกาเป็นสารที่ทนต่อสารเคมีหลายชนิด แต่อย่างไรก็ตามซิลิกาเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้หลายรูปแบบภายใต้สภาวะที่เหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิสูง มีหลายสภาวะการณที่ซิลิกาอสัณฐานมีความไวสูงกว่าซิลิกาชนิดผลึกแต่ความไวของพื้นที่ผิวของซิลิกาชนิดผลึกมีมากกว่าของซิลิกาอสัณฐานเนื่องจากซิลิกาอสัณฐานมีพื้นที่ผิวของหมู่ไฮดรอกซิล (ซิลานอล) ซึ่งครึ่งหนึ่งของหมู่ไฮดรอกซิลจะยังคงอยู่แม้จะให้ความร้อนถึง 400°C

กรดทั่วไปไม่สามารถทำให้ซิลิกาเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ ยกเว้นกรดไฮโดรฟลูออริก ซึ่งจะให้ป็นฟลูออโรซิลิเกตไอออน เช่น SiF_6^{2-} อัตราเร็วสำหรับการเปลี่ยนรูปแบบซิลิกาซึ่งละลายอยู่ในสารละลายฟลูออริกจะลดลงเมื่อซิลิกามีความหนาแน่น (ρ) มากขึ้น ลำดับความหนาแน่นเป็นดังนี้

วิทรียส ซิลิกา (Vitreous silica) ($\rho = 2.2 \text{ g/cm}^3$) < ไตรไดไมท์ (Tridymite) ($\rho = 2.22 \text{ g/cm}^3$) \cong คริสโตแบไลท์ (Cristobalite)

คริสโตแบไลท์ ($\rho = 2.33 \text{ g/cm}^3$) < ควอทซ์ (Quartz) ($\rho = 2.65 \text{ g/cm}^3$) และโคไซท์ (Coesite) ($\rho = 3.01 \text{ g/cm}^3$)

โคไซท์ที่ไม่ละลายในสารละลายฟลูออริก ส่วนกรดฟอสฟอริกสามารถทำปฏิกิริยากับวิทรียสซิลิกาได้ที่อุณหภูมิสูงเกิดเป็นผลึกของซิลิโกฟอสเฟต (Silico phosphate) การละลายของซิลิกาจะดีขึ้นในกรดฟอสฟอริกที่เจือจาง ควอทซ์และวิทรียสซิลิกาเกิดปฏิกิริยาได้เล็กน้อยในสารละลายต่างที่อุณหภูมิห้องและจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

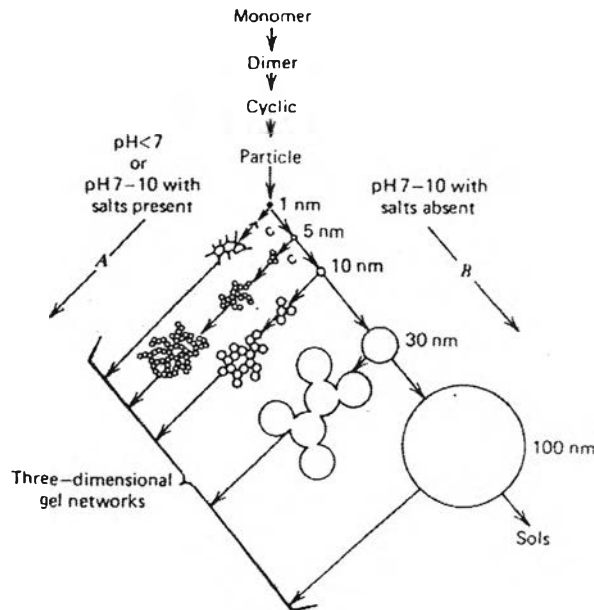
2.1.1.3 รูปแบบของซิลิกา

ซิลิกาอสัณฐาน (2) เป็นรูปแบบหนึ่งของซิลิกาชนิดไม่ใช้ผลึก (Noncrystalline Silica) สามารถตรวจสอบโครงสร้างได้โดย X-ray diffraction

ซิลิกาอสัณฐาน สามารถแบ่งได้เป็น 3 พวกใหญ่ ๆ คือ วิทรียสซิลิกา (Vitreous silica) เอ็มซิลิกา (Silica M) ซึ่งเกิดจากการยิงนิวตรอนด้วยความเร็วสูงไปยังซิลิกาอสัณฐาน หรือซิลิกาชนิดผลึก (Crystalline silica) และพวกสุดท้ายคือ ซิลิกาอสัณฐานขนาดเล็ก (Microamorphous silica) ซึ่งรวมถึงโซล (Sols) ผงเจล (Gels powder) และแก้วที่มีความพรุนสูง (Porous glasses) ซึ่งทั้งหมดมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า $1 \mu\text{m}$ และมีพื้นที่ผิวสูงโดยทั่วไปพื้นที่ผิวจะมากกว่า $3 \text{ m}^2/\text{g}$

ซิลิกาเป็นสารที่สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้ โดยการเกาะเกี่ยวของอนุภาคเชื่อมต่อกันจนเป็น โซ้และ โครงตาข่าย กระบวนการเกิดปฏิกิริยา 3 ขั้นตอน คือ

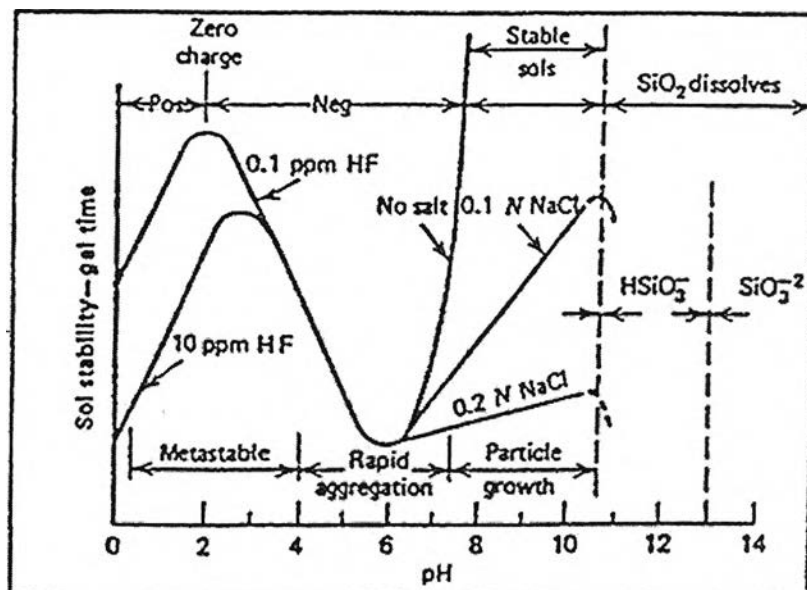
การพอลิเมอไรเซชันของมอนอเมอร์เพื่อเกิดเป็นอนุภาค ขั้นที่สองคือขนาดของอนุภาคเติบโตขึ้น และขั้นตอนสุดท้ายคือ การเชื่อมต่อกันของอนุภาค เพื่อให้เกิดเป็น โซลและ โครงตาข่าย ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของชิติกา ในสารละลายต่าง (B) อนุภาคในโซลมีขนาดเพิ่มขึ้น ในสารละลายกรดหรือเกลือ (A) อนุภาคเกิดการรวมกลุ่มเป็น โครงสร้างตาข่าย 3 มิติเกิดเป็นเจล (2)

หมายเหตุ : ในสารละลายต่าง (B) อนุภาคในโซลจะโตขึ้น ดังนั้นจำนวนจึงลดลง ในสารละลายกรดหรือใน Flocculating salts (A) พบว่าอนุภาคจะจับตัวเป็น โครงตาข่ายสามมิติแล้วจึงเกิดเป็นเจล

1) ชิติกาโซลและคอลลอยดอลชิติกา ชิติกาโซลที่มีขนาดอนุภาคเป็น คอลลอยด์ของชิติกาอสัณฐานจะกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในสารละลาย ชิติกาโซลจะไม่เกิดเป็น เจลหรือตกตะกอนแม้ถูกทิ้งไว้เป็นเวลาหลายปี โซลมีชิติกาอยู่มากกว่าร้อยละ 50 ขึ้นไปและอนุภาค มีขนาดถึง 300 nm อย่างไรก็ตามอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 70 nm จะเกิดการตะกอนอย่างช้า ๆ สถานภาพของโซลขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายปัจจัย (รูปที่ 2.3) pH ของโซลจะต้องมากกว่า 7 จึงจะคง สภาพประจุกับขนาดอนุภาคชิติกาซึ่งเป็นการป้องกันการจับตัว ประจุที่ผิวจะต้องถูกทำให้เป็นกลาง โดยเกลือที่ละลายซึ่งจะเป็น ไอออนและทำให้เกิดคัมเบิ้ลเลเยอร์รอบผิวของชิติกา สิ่งนี้ทำให้เกิดการ จับตัว ดังนั้น โซลจะเสถียรที่ความเข้มข้นของเกลือต่ำ ในบริเวณที่ pH ต่ำ โซลจะอยู่ในสภาพ Metastable การเกิดเจลและการจับตัวจึงถูกเร่งให้เกิดได้ง่ายแม้มีฟลูออไรด์ไอออนเพียงเล็กน้อย ใน บริเวณที่ pH ต่ำนี้ ตัวทำละลายอินทรีย์ที่รวมกับน้ำได้ เช่น แอลกอฮอล์จะต้านการเกิดเจล อย่างไรก็ตาม การเกิดเจลจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูง ยิ่งปริมาณชิติกาใน โซลสูงการเกิดเจลก็ยิ่ง ง่าย ส่วนลักษณะผิวของอนุภาคชิติกาก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งในการควบคุมเสถียรภาพของโซล



รูปที่ 2.3 ผลของ pH ของคอลลอยคอลลซิลิกาในน้ำ (2)

2) ซิลิกาเจล แบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ ซิลิกาเจลชนิดความหนาแน่นปกติ ซึ่งเตรียมได้โดยการทำให้เป็นสภาวะกรดจะได้อนุภาคที่มีขนาดเล็กมากและพื้นที่ผิวสูง (750-800 m^2/g) ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเท่ากับ 2.2-2.6 nm และปริมาตรรูพรุนประมาณ 0.37-2.40 ml/g ซิลิกาเจลชนิดความหนาแน่นปกติมีน้ำประมาณร้อยละ 6 โดยน้ำจะเกาะอยู่ที่ผิวซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ ดังนั้นจะมีความสามารถในการดูดซับได้มาก ชนิดที่สองคือซิลิกาชนิดความหนาแน่นปานกลาง มีพื้นที่ผิวดำ (300-350 m^2/g) แต่มีปริมาตรรูพรุนเท่ากับ 0.9-1.1 ml/g ค่าเฉลี่ยของขนาดรูพรุนประมาณ 12-16 nm ขนาดของอนุภาคใหญ่กว่าซิลิกาเจลชนิดความหนาแน่นปกติ ด้วยเหตุผลที่มีขนาดรูพรุนใหญ่กว่าซิลิกาเจลชนิดความหนาแน่นปานกลาง ดังนั้นจึงดูดซับน้ำได้ดีที่ความชื้นสูง ชนิดสุดท้ายคือ ซิลิกาเจลชนิดความหนาแน่นต่ำ เช่น Aerogel มีพื้นที่ผิวดำ 100-200 m^2/g และมีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน ประมาณ 18-22 nm และปริมาตรรูพรุนประมาณ 1.4-2.0 ml/g

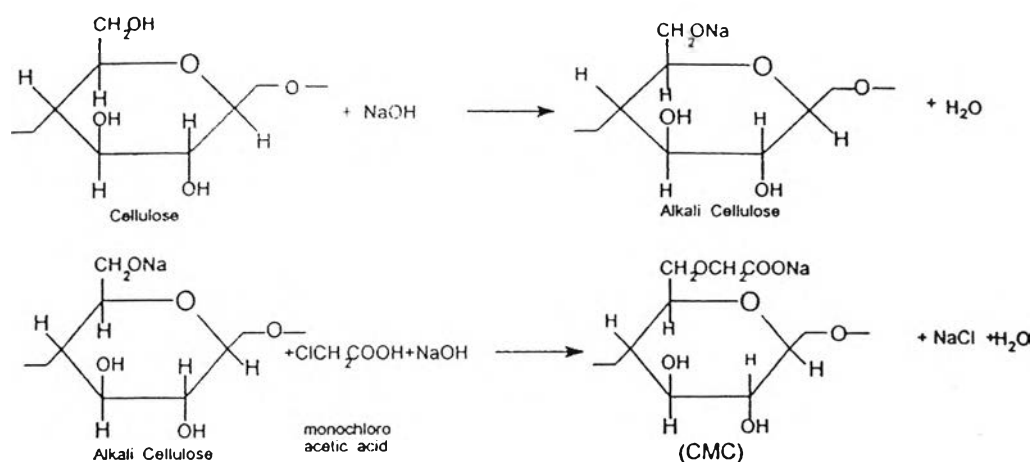
3) ซิลิกาชนิดตกตะกอน (Precipitated silica หรือ Particulate silica) เกิดจากการรวมตัวของซิลิกาขนาดเล็กระดับนาโนเมตรซึ่งยังไม่เชื่อมโยงจนเป็นโครงข่ายขนาดใหญ่ ระหว่างกระบวนการเตรียมซิลิกาชนิดตกตะกอน เกิดได้จากทั้งสภาวะที่เป็นไอ (Vapor phase) และโดยการตกตะกอนจากสารละลาย

การนำซิลิกาอสัณฐาน ไปใช้นั้นขึ้นอยู่กับรูปแบบและความบริสุทธิ์ ที่ถูกใช้มากที่สุดคือเป็นแผ่นกรองและวัสดุเสริมแรงสำหรับยาง นอกจากนี้ใช้เป็นสารปรับปรุงความสามารถในการอุ้มหมึก ใช้เป็นฟลักเมนต์และฟิลเลอร์ (Filler) ในกระดาษ ใช้เป็นสีและสารเคลือบ สำหรับซิลิกาเจลนั้นส่วนมากจะใช้เป็นสารดูดความชื้น

2.1.2 การบอกรีเมทิลเซลลูโลส (CMC)

สารในกลุ่มเซลลูโลสอีเทอร์ คืออนุพันธ์ของเซลลูโลสที่จัดว่าเป็นพอลิเมอร์ละลายน้ำได้ มีการผลิตขึ้นโดยใช้เซลลูโลสเป็นสารตั้งต้น และจำแนกประเภทไปตามชนิดของการแทนที่ ค่า Degree of Substitution (D.S.) โครงสร้างทางกายภาพ ความหนืด และพฤติกรรมการละลาย

เซลลูโลสอีเทอร์ที่มีการผลิต และจำหน่ายอยู่โดยทั่วไปในท้องตลาดนั้นมีหลายชนิดด้วยกัน แต่ที่มีบทบาทสำคัญมากที่สุดตัวหนึ่งในอุตสาหกรรม คือ ซีเอ็มซี (3) โดยขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์นั้นมักทำขึ้นเพื่อจำหน่ายเป็น 2 เกรด คือเกรดบริสุทธิ์กับเกรดทางเทคนิค ซีเอ็มซีสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างเยื่อเซลลูโลสที่มีแอลฟา-เซลลูโลสอยู่ในปริมาณสูงกับ etherifying agent ในภาวะที่มีดังอยู่ด้วย ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (3)

2.1.2.1 สมบัติของซีเอ็มซี

สมบัติโดยทั่วไปของซีเอ็มซีมีดังนี้

2.1.2.1.1 การละลาย

ซีเอ็มซีสามารถละลายได้ทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์แต่จะละลายได้ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับตัวทำละลายอินทรีย์ที่เข้ากับน้ำได้ เช่น เอทานอล อะซีโตน ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการละลายของซีเอ็มซี ได้แก่

1) ขนาดของอนุภาค ถ้าอนุภาคมีขนาดใหญ่จะทำให้ละลายได้ช้า การกระจายตัวในน้ำจะมีลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ อนุภาคที่มีขนาดเล็กหรือมีความละเอียดมากขึ้นจะช่วยประหยัดเวลาในการเตรียมสารละลาย

2) โครงสร้างทางเคมี ถ้ามีค่า D.S. สูงจะสามารถละลายได้เร็วและถ้าน้ำหนักโมเลกุลต่ำ อัตราในการละลายจะเร็วกว่า

2.1.2.1.2 ความหนืด

สารละลายซีเอ็มซีมีลักษณะใสและหนืด โดยมีพฤติกรรมการไหลเป็นแบบนอน-นิวโตเนียน คือ ค่าความหนืดจะเปลี่ยนไปเมื่อเปลี่ยนอัตราเฉือน (Shear rate) ซึ่งค่าความหนืดของสารละลายที่วัดได้นั้น จะขึ้นอยู่กับอิทธิพลจากปัจจัยต่อไปนี้

1) ค่า D.P. (Degree of polymerization) ค่า D.P. ของเซลลูโลสโดยปกติมีค่าประมาณ 5,000 ยิ่งเซลลูโลสมีค่า D.P. สูง ความหนืดของซีเอ็มซีก็จะสูงขึ้น

2) ความเข้มข้น เมื่อสารละลายมีความเข้มข้นมากขึ้น ค่าความหนืดจะสูงขึ้น

3) อุณหภูมิ ที่อุณหภูมิสูงขึ้นความหนืดของสารละลายจะมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้การเพิ่มหรือลดอุณหภูมิจะไม่มีผลต่อลักษณะของสารละลาย แต่การให้ความร้อนอุณหภูมิสูงแก่สารละลายเป็นเวลานานอาจเป็นการทำลายโครงสร้างของซีเอ็มซีและทำให้ความหนืดของสารละลายลดลงได้

4) ความเป็นกรด-เบส สารละลายซีเอ็มซีจะมีความเสถียรภาพและมีความหนืดสูงสุดที่ pH ระหว่าง 7-9 ถ้า pH ต่ำกว่า 4 ซีเอ็มซีที่อยู่ในรูปของกรดอิสระซึ่งละลายน้ำได้น้อยจะมีมากขึ้นและทำให้ค่าความหนืดสูงขึ้น แต่ที่ pH มากกว่า 10 พบว่าค่าความหนืดจะลดลงเล็กน้อย

5) การใช้ตัวทำละลายผสม เมื่อใช้ตัวทำละลายผสม เช่น กลีเซอรอล-น้ำ สำหรับการเตรียมสารละลายซีเอ็มซีที่มีค่า D.S. สูงพบว่าความหนืดของตัวทำละลายจะมีผลต่อความหนืดของสารละลายด้วย เช่น สารละลายซีเอ็มซีที่ใช้ตัวทำละลายผสมกลีเซอรอล-น้ำ ในอัตราส่วน 60 : 40 จะมีความหนืดเป็น 10 เท่าของสารละลายซีเอ็มซีในน้ำ

2.1.2.1.3 เสถียรภาพ (Stability)

แม้ว่าสารละลายซีเอ็มซีจะมีความเสถียรภาพดีกว่าวุ้นชนิดอื่น ๆ ที่ละลายน้ำได้ แต่คุณสมบัติโดยเฉพาะอย่างยิ่งความหนืดก็อาจถูกทำลายได้ เนื่องจากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ เซลลูเลสจากจุลินทรีย์ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-เบส ออกซิเจน เป็นต้น

2.1.2.1.4 ความสามารถในการเกิดฟิล์ม

ซีเอ็มซีสามารถเกิดเป็นฟิล์มใส แข็งแรงและมีความทนทานต่อน้ำมัน โดยฟิล์มซีเอ็มซีจะไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำมัน ไขมัน และตัวทำละลายอินทรีย์

2.1.2.1.5 ความปลอดภัยต่อสิ่งมีชีวิต

จากการศึกษาทางด้านพิษวิทยา ไม่พบว่าซีเอ็มซีเป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์ และสัตว์รวมทั้งมีผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาน้อยที่สุด

ตัวอย่างของคุณลักษณะของซีเอ็มซีที่มีการผลิตขึ้นเพื่อจำหน่ายสู่อุตสาหกรรม ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะของซีเอ็มซีสำหรับการประยุกต์ในงานต่าง ๆ (Thai Cellulose Products Ltd.)

Character Type	ร้อยละ ความบริสุทธิ์	D.S.	ช่วงความหนืด (mPa.s)	ความเป็นกรด-เบส	ความชื้น (% ,max)
D	50-72	0.45-0.70	10-50	7-10	8
W	60-98	0.14-1.40	10-500	9-11	8
T	80-98	0.14-1.40	10-3000	6-8	8
F	99.5	0.45-1.40	10-4500	6-8	8
P	99.5	0.45-1.40	10-4500	6-8	8

หมายเหตุ

D สำหรับอุตสาหกรรม ชักรีด สารชักฟอก

W สำหรับอุตสาหกรรม การขูดเจาะน้ำมัน

T สำหรับอุตสาหกรรม สิ่งทอ สี เซรามิก และกาว

F สำหรับอุตสาหกรรม อาหาร เครื่องดื่ม ไอศกรีม และผลิตภัณฑ์นม

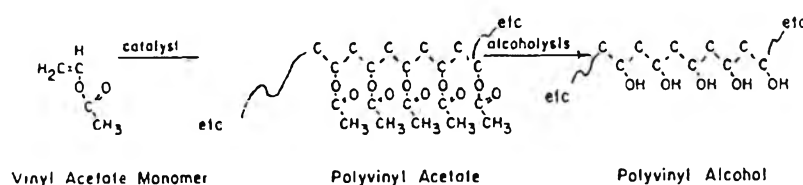
P สำหรับอุตสาหกรรม ยา และเครื่องสำอาง

2.1.3 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVOH)

ประโยชน์ของ PVOH สำหรับกระดาษอิงก์เจ็ทชนิดเคลือบด้วยฟิสิกส์คือให้ความแข็งแรงของการยึดติดกับวัตถุภายในสารเคลือบสูง เข้ากันได้กับน้ำและบางครั้งยังมีความสามารถในการเพิ่มความขาวสว่างเชิงแสง ทำให้กระดาษพิมพ์อิงก์เจ็ทมีความขาวสว่างขึ้น นอกจากนี้ PVOH ยังสามารถใช้เป็นสารยึดในสารเคลือบที่มีปริมาณซิลิกาสูงได้ (4)

2.1.3.1 เคมีของ PVOH และกระบวนการผลิต

การเตรียม PVOH เริ่มจากการผลิตพอลิไวนิลอะซิเตตจากไวนิลอะซิเตตมอนอเมอร์ด้วยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอนุมูลอิสระ (Free radical polymerization) จากนั้นไฮโดรไลซ์พอลิไวนิลอะซิเตต แสดงในรูปที่ 2.5 โดยใช้ปฏิกิริยาซาโปนิฟิเคชัน (Saponification) ที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเบส น้ำหนักโมเลกุลของ PVOH ถูกควบคุมด้วยขั้นตอน พอลิเมอไรเซชัน และถูกแสดงในรูปของความหนืด ความเข้มข้นของสารละลายที่ร้อยละ 4 ความหนืดของสารละลาย PVOH แบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือชนิดความหนืดต่ำมาก ความหนืดต่ำ ปานกลางและสูง ความหนืดน้อยของไวนิลอะซิเตตที่ถูกเปลี่ยนแปลงเป็นไวนิลแอลกอฮอล์ คือ ร้อยละของไฮโดรไลซิส ซึ่งควบคุมได้ในปฏิกิริยาซาโปนิฟิเคชัน โดยทั่วไปสามารถแบ่ง ร้อยละของไฮโดรไลซิสได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.5 แสดงการผลิตพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (5)

นอกจากนี้ น้ำหนักโมเลกุลของ PVOH และร้อยละของไฮโดรไลซิสยังเป็นตัวควบคุมกำลังการยึดติด (Binding power) สำหรับเป็นกาวติดฟิสิกส์และ กำหนดวิหยากระแสของสารเคลือบ แต่ร้อยละของไฮโดรไลซิสมีระดับการควบคุมน้อยกว่า

ตารางที่ 2.2 ชนิดของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ทางการค้า (5)

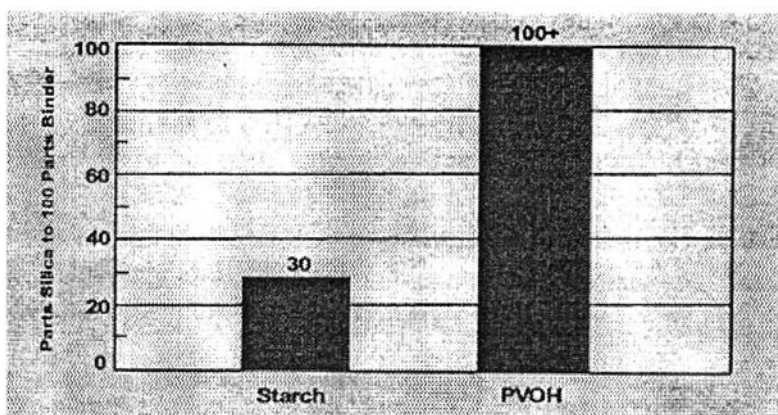
ร้อยละของไฮโดรไลซิส		ความหนืด (cps) ^a	
Superhydrolyzed	99.7-100	ความหนืดสูง	60
		ความหนืดปานกลาง	30
Fully hydrolyzed	99-100	ความหนืดสูง	60
			50
		ความหนืดปานกลาง	30
			25
Fully hydrolyzed (Non-gelling)	96-99	ความหนืดต่ำ	5
		ความหนืดสูง	60
ความหนืดปานกลาง	50		
			30
			25
Partially hydrolyzed	86-89	ความหนืดสูง	40
		ความหนืดปานกลาง	23
		ความหนืดต่ำ	5
Partially hydrolyzed	73-77	ความหนืดต่ำ	3
		ความหนืดต่ำ	2

^a ความหนืดในหน่วยเซนติพอยท์ (cP) ที่มีร้อยละของแข็งเป็น 4 ในสารละลาย ที่ 20°C

2.1.3.2 PVOH กับการใช้งานเป็นสารเคลือบวัสดุพิมพ์ในการพิมพ์ระบบอิงก์เจ็ต

2.1.3.2.1 กำลังการยึดติด (Binding power)

PVOH นั้นเป็นสารยึดที่มีความแข็งแรงมากขึ้นอยู่กับน้ำหนัก โมเลกุลของ PVOH เหมาะกับอุตสาหกรรมกระดาษเพราะมีความแข็งแรงในการยึดติดมากกว่าแป้ง 3-4 เท่า ใช้ในปริมาณน้อยกว่าและสามารถรับการดูดซับของซิลิกาได้จำนวนมากกว่า 100 ส่วนโดยไม่เกิดปัญหาเรื่องฝุ่นและขุยกระดาษ ซึ่งสำคัญต่อการพิมพ์ระบบอิงก์เจ็ตดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ปริมาณสูงสุดของซิลิกา (พื้นที่ผิว $260 \text{ m}^2/\text{g}$) ที่สามารถใส่ลงไปในการเคลือบได้โดยไม่ทำให้เกิดฝุ่นเปรียบเทียบระหว่างสารยึด PVOH และแป้ง (4)

2.1.3.2.2 การปรับผิวและความต้านทานการกัดกร่อน

ความหนาแน่นของกระดาษที่ถูกปรับสภาพผิวโดยการใส่สารกันซึมในน้ำเยื่อหรือทั้งที่ถูกปรับสภาพผิวโดยใส่สารกันซึมในน้ำเยื่อและที่ผิวหน้าอาจมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อค่าความต้านทานการกัดกร่อนของภาพ ในกระดาษที่ขาดการปรับสภาพผิวโดยใช้สารกันซึมในปริมาณน้อย การใช้ PVOH สามารถช่วยส่งเสริมให้ค่าความต้านทานการกัดกร่อน และสีที่มีส่วนประกอบของสีดำอยู่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้แป้ง (Starch) ในทางกลับกัน การเพิ่มสารกันซึมภายในของกระดาษหรือการใช้สารกันซึมในเนื้อกระดาษร่วมกับการใช้ PVOH ก็ช่วยเพิ่มค่าความต้านทานการกัดกร่อนได้เช่นเดียวกัน

การใส่ซิลิกา ลงไปในสารเคลือบอาจไปลดค่าความต้านทานการกัดกร่อนในส่วนของสีดำหากใช้สารเคลือบปริมาณน้อย แต่มีข้อดีในการเพิ่มสมบัติอื่นๆ สารเติมแต่งช่วยปรับสภาพผิว เช่น สไตรีนมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (เกลือของแอมโมเนียม) จะช่วยให้ความต้านทานการกัดกร่อนเนื่องจากการเติมซิลิกา ลดลงอย่างน้อยที่สุด เมื่อใช้สารเติมแต่งนี้ร่วมกับซิลิกา

2.1.3.2.3 ความต้านทานการกัดกร่อน (Color optical density)

ค่าความต้านทานการกัดกร่อนของสีอื่นนั้นต่างจากสีดำ นั่นคือการเพิ่มซิลิกาต่อ PVOH จะทำให้ค่าความต้านทานการกัดกร่อนของสีอื่น เช่น สีเหลือง สีเขียว และสีฟ้า แม้จะเคลือบด้วยสารเคลือบปริมาณน้อย

2.1.3.2.4 เวลาการแห้งตัว (Dry time)

เนื่องจาก PVOH มีประสิทธิภาพสูงในการกันซึม ดังนั้นการใช้ PVOH กันซึมที่ผิวหน้าแต่เพียงอย่างเดียวโดยไม่ใส่ซิลิกาอาจไปเพิ่มเวลาการแห้งตัวของหมึกพิมพ์ เทียบเท่ากับการใส่สารกันซึมปริมาณมากลงในน้ำเยื่อ ซึ่งเป็นสมบัติที่ไม่เหมาะสมในทางการพิมพ์

2.1.3.2.5 การทำงานร่วมกับสารเพิ่มความขาวสว่าง (Synergy with optical brighteners)

สารเพิ่มความขาวสว่างถูกนำมาใช้เสมอในการปรับสภาพผิวหน้าของ กระดาษพิมพ์ เพื่อให้เกิดความขาวสว่าง และความขาวบนพื้นผิวกระดาษ เมื่อ PVOH และสารเพิ่มความขาวสว่างทำงานร่วมกัน ความขาวสว่างจะเพิ่มขึ้น 1.5-2.5 หน่วย เทียบกับเมื่อใช้เป้งร่วมกับ สารเพิ่มความขาวสว่างแต่เพียงอย่างเดียว

2.1.3.3 การใช้งานเป็นสารเคลือบ (Coating applications)

PVOH เป็นสารยึดที่ใช้งานได้ดีกับซิลิกาสำหรับเตรียมสารเคลือบกระดาษ อิงก์เจ็ต เนื่องจาก PVOH มีความแข็งแรงต่อการยึดติดดีมากและช่วยปรับปรุงคุณภาพงานพิมพ์เมื่อ เทียบกับสารยึดประเภทลาเทกซ์ ความหนืดของสารเคลือบที่มี PVOH และซิลิกาจะมีความหนืด ปานกลางเมื่อมีร้อยละของของแข็ง (%Solid) ต่ำ ความหนืดจะเพิ่มหรือลดขึ้นอยู่กับร้อยละของ ของแข็งในสารเคลือบที่ต้องการ นั่นคืออัตราส่วนของพิกเมนต์ต่อสารยึดและสิ่งที่สำคัญที่สุดก็คือ หนืดของ PVOH ที่เลือกเป็นสารยึด

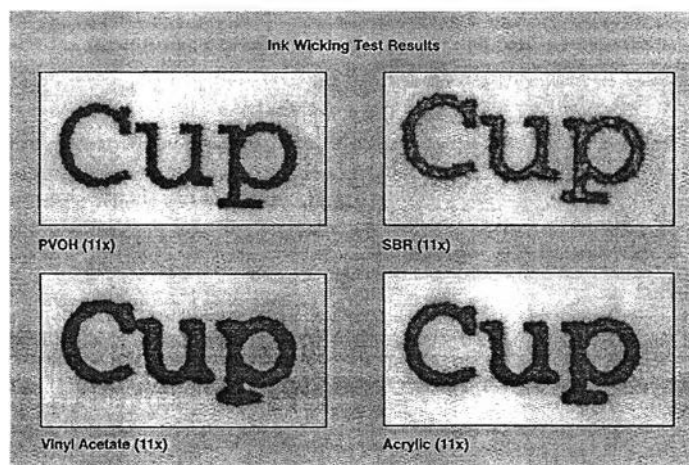
2.1.3.3.1 PVOH และสารยึดลาเทกซ์

สารเคลือบที่ใช้ PVOH เป็นสารยึดซิลิกาให้สีสันและคุณภาพงาน พิมพ์ของสีดำที่ดีมาก ดังแสดงในตารางที่ 2.3 เนื่องจากความสามารถของ PVOH ในการดูดซึมหมึก พิมพ์ฐานน้ำเข้าสู่ชั้นสารเคลือบได้อย่างรวดเร็ว สมบัตินี้เป็นผลให้ขอบภาพไม่คมชัดอัน เนื่องมาจากการซึมของหมึก (Wicking) การเกิดกระดำกระด่าง (Mottle) และการล้นเลอะของหมึก พิมพ์ (Bleed) ลดลงมาก ขณะที่สูตรสารเคลือบที่ใช้สารยึดลาเทกซ์จะทำให้ภาพพิมพ์เกิดรอย กระดำกระด่าง ความดำหมึกพิมพ์ต่ำและเกิดขอบภาพไม่คมชัดเนื่องมาจากการซึมของหมึก เนื่องจากสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ที่ใส่ลงไปเพื่อทำให้อนุภาคของลาเทกซ์เสถียรนั้น จะไป

รบกวนการเปียกผิวของหมึกพิมพ์ ดังรูปที่ 2.7 นอกจากนี้คุณภาพงานพิมพ์ที่ไม่ดียังมีสาเหตุมาจากหมึกซึมลงไปชั้นสารเคลือบได้ไม่ดี แต่สำหรับ PVOH ซึ่งมีโครงสร้างทางธรรมชาติชอบน้ำเมื่อนำมาใช้ในสารเคลือบผิวจึงไม่จำเป็นต้องใช้สารลดแรงตึงผิว

ตารางที่ 2.3 ค่าความค่าภาพพิมพ์สีดำและสีที่มีสีดำเป็นองค์ประกอบและสีไซแอนบนกระดาษเคลือบผิวที่ทำจากสารยึดลาเทกซ์ 3 ชนิด เปรียบเทียบกับ PVOH (4)

	Base Sheet	Celvol			
		523 PVOH	Acrylic	Vinyl Acetate	SBR
Solution Solids	N/A	11.56	12.85	12.52	17.11
Viscosity (cps)	N/A	112	310	215	267
Coat Weight (g/m ² /side)	N/A	6.54	8.64	7.09	8.01
Monochrome Black O.D.	0.96	1.32	0.88	0.88	0.79
Composite Black O.D.	0.64	0.92	0.62	0.61	0.74
Cyan O.D.	1.07	1.44	1.26	1.25	1.10
Composite Black Dot Area (mm ²)	0.0238	0.0094	0.0150	0.0159	0.0267



รูปที่ 2.7 การเกิดขอบภาพไม่คมชัดอันเนื่องมาจากการซึมของหมึก ของกระดาษที่มี PVOH เป็นสารยึดในสารเคลือบเทียบกับสารยึดลาเทกซ์(4)

2.1.3.3.2 ความหนืด/วิทยากระแสและปริมาณของแข็งทั้งหมดในสารเคลือบ

การเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของ PVOH และหมู่ซิลานอลของซิลิกาทำให้ความหนืดของสารเคลือบที่มีพอลิไวนิลแอลกอฮอล์/ซิลิกาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มปริมาณของแข็งเพียงเล็กน้อย ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นเมื่อมีปริมาณของแข็งร้อยละ

25-30 ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของ PVOH และอัตราส่วนของพิกเมนต์ต่อสารยึด PVOH ที่มีร้อยละของไฮโดรไลซิสสูง (ร้อยละของหมู่ไฮดรอกซิลสูง) มีแนวโน้มที่จะทำให้ความหนืดเพิ่มมากขึ้น PVOH ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงยอมให้ค่าความหนืดมากกว่าที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำ

โดยปกติแล้ว PVOH ชนิด Partially hydrolyzed ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำหรือปานกลางจะสามารถใช้ผลิตสารเคลือบที่มีร้อยละของของแข็งสูง ๆ ได้

วิทยากระแสที่อัตราเฉือนสูงของสารเคลือบที่มี PVOH และซิลิกาเป็นส่วนประกอบยังขึ้นอยู่กับร้อยละของไฮโดรไลซิส น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ ปริมาณของแข็งในสารเคลือบและอัตราส่วนของพิกเมนต์ต่อสารยึด การปรับแต่งอนุภาคซิลิกา เช่นฟุ้งซิลิกาที่มีร้อยละของอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) เพียงเล็กน้อยก็สามารถลด Shear Thickening ได้

2.1.3.3.3 กำลังการยึดติดของ PVOH

แม้ว่าการใช้ PVOH ชนิดน้ำหนักโมเลกุลต่ำและเป็น Partially hydrolyzed จะสามารถใช้เตรียมสารเคลือบที่มีร้อยละของของแข็งสูง ๆ ได้แต่ก็มีความแข็งแรงต่อการยึดติดกับพิกเมนต์ซิลิกาต่ำเมื่อเทียบกับ PVOH ที่มีน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง ด้วยเหตุนี้หากใช้ PVOH น้ำหนักโมเลกุลต่ำจำเป็นต้องเพิ่มสัดส่วนของ PVOH ให้มากขึ้นเพื่อป้องกันการเกิดฝุ่นของซิลิกาจากพื้นผิวของแผ่นกระดาษ

2.1.3.3.4 สารเติมแต่ง (Additives)

PVOH ไม่มีประจุเพราะเหตุนี้จึงสามารถใช้กับสารเติมแต่งได้หลายชนิด รวมถึงสารเติมแต่งชนิดประจุบวกและสารกันซึมบนผิวกระดาษด้วย เพื่อช่วยปรับปรุงการคงทนต่อน้ำ และลดการลั่นเลอะของหมึกพิมพ์บนกระดาษพิมพ์อิงค์เจ็ต จึงจำเป็นต้องเพิ่มสารคงสีย้อมชนิดประจุบวกเข้าไป เช่น พอลิเอทิลีนอิมิน Poly-DADMAC หรือพอลิ (ไวนิลเอมีน) โดยใส่ปริมาณ 1-3 ส่วนโดยน้ำหนัก

2.1.4 สารเคลือบผิวกระดาษพิมพ์อิงค์เจ็ต (Ink jet coating)

2.1.4.1 สูตรน้ำยาเคลือบกระดาษอิงค์เจ็ต

ในสูตรน้ำยาเคลือบประกอบด้วยส่วนประกอบหลักสำคัญ 3 ส่วน (6) คือ

1) **ผงสี (Pigment)** เป็นองค์ประกอบหลักของน้ำยาเคลือบผิวกระดาษ มีสมบัติในการเพิ่มพื้นที่ผิวการพิมพ์ให้ดีขึ้น ทำให้กระดาษเรียบและรับหมึกได้ดี ทำให้เกิดความมันวาว และทำให้กระดาษขาว ผงสีมีหลายชนิด ตัวอย่างเช่น แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ดินขาว (Kaolin) ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ผงสีที่นิยมใช้ในสูตรของน้ำยาเคลือบอิงก์เจ็ต เป็นผงสีประเภท ซิลิกาอสัณฐาน

2) **สารยึด (Binder)** ทำหน้าที่ช่วยให้เกิดการยึดเกาะระหว่างผงสีกับผงสี และผงสีกับฐานกระดาษ เพื่อป้องกันปัญหาเรื่องฝุ่นบนกระดาษ (Dusting) นอกจากนี้สารยึดยังมีส่วนช่วยในด้านการดูดซับสารละลายของหมึก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นระบบฐานน้ำ ทำให้คุณภาพของงานพิมพ์ดีขึ้น เช่น โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVOH) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) ปกติแล้วสารตัวนี้จะถูกใช้เป็นสารยึดร่วม (Co-binder) เพื่อเพิ่มการยึดเกาะให้ดีขึ้น

3) **สารเติมแต่ง (Additives)** เป็นสารเติมแต่งที่ช่วยให้สารเคลือบผิวมีสมบัติที่ดีขึ้น เหมาะสำหรับการเคลือบผิวกระดาษมากยิ่งขึ้น

3.1) **สารช่วยกระจาย (Dispersant)** ช่วยให้ผงสีกระจายตัวไม่จับเป็นก้อน เป็นสารจำพวก โซเดียมพอลิอะคริเลต เตตระโซเดียมพอลิฟอสเฟต เป็นต้น

3.2) **สารปรับความหนืด (Viscosity modifier)** สารปรับความหนืด ทำหน้าที่ชะลอหรือเพิ่มความหนืดของสารเคลือบผิว โดยพิจารณาจากความเร็วของเครื่องเคลือบ เป็นสารพวกคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลส เป็นต้น

3.3) **สารหล่อลื่น (Lubricant)** ใช้เพื่อปรับสมบัติการไหลของสารเคลือบ และควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการกวน ช่วยในเรื่องของความเรียบและป้องกันการแตกหักของชั้นเคลือบผิวเมื่อหักงอ รวมทั้งช่วยให้สภาพการเดินกระดาษคล่องตัวขึ้น ส่วนใหญ่เป็นสารพวก แคลเซียมสเตียเรต โพลีเอทิลีนอิมัลชัน เป็นต้น

3.4) **สารกั้นน้ำ (Crosslinker or insolubilizer)** ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่สารจำพวก ยูเรียฟอมาลดีไฮด์เรซิน แอมโมเนียมเซอร์โคเนียมคาร์บอเนต เป็นต้น

3.5) **สารช่วยป้องกันเชื้อแบคทีเรียหรือเชื้อรา (Biocide or biostat)** เช่น อัลดีไฮด์ เป็นต้น

3.6) **สารควบคุมค่าความเป็นกรด-เบส (pH control)**

3.7) **สารเพิ่มความขาวสว่าง (Optical brighteners)** ช่วยดูดซับแสงยูวีและเพิ่มความขาวสว่างของสารเคลือบผิว

3.8) **สีย้อม (Dye)** ใช้เพื่อให้สังเกตด้านเคลือบผิวได้ชัดเจน

3.9) **สารลดฟอง (Defoamer)** ใช้เพื่อยับยั้งหรือป้องกันไม่ให้เกิดฟองในสารเคลือบในขณะกวน

2.1.4.2 ผลของสูตรสารเคลือบที่มีต่อสมบัติของกระดาษเคลือบผิว

สมบัติของกระดาษที่เคลือบผิวด้วยพิกเมนต์ (Pigment-coated paper properties) ขึ้นกับสารเคลือบโดยตรงซึ่งสารเคลือบที่มีพิกเมนต์เป็นส่วนประกอบนี้จะช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงแสง (Optical properties) กระบวนการสุดท้ายในการปรับแต่งกระดาษเคลือบผิว (Finish) และสภาพพิมพ์ได้ (Printability) สมบัติเชิงแสงได้แก่ ความขาวสว่างและความทึบแสง ขณะที่การเคลือบเงาช่วยปรับปรุงค่าความมันวาวและความเรียบ และสภาพพิมพ์ได้ซึ่งเกี่ยวข้องกับ การต้านทานการถอนผิว (Pick resistance) ความสามารถในการรับหมึก (Ink receptivity) และการกักหมึก (Ink holdout) ส่วนความสามารถในการบีบอัดและความพรุนของอนุภาคพิกเมนต์ ขึ้นกับวัตถุดิบที่เตรียมได้ (Raw stock) มากกว่าสมบัติของสารเคลือบ (7)

2.1.4.2.1 สมบัติเชิงแสงของกระดาษเคลือบผิว

ความขาวสว่างและความทึบแสง ขึ้นกับสมบัติของพิกเมนต์และสารยึดและสภาวะในการเตรียมสารเคลือบ สมบัติของพิกเมนต์ ได้แก่ ความขาวสว่าง ธรรมชาติหักเห รูปร่างอนุภาค ขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของขนาดอนุภาค ความถ่วงจำเพาะ และการทำปฏิกิริยาที่ผิวพิกเมนต์

ความทึบแสงสัมพันธ์กับค่าดัชนีหักเหที่แตกต่างกันระหว่างพิกเมนต์และพื้นที่ที่อยู่ติดกัน พิกเมนต์ที่มีค่าดัชนีหักเหสูงจะให้ค่าความทึบแสงสูง

รูปร่างอนุภาค ขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของพิกเมนต์ มีอิทธิพลต่อการจัดเรียงตัวของอนุภาคและความเข้มข้น โดยปริมาตรของพิกเมนต์ในชั้นสารเคลือบผิว การจัดเรียงตัวของอนุภาคพิกเมนต์กับปริมาตรและขนาดของช่องว่างระหว่างอนุภาคเป็นปัจจัยกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงแสง (Scattering coefficient) และความทึบแสงของพิกเมนต์ การจัดเรียงตัวและช่องว่างของอนุภาคที่เหมาะสมนั้นเกิดขึ้นได้ยาก การกระจายตัวของพิกเมนต์ที่เหมาะสมทำได้โดยการใช้สารยึดน้อยลง ใช้ปริมาณของแข็งสูงและการเคลื่อนที่ของสารเคลือบอย่างช้า ๆ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการจัดเรียงตัวของอนุภาคในชั้นสารเคลือบ (Partial packing) การทำปฏิกิริยาที่ผิวพิกเมนต์เป็นตัวกำหนดความแข็งแรงและความหนาของ Double layer รอบอนุภาคพิกเมนต์และมีผลต่อช่องว่างของอนุภาค โดยสารเคลือบที่มีช่องว่างระหว่างอนุภาคใหญ่ จะให้ความทึบแสงและสภาพพิมพ์ได้ดี

การใช้พิกเมนต์หลายชนิดร่วมกัน ทำให้เกิดการปรับการกระจายตัวของขนาดอนุภาค เช่นเดียวกับสมบัติทางเคมีและรูปร่างของอนุภาค เพื่อควบคุมปริมาณพิกเมนต์

และสมบัติที่เกี่ยวข้องในการผสมสารเคลือบและในสารเคลือบที่แห้งแล้ว การใส่สารยึดมากเกินไป จะทำให้ความขาวสว่าง และความทึบแสงของสารเคลือบลดลง

2.1.4.2.2 กระบวนการสุดท้ายในการปรับแต่งกระดาษเคลือบผิว

ความเงาเป็นค่าที่บ่งถึงความเงาของกระดาษพิมพ์ที่เคลือบผิว ด้วยพิกเมนต์หรือลามีเนตด้วยวัสดุอื่น ค่าความมันวาว ความเรียบและความเที่ยงตรงในการพิมพ์มีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับกระบวนการเคลือบผิว หากค่าความมันวาวต่ำก็สามารถบอกได้ว่ามีผิวขรุขระและทำให้การพิมพ์ไม่ดี อย่างไรก็ตาม การพัฒนากระดาษเคลือบผิวชนิดด้านและเงามีข้อดีและทำให้ค่าความเรียบเพิ่มขึ้น เป็นผลให้มีสมบัติการพิมพ์ที่ดีขึ้น ความมันวาวขึ้นกับความแบนราบระดับจุลภาคของพื้นผิวของสารเคลือบ ส่วนความเรียบขึ้นกับความเรียบระดับมหัพภาค

ความมันวาว ได้รับอิทธิพลโดยตรงมาจากขนาดของอนุภาคพิกเมนต์ รูปร่างอนุภาค การจัดเรียงตัวของอนุภาค ชนิดของสารยึดและปริมาณสารยึด การยึดติดของสารเคลือบ การปกคลุมผิวกระดาษของสารเคลือบและจำนวนของการขัดผิว พิกเมนต์อนุภาคเล็กที่มีอัตราส่วนของพิกเมนต์ต่อสารยึดสูง มีแนวโน้มการจัดเรียงตัวและอัดตัวกันแน่น ดังนั้นจึงให้ผิวหน้ากระดาษมีความเรียบและความมันวาวสูง ในทางตรงกันข้ามพิกเมนต์ที่มีขนาดใหญ่ และ/หรือ รวมกันเป็นกลุ่มก้อนจะทำให้ค่าความมันวาวต่ำลง สารยึดจากธรรมชาติในสารเคลือบจะมีผลไปลดความมันวาว แต่มีข้อยกเว้นในบางกรณี เช่น สารยึดประเภทลาเทกซ์ มีแนวโน้มช่วยปรับปรุงการไหลแบบพลาสติก (Plastic flow) และการจัดเรียงตัวของอนุภาคในสารเคลือบระหว่างการขัดผิวและเพิ่มความมันวาวของผิวสารเคลือบ รวมถึงพิกเมนต์พลาสติกก็ให้ผลเช่นเดียวกัน การยึดหน่วงและการปิดผิวกระดาษอย่างสมบูรณ์ของสารเคลือบช่วยเพิ่มความมันวาว การปิดผิวไม่สมบูรณ์ทำให้เห็นเส้นใยยังผลให้ความมันวาวลดลงได้

ความเรียบ ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยเดียวกันกับความมันวาว โดยเฉพาะการยึดติดของสารเคลือบและการปกคลุมกระดาษ นอกจากนี้ความเรียบยังขึ้นกับความสามารถในการบีบอัด การปกคลุมและการยึดติดของสารเคลือบอย่างเพียงพอ และการขัดผิวเป็นตัวกำหนดความเรียบ Lepoutre และ Means (7) แสดงให้เห็นว่าการขัดผิวที่แรงกดสูงถึง 260 kN/m (1500 pli) ให้ความขรุขระระดับมหัพภาค (Macroroughness) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางช่องว่าง 10-20 ไมโครเมตรและความขรุขระระดับจุลภาค (Microroughness) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางช่องว่าง 1 ไมโครเมตร ของสารเคลือบได้ถูกขจัดออกไป

2.1.4.2.3 สภาพพิมพ์ได้ของกระดาษเคลือบผิว

ปัจจัยกำหนดสภาพพิมพ์ได้ของสารเคลือบ คือ ความต้านทาน การถอนผิว ความสามารถในการรับหมึกและการยึดติดของหมึก ระดับของความต้านการถอนผิว ขึ้นกับกระบวนการพิมพ์และถูกควบคุมโดยปริมาณของสารยึด จำนวนของสารยึดที่ต้องการใช้แตกต่างกันไปตามชนิดของการพิมพ์

ฟิกเมนต์ในสารเคลือบเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมสภาพพิมพ์ได้ ฟิกเมนต์ต้องเปียกหมึกพิมพ์ได้ง่าย และชั้นของฟิกเมนต์ต้องมีรูพรุนเพียงพอในการดูดซึมหมึกพิมพ์ได้เร็ว การเซตตัวของหมึกอย่างรวดเร็ว นั้น ชั้นของฟิกเมนต์ต้องไม่ดูดซึมหมึกมากเกินไป เพราะจะทำให้ความมั่นใจว่าหมึกพิมพ์ลดลงสามารถแก้ไขโดยการใช้ปริมาณหมึกพิมพ์ให้มากขึ้น แต่อาจเกิดการซึมทะลุของหมึกไปอีกด้านของกระดาษได้ ปัญหานี้แก้ได้โดยใช้ฟิกเมนต์ที่เป็นดินขาว การเพิ่มความสามารถในการรับหมึก ทำได้โดยการใส่แคลเซียมคาร์บอเนตหรือไทเทเนียมไดออกไซด์ ลงในสารเคลือบทำให้เกิดโครงสร้างรูพรุนมากขึ้น นอกจากนี้แคลเซียมคาร์บอเนตโดยเฉพาะชนิดพรีซิพิเตตแคลเซียมคาร์บอเนต (Precipitated calcium carbonate) จะช่วยเพิ่มการดูดซึมหมึกและเวลาในการแห้งตัวของหมึก การใช้ซิลิกาอสัณฐานและซิลิกาซิลิเกตจำนวนเล็กน้อยก็สามารถทำให้การดูดซึมหมึกดีขึ้นมาก ดังนั้นการเลือกฟิกเมนต์และสารยึดที่เหมาะสมก็สามารถผลิตสารเคลือบที่เหมาะสมสำหรับการพิมพ์ทุกระบบได้

2.1.5 การพิมพ์อิงก์เจ็ต (Ink jet printing)

การพิมพ์อิงก์เจ็ต เป็นการพิมพ์ระบบไร้สัมผัสของภาพต่างๆไป โดยการพ่นหยดหรืออนุภาคหมึกเล็ก ๆ อย่างต่อเนื่องและรวดเร็วลงบนผิวของวัสดุพิมพ์ที่ควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ (8) การพิมพ์ระบบอิงก์เจ็ตมีการสร้างและกำหนดวิถีเดินทางของหยดหมึกหลายวิธี

2.1.5.1 เทคโนโลยีหัวพิมพ์ (Print head technologies)

เครื่องพิมพ์อิงก์เจ็ตสร้างภาพโดยการแทนที่หยดหมึกไปบนกระดาษ หยดหมึกเหล่านี้มีขนาดเล็กมาก โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดหมึกมีขนาดเล็กกว่าเส้นผมมนุษย์ หยดหมึกจะถูกพิมพ์ไปบนกระดาษ ด้วยความเที่ยงตรง จำนวนของหยดหมึกหรือเม็ดสกรีนของหมึกเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดความละเอียดและคุณภาพของภาพอีกด้วย

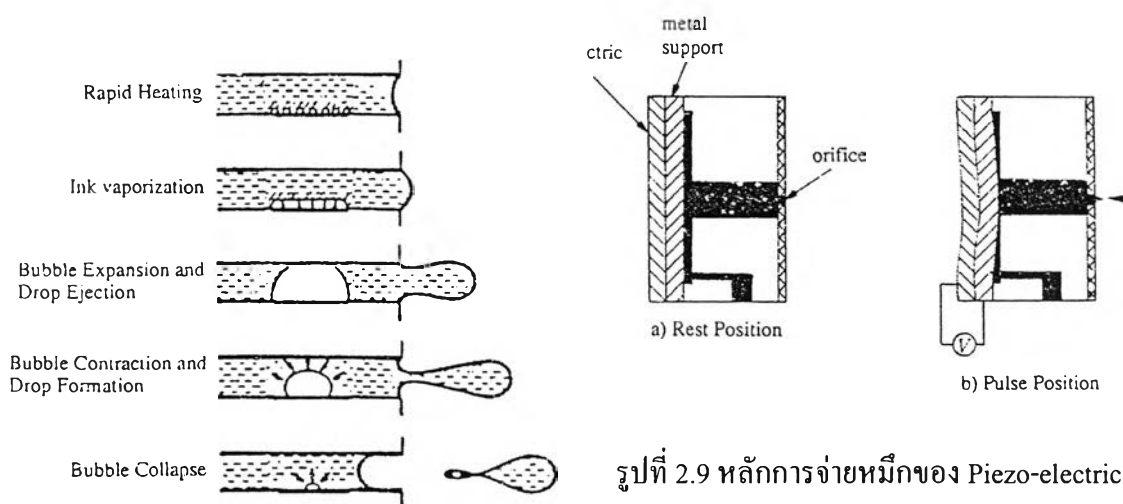
จำนวนของหยดหมึกต่อนิ้ว (dpi) ที่ดี ย่อมส่งผลต่อความละเอียดและคุณภาพของภาพพิมพ์ที่สูงด้วย ตัวอย่างเช่น ความละเอียด 720x720 dpi ควรสร้างด้วยเม็ดสกรีนของหมึก

518,400 เม็ด บนพื้นที่ 1 ตารางนิ้วบนกระดาษ การทำให้เกิดสีและการไล่ระดับของสีต่างกันบนภาพสามารถทำได้โดยการทำให้เม็ดสกรีนของหมึกรวมเข้าด้วยกันในบริเวณเล็กๆ เพื่อให้สร้างช่วงของสีในภาพได้อย่างสมบูรณ์ ระบบที่กล่าวถึงนี้ก็คือ การพิมพ์ฮาล์ฟโทน

เทคโนโลยีอีกเจ็ดที่นำมาใช้มีกลไกการพ่นหมึก 2 แบบคือ การพ่นหมึกโดยใช้ความร้อน (Thermal) และการพ่นหมึกด้วยระบบ Piezo-electric

2.1.5.1.1 Thermal Inkjet

เครื่องพิมพ์ Canon และ HP ใช้เทคโนโลยีการพ่นหมึกโดยใช้ความร้อน มีการทำงานผ่านหมึกโดยการให้ความร้อนในท่อของหัวพิมพ์จนกระทั่งเกิดเป็นฟองอากาศ เมื่อฟองอากาศขยายขนาดขึ้น หมึกจะถูกแทนที่และมีแรงมากพอที่จะผ่านหัว Nozzle ขนาดเล็กไปสู่กระดาษเมื่อฟองอากาศถูกดันทะลุผ่านสุญญากาศแล้วก็จะทำให้หมึกจำนวนมากไหลออกจากกล่องไปในหัวพิมพ์ หัวพิมพ์อิงค์เจ็ทระบบ Thermal สามารถมีหัวพิมพ์ได้มากถึง 600 Nozzle ซึ่งสามารถพ่นหมึกได้ในเวลาเดียวกัน ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.9 หลักการจ่ายหมึกของ Piezo-electric (9)

รูปที่ 2.8 หลักการจ่ายหมึกของ Bubble jet (9)

2.1.5.1.2 Piezo-electric Inkjet

เครื่องพิมพ์ Epson ใช้เทคโนโลยีการพ่นหมึกแบบ Piezo-electric ซึ่งจะใช้หัวแบบ Piezo-electric ไว้ที่ด้านหลังของถังพักหมึก ที่จะสั้นเมื่อได้รับกระแสไฟฟ้าและเมื่อ Piezo โค้งงอเข้าภายในก็จะส่งแรงดันผลักดันหมึกออกไปจากหัวพิมพ์ Nozzle จากนั้น Piezo จะโค้งงอออกเพื่อดึงหมึกจากถังหมึกออกมาแทนที่หยดหมึกเดิม ดังรูปที่ 2.9

2.1.6 คุณภาพงานพิมพ์ (Print quality)

การทดสอบสมบัติของหมึกและกระดาษก่อนพิมพ์และหลังพิมพ์ เป็นปัจจัยสำคัญต่อการควบคุมคุณภาพงานพิมพ์และทำให้ทราบปัญหาที่เกิดขึ้นในงานพิมพ์และสามารถแก้ไขปัญหาระหว่างพิมพ์ได้อย่างถูกต้อง (10)

2.1.6.1 ความมันวาว (Gloss)

ความมันวาวของกระดาษ (Paper gloss) สามารถวัดได้จากสมบัติการสะท้อนแสงของพื้นผิวกระดาษ ซึ่งเกิดจากการสะท้อนแสงแบบกระจก (Specular reflection) และการสะท้อนแสงแบบกระจาย (Diffuse reflection) วัตถุใดที่มีการสะท้อนแสงแบบกระจกมากกว่าวัตถุนั้นมีความมันวาวสูง ความมันวาวของกระดาษขึ้นอยู่กับความเรียบของพื้นผิว การขัดผิวและการเคลือบ

ความมันวาวของชั้นหมึกพิมพ์ (Ink gloss) สามารถวัดได้จากวิธีการเดียวกับความมันวาวของกระดาษ ในการผลิตภาพพิมพ์นั้นโดยส่วนมากต้องการหมึกพิมพ์ที่มีความมันวาวสูงเพื่อช่วยเพิ่มความเปรียบต่างและความอึดตัว ความมันวาวนั้นขึ้นกับ ชนิดและปริมาณของตัวพา (Vehicle) สารสี (Pigment) ในหมึก

2.1.6.2 ความขาวสว่าง (Brightness)

การกระเจิงของแสง (Light scattering) เป็นสมบัติของแสงที่สำคัญอันหนึ่งที่มีผลต่อความขาวสว่างของกระดาษ การกระเจิงของแสงที่เกิดขึ้นนี้ เป็นผลจากการสะท้อนและหักเหของแสงที่ตกกระทบบนเส้นใยเซลลูโลสและสารเติมแต่ง ความขาวสว่างของกระดาษวัดได้จากค่าการสะท้อนแสงโดยรวม (Total reflectance of light) ที่ตกลงบนกระดาษ ในอุตสาหกรรมทำกระดาษจะวัดค่าความสว่างจากการสะท้อนแสงแบบกระจายที่มุม 45 องศา ณ ความยาวคลื่น 457 นาโนเมตร

2.1.6.3 ความเรียบ (Smoothness)

สมบัติเชิงฟิสิกส์อื่นที่มีผลต่องานพิมพ์ก็คือความเรียบ ความเรียบเป็นลักษณะที่สัมพันธ์กับความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ กระดาษที่มีความเรียบมากจะส่งผลต่อความละเอียดของงานพิมพ์ที่สูงขึ้นดังนั้นกระดาษชนิดความมันวาวสูงจะมีความเรียบสูง แต่กระดาษที่มีความเรียบสูงไม่จำเป็นต้องมีความมันวาวสูง

2.1.6.4 ความดำของหมึกพิมพ์ (Ink density)

คือค่าความดำของหมึกพิมพ์ ซึ่งเป็นผลมาจากปรากฏการณ์เชิงแสงคือ การสะท้อน การดูดกลืนและการหักเหของแสง การวัดค่าความดำคือ การวัดปริมาณของแสงที่สะท้อนจากงานพิมพ์ แล้วเปลี่ยนเป็นค่าความดำ ซึ่งปริมาณแสงที่สะท้อนดังกล่าวจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ การดูดกลืนแสงของชั้นหมึกพิมพ์ ถ้าปริมาณแสงสะท้อนน้อยจะวัดได้ค่าความดำมาก

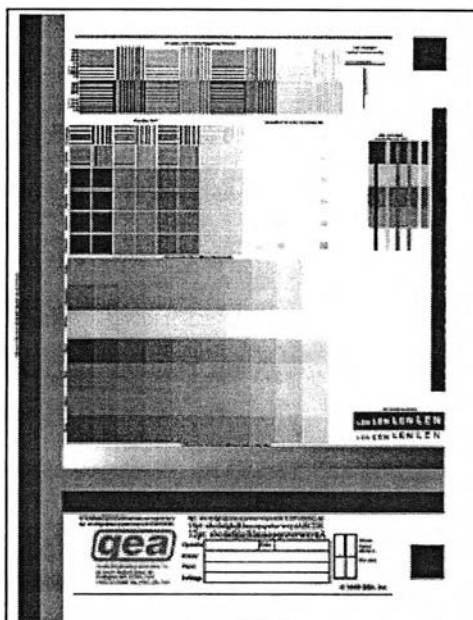
2.1.6.5 การบวมของเม็ดสกรีน (Dot gain)

ค่าเม็ดสกรีนบวมเป็นผลต่างระหว่างพื้นที่สกรีน (Dot area) จากไฟล์ต้นฉบับกับพื้นที่สกรีนของงานพิมพ์ที่ได้ (11) โดยทั่วไปมักจะวัดบริเวณพื้นที่สกรีนที่ร้อยละ 50 ตัวอย่างเช่นถ้า บนไฟล์ต้นฉบับวัดพื้นที่สกรีนได้ร้อยละ 50 เมื่อพิมพ์จริงแล้ววัดพื้นที่สกรีนบริเวณเดียวกันได้ ร้อยละ 70 เพราะฉะนั้นค่าเม็ดสกรีนบวมเท่ากับร้อยละ $70-50 = 20$

การเกิดเม็ดสกรีนบวมเป็นปรากฏการณ์ปกติของการพิมพ์ เนื่องจากความพรุนของกระดาษจะทำให้หมึกที่พิมพ์ลงบนกระดาษนั้นถูกดูดซึมลงไปในรูพรุนและทำให้รูปร่างเม็ดสกรีนขยายขึ้น ซึ่งจะมากขึ้นอยู่กับความพรุน และความหยาบของผิวกระดาษ ความหนืดของหมึกพิมพ์ และแรงกดพิมพ์ การพิมพ์ที่ดีจะต้องควบคุมให้เกิดเม็ดสกรีนบวมน้อยและคงที่อยู่เสมอ ตามมาตรฐานกำหนด

2.1.7 QEA test target

การตัดสินใจของผู้บริโภคในการซื้อเครื่องพิมพ์ หมึก โทเนอร์หรือสื่อสำหรับพิมพ์ มักพิจารณาจากความพอใจมากกว่า แต่เกณฑ์การพิจารณานี้เป็นเกณฑ์ที่ขึ้นอยู่กับตัวบุคคลและมีความไม่แน่นอน จึงไม่เพียงพอต่อการนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินคุณภาพ ดังนั้นจึงมีผู้ผลิตเครื่องมือที่เรียกว่า “QEA test target” (12) (รูปที่ 2.10) ขึ้นมาสำหรับวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์ ซึ่งให้ความคงที่ น่าเชื่อถือและมีประสิทธิภาพ เครื่องมือสำหรับใช้วัดคุณภาพงานพิมพ์ประกอบด้วย เครื่องมือวัดคุณภาพของภาพ (เม็ดสกรีน เส้นและบริเวณพื้นตาย) ค่าความดำหมึกพิมพ์ สี และความมันวาว โดยแต่ละส่วนก็จะแบ่งคุณลักษณะคุณภาพงานพิมพ์พื้นฐานได้ดังตารางที่ 2.4

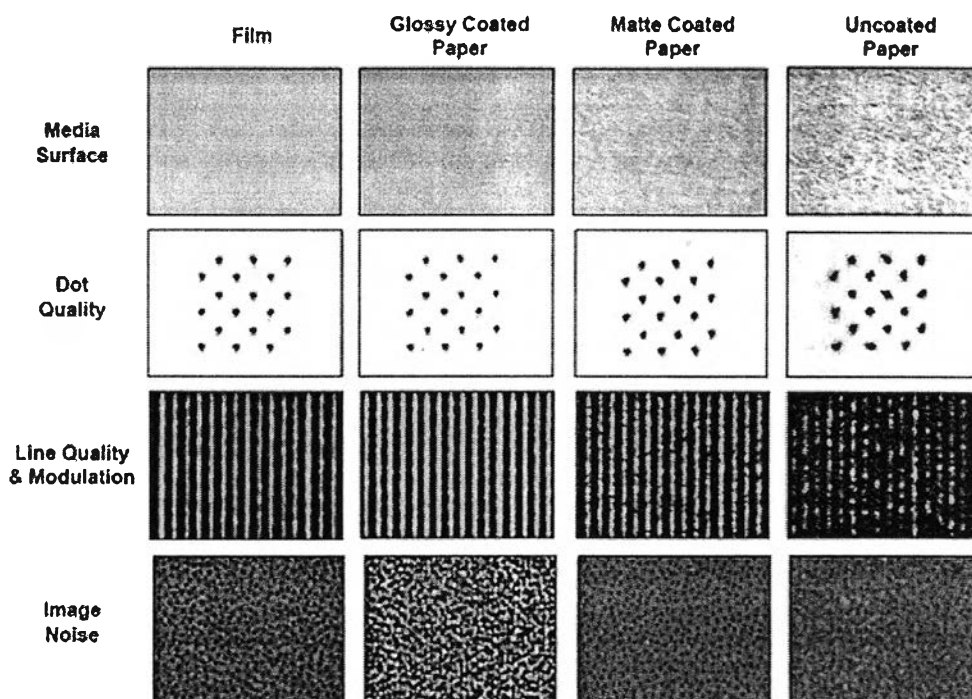


รูปที่ 2.10 QEA test target สำหรับวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์

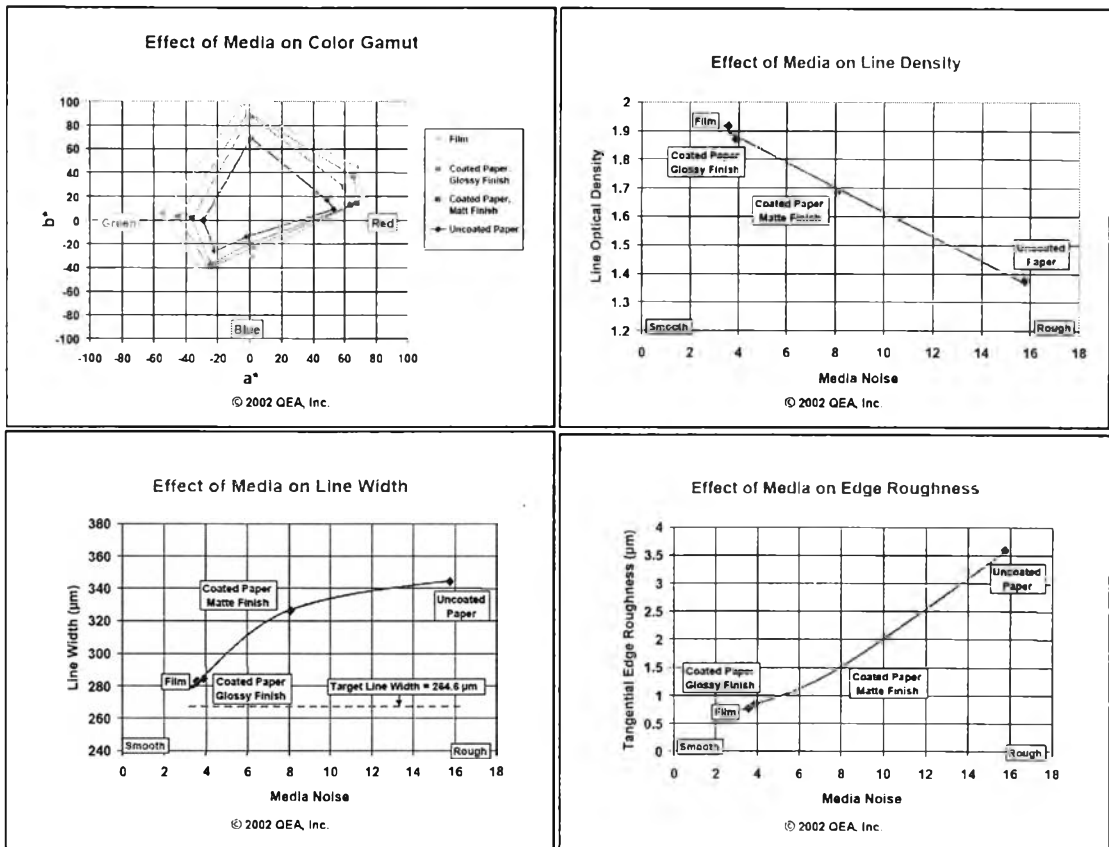
ตารางที่ 2.4 คุณลักษณะคุณภาพงานพิมพ์พื้นฐาน

ส่วนประกอบของภาพ	คุณลักษณะของภาพ
เม็ดสกรีน	<ul style="list-style-type: none"> - ตำแหน่งของเม็ดสกรีน (Dot location) - เม็ดสกรีนบวม (Dot gain) - รูปร่างเม็ดสกรีน (Dot shape) - รอยหยักบริเวณขอบ (Edge raggedness) - การเกิดเม็ดสกรีนรูปร่างคล้ายดาวหาง (Satellites)
เส้น	<ul style="list-style-type: none"> - ความกว้างของเส้น (Line width) - ความคมชัดบริเวณขอบ (Edge sharpness) - รอยหยักบริเวณขอบ (Edge raggedness) - ค่าความดำเชิงแสง (Optical density) - ความละเอียด (Resolution) (ค่ากำลังแยก MTF)
บริเวณพื้นตาย	<ul style="list-style-type: none"> - ค่าความดำเชิงแสง (Optical density) (การผลิตน้ำหมึกสีของภาพ) - สี (Color) (ความอิ่มตัว สี สัน) - สัญญาณรบกวน (Noise) (ความหยาบละเอียด (Graininess) รอยกระดำกระด่าง พื้นหลัง เงาเหลือมหลัง (Ghosting)) - ความมันวาว (Gloss)

จากกรณีศึกษาตัวอย่างของสื่อสิ่งพิมพ์หลาย ๆ ชนิดพบว่าลักษณะด้านสัญญาณรบกวน ขนาดเม็ดสกรีน ความกว้างของเส้น ความขรุขระบริเวณขอบและค่ากำลังแยกของกระดาษไม่เคลือบผิวมีค่ามากกว่ากระดาษเคลือบผิวนิคด้าน กระดาษเคลือบผิวนิคด้านมีค่ามากกว่ากระดาษเคลือบผิวนิคมัน และกระดาษเคลือบผิวนิคมันมีค่ามากกว่าฟิล์ม ในทางกลับกันคุณลักษณะด้านขอบเขตสี ค่าความดำเชิงแสงและความเบี่ยงต่างของกระดาษไม่เคลือบผิวมีค่าน้อยกว่า กระดาษเคลือบผิวนิคด้านและกระดาษชนิดด้านมีค่ามากกว่ากระดาษเคลือบผิวนิคมัน และกระดาษชนิดมันมีค่ามากกว่าฟิล์ม เรียงลำดับจากค่าน้อยไปมาก ซึ่งผลทั้งหมดแสดงไว้ในรูปที่ 2.11 และ 2.12



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะพื้นผิวสื่อสิ่งพิมพ์ คุณภาพของเม็ดสกรีน คุณภาพของเส้นและความละเอียดและสัญญาณรบกวนภาพของสื่อที่เป็นฟิล์ม กระดาษเคลือบผิวนิคมัน กระดาษเคลือบผิวนิคด้านและกระดาษไม่เคลือบผิว (12)



รูปที่ 2.12 ผลของสื่อสิ่งพิมพ์ที่มีผลต่อคุณภาพงานพิมพ์ในระบบการพิมพ์อิงก์เจ็ต (12)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพิมพ์ระบบอิงก์เจ็ตเป็นที่นิยมและมีต้นทุนต่ำสำหรับการพิมพ์ภาพดิจิทัลคุณภาพสูง กระดาษพิมพ์อิงก์เจ็ตชนิดด้าน ส่วนมากประกอบด้วยอนุภาคของซิลิกาเป็นส่วนประกอบหลัก ผสมร่วมกับ PVOH หรือแป้งซึ่งเป็นพอลิเมอร์ ที่ละลายน้ำได้ เพื่อใช้เป็นชั้นรูพรุน ทำหน้าที่ดูดซับ หยดหมึก และจับกับสีหรือสารสีไวบนผิวด้านบน (โดยทั่วไปจะใช้สารเติมแต่งที่เป็น พอลิเมอร์ชนิดประจุบวกช่วยในการจับหมึก) เพื่อให้เกิดค่าความคมภาพพิมพ์และความคมชัดสูงสุด พร้อมกับเกิดการซึมทะลุที่น้อยที่สุด งานวิจัยของ Karathaasis (13) ใช้ซิลิกาชนิดใหม่ที่มีรูพรุนขนาด กลางและรูพรุนขนาดใหญ่ (Mesoporous และ Macroporous silica) แทนที่ฟิสิกเมนต์ชนิดซิลิกาเจล ส่งผลให้โครงสร้างรูพรุนในชั้นสารเคลือบมีระเบียบมากกว่ากระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้าซึ่งมีซิลิกาเจลเพียงชนิดเดียว ทำให้สามารถกักสารสีในหมึกพิมพ์ไวบนพื้นผิวได้มากขึ้นเป็นผลให้ภาพมีความคมชัดและค่าความคมภาพพิมพ์สูงขึ้น

สารเคลือบผิวระบบอิงก์เจ็ตแบ่งเป็น 2 ระบบคือ ระบบใช้ฟิสิกเมนต์ในปริมาณมากในสารเคลือบ (Pigment-rich system) คือมีปริมาณฟิสิกเมนต์มากกว่าร้อยละของ CPVC (Critical Pigment Volume Concentration) ซึ่งค่า CPVC หมายถึง ปริมาณของฟิสิกเมนต์เป็นร้อยละ โดยปริมาตรใน

ส่วนที่ไม่ระเหยของสี (Pigment Volume Concentration) ตรงจุดที่มีปริมาณสารยึดเกาะเพียงพอที่จะทำให้ผงสีเปียกได้อย่างสมบูรณ์และช่องว่างทั้งหมดระหว่างอนุภาคของผงสีถูกอุดไว้จนหมด และระบบที่ 2 คือ ระบบที่มีเรซินอยู่ในสารเคลือบในปริมาณมาก (Resin-rich system) หลักการของสารเคลือบระบบที่ใช้พิกเมนต์เป็นปริมาณมากคือ หมึกจะถูกดูดซับเข้าสู่โครงสร้างตาข่ายของพิกเมนต์ ปัจจุบันนิยมใช้ซิลิกาอสัณฐานเป็นพิกเมนต์เพราะมีความสามารถในการดูดซับสูงและมีความชอบน้ำ ซิลิกามีหลายชนิด คือ ฟุ่มซิลิกา คอลลอยดอลซิลิกา พรีซิพิเทตซิลิกาและซิลิกาเจล ขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วงต่ำกว่า 100 nm ถึงมากกว่า 1 μm พิกเมนต์ชนิดคอลลอยดอลซิลิกา พรีซิพิเทตซิลิกาและฟุ่มซิลิกาไม่มีรูพรุนภายใน ซิลิกาเจลมีความแข็งและมีรูพรุนแบบโครงสร้างตาข่าย 3 มิติและอนุภาคมีขนาดมากกว่า 300 nm ขึ้นไป

ปัจจุบันสารเคลือบผิวอิมัลชันระบบที่ใช้พิกเมนต์เป็นปริมาณมาก ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือ พิกเมนต์ชนิดซิลิกา สารยึดเกาะคือ PVOH และสารเติมแต่งที่เป็นพอลิเมอร์ชนิดประจุบวก ข้อเสียของส่วนประกอบสารเคลือบเหล่านี้คือ ราคาสูงไม่คุ้มกับการพิมพ์สิ่งพิมพ์ขนาดใหญ่ และโดยธรรมชาติแล้วสารเคลือบที่มีซิลิกาเป็นพิกเมนต์จะมีความหนืดต่ำและมีร้อยละของแข็งต่ำกว่า 20 จึงไม่เหมาะกับการใช้งานในวิธีการเคลือบที่ใช้ความเร็วสูง นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องใส่สารยึดเกาะจำนวนมาก (ปกติจะมากกว่าร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก) ลงไปในสารเคลือบ เนื่องจากซิลิกามีพื้นที่ผิวจำเพาะขนาดใหญ่

สารเคลือบระบบที่ใช้เรซินในปริมาณมากจะดูดซับหมึกโดยกลไกการบวมตัวของพอลิเมอร์ เช่น เจลละติน PVOH และพอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ซึ่งต่างจากสารเคลือบระบบที่ใช้พิกเมนต์ในปริมาณมากที่ใช้หลักการระเหยและกักเก็บหมึกในรูพรุน การแห้งตัวของสารเคลือบระบบนี้ช้ามากเพราะสารเคลือบดูดซับความชื้นทั้งจากหมึกและบรรยากาศ Chapman and Michos (14) รายงานว่าวัสดุชนิดใหม่ที่มีขนาดเล็กกว่าระดับไมโครเมตรซึ่งเป็นซิลิกาเจลอสัณฐานสามารถนำมาเตรียมสารเคลือบที่มีความสามารถในการรับหมึก และมีความมันวาวสูงซึ่งเป็นผลมาจากรูพรุนภายในของซิลิกาเจลซึ่งเมื่อทำเป็นสารเคลือบจะมีช่องว่างรูพรุนสำหรับดูดซึมหมึกและขนาดอนุภาคที่เล็กมาก ทำให้ชั้นฟิล์มมีความมันวาวสูง

Chapman (15) ทำการศึกษาสมบัติของซิลิกาสังเคราะห์อสัณฐาน พบว่าซิลิกามีระบบรูพรุน 2 แบบคือ รูพรุนระหว่างอนุภาค และรูพรุนภายในอนุภาค แบบหลังนี้มีความสามารถในการรับหมึกสูง ขณะที่รูพรุนระหว่างอนุภาคซิลิกาทำหน้าที่ยอมให้ของเหลวไหลผ่านจากพื้นผิวสารเคลือบอย่างรวดเร็วและ มีความสามารถในการรับหมึกได้ สูตรสารเคลือบทั่วไปจะใช้ซิลิกาเจลที่มีปริมาตรรูพรุนสูง ($2.0 \text{ cm}^3/\text{g}$) ให้ Void fractions 0.8 ซิลิกาในสารเคลือบที่มีปริมาตรรูพรุนสูงจะใช้เวลาในการแห้งตัวสั้น สมบัติของซิลิกาสังเคราะห์อสัณฐานอีกประการหนึ่ง คือ การแพร่ของหยดหมึกบนผิวสารเคลือบ พบว่าขึ้นกับธรรมชาติทางเคมีของพื้นผิว (พลังงานผิว) ซึ่งสัมพันธ์กับ

แรงดึงผิวของหมึก และขึ้นกับปัจจัยอื่นที่สำคัญเช่น ความขรุขระ (Roughness) และรูพรุนของสารเคลือบ นอกจากนี้การกระจายตัวของขนาดอนุภาคของซิลิกาที่เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความขรุขระของพื้นผิวด้วยสำหรับสารเคลือบที่มีรูพรุนสูง จะทำให้หมึกดูดซึมได้รวดเร็วเป็นผลให้ผงสีของหมึกพิมพ์คงอยู่บนผิวของสารเคลือบ การดูดซับตัวทำละลายของหมึก ทำให้ผงสีถูกแยกอยู่ในบริเวณใกล้กับผิวสารเคลือบ สุดท้ายขนาดอนุภาคของซิลิกายังมีผลต่อการปรากฏของสีพื้นตาย ความขรุขระของพื้นผิวที่มีผลต่อความมันวาวภาพพิมพ์

Lee, Joyce, Fleming, และ Cameron (16) เน้นการใช้ฟลูมซิลิกาและฟลูมอะลูมินาชนิดมีรูพรุนเพื่อผลิตกระดาษอิงก์เจ็ตแบบมัน พบว่าฟิกเมนต์ชนิดนี้สามารถนำไปผลิตกระดาษเคลือบผิวแบบมันได้ และศึกษาอิทธิพลของโครงสร้างของสารเคลือบ ชนิดของฟิกเมนต์ และการนำไปใช้งานที่มีผลต่อคุณภาพงานพิมพ์อิงก์เจ็ต ผลก็คือเมื่อเพิ่มน้ำหนักสารเคลือบจะทำให้ความมันวาวและความขาวสว่างของสารเคลือบเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเมื่อทำการขัดผิว ส่วนอนุภาคขนาดเล็กของฟิกเมนต์จะไปอุดช่องว่างบนผิวกระดาษ ทำให้ความมันวาวและความเรียบของชั้นสารเคลือบสูงขึ้น นอกจากนี้ชนิดของฟิกเมนต์ ยังส่งผลต่อคุณภาพงานพิมพ์ด้านความดำหมึกพิมพ์ ความมันวาวหมึกพิมพ์ ความแตกต่างความมันวาว และความกลมของเม็ดสกรีน ซึ่งกระดาษที่เตรียมด้วยฟิกเมนต์ชนิดฟลูมซิลิกาและชนิดฟลูมอะลูมินาให้คุณภาพงานพิมพ์สูงกว่าหรือใกล้เคียงกับกระดาษอิงก์เจ็ตทางการค้า แต่หากใช้เครื่องพิมพ์ที่มีระบบจ่ายหมึกต่างกันก็จะทำให้คุณภาพงานพิมพ์แตกต่างกันด้วย

หน้าที่ของส่วนประกอบในสารเคลือบแต่ละส่วนและการทำปฏิกิริยาระหว่างองค์ประกอบที่ต่างกัน มีผลต่อพฤติกรรมของสารเคลือบสุดท้ายที่ได้ จากงานวิจัยของ Hladnik et al. (17) ซึ่งศึกษาอิทธิพลของส่วนประกอบในสารเคลือบต่อสมบัติของกระดาษและสมบัติการพิมพ์ของกระดาษ อิงก์เจ็ต โดยทดสอบฟิกเมนต์ชนิดสังเคราะห์ 3 ชนิด ได้แก่ ฟริซีฟิเทตซิลิกา คอลลอยดอลซิลิกา และฟริซีฟิเทตแคลเซียมคาร์บอเนต สารยึด 1 ชนิด ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และสารคงสีย้อม 1 ชนิด คือ poly-DADMAC ถึงผลที่มีต่อคุณภาพของกระดาษ พบว่าการที่ลักษณะของกระดาษและภาพพิมพ์ต่างกันเป็นเพราะสารเคลือบต่างกัน โดยสมบัติการต้านทานการถอนผิว (Dry pick resistance) ขึ้นกับจำนวนของสารยึดในสารเคลือบหากใส่มากความแข็งแรงของพื้นผิวจะมีค่าสูงขึ้น เมื่อศึกษาค่าความดำหมึกพิมพ์พบว่า ฟิกเมนต์ สารยึด สารคงสีย้อมและการทำปฏิกิริยาของส่วนประกอบทั้ง 3 มีผลต่อค่าความดำหมึกพิมพ์ในเชิงสถิติด้วย และฟิกเมนต์ที่ให้ค่าความดำหมึกพิมพ์สีดำสูงก็คือ คอลลอยดอลซิลิกา ส่วน poly-DADMAC ทำหน้าที่คงหมึกไว้บนพื้นผิวของกระดาษและส่งผลต่อความคงทนต่อน้ำ สุดท้ายคือค่าการล้นเลอะของหมึกระหว่างสีดำกับสีเหลือง (Black-to-yellow ink bleeding) และขอบภาพไม่คมชัดอันเนื่องมาจากการซึมของหมึกสีดำ (Black

ink wicking) ขึ้นอยู่กับชนิดและจำนวนพิกเมนต์ของสารเคลือบ อีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลก็คือ สารยึดที่มีการแตกตัว (Fraction) สูงทำให้ขอบภาพไม่คมชัดและค่าการล้นเลอะของหมึกพิมพ์สูง

รายงานของ Khoultschayev และ Graczyk (18) ซึ่งศึกษาอิทธิพลของการทำปฏิกิริยาของพอลิเมอร์-พอลิเมอร์ ต่อสมบัติของสารเคลือบบนกระดาษพิมพ์อิงก์เจ็ตกล่าวว่า การเลือกพอลิเมอร์และความหนาแน่นของประจุของพอลิเมอร์เพื่อใช้ในสารเคลือบกระดาษอิงก์เจ็ตต้องควบคุมอย่างระมัดระวังเพื่อป้องกันการแยกเฟสหรือการตกตะกอน การเกิดปฏิกิริยาในสารเคลือบมีอิทธิพลต่อความคงทนต่อน้ำและคุณภาพงานพิมพ์ เมื่อใช้หมึกพิมพ์ชนิดพิกเมนต์ เวลาที่ใช้ในการแห้งตัวจะสั้น ทำให้เกิดการรอยแยกของภาพบนกระดาษพิมพ์อิงก์เจ็ต

การผลิตภาพที่ดีในการพิมพ์ระบบอิงก์เจ็ตต้องสามารถคงสีของหมึก ไว้บนพื้นผิวของกระดาษเคลือบผิวได้ บริษัท Sartomer (19) จึงทำการใส่สารเติมแต่งชนิดประจุ (poly-DADMAC) ลงในสารเคลือบกระดาษ พบว่าสามารถคงสีของหมึกไว้ได้ดี แต่สารเคลือบจะหนืดไม่ยืดหยุ่น ทำให้สภาพเดินกระดาษคล่องไม่ดีและโครงสร้างของสารเคลือบเปราะ ด้วยเหตุนี้ทางบริษัทได้ศึกษาสารเติมแต่งชนิดประจุบวก Syrene maleic anhydride imide resin (SMAI) ซึ่งเป็นสารที่ช่วยปรับปรุงคุณภาพงานพิมพ์ สามารถคงสีของหมึกไว้ที่ผิวของกระดาษได้ ทำให้ค่าความค่าภาพพิมพ์ ความคมชัด ความคงทนต่อน้ำ และความมันวาวของผิวกระดาษสูงขึ้นซึ่งดีกว่าสารเติมแต่งชนิดประจุ (poly-DADMAC)

Xu et al. (20) ทำการศึกษาการวัดความขรุขระของกระดาษอิงก์เจ็ต 3 วิธีคือ Paker print surf (PPS) EMVECO Stylus profilometer และ Atomic force microscopy (AFM) พบว่าวิธีที่ดีที่สุดคือ AFM เนื่องจากสามารถใช้กับพื้นผิวที่มีความเรียบสูงได้ การหาความมันวาวของภาพพิมพ์และของกระดาษควรใช้มุมวัดที่ 75° สำหรับการวัดความขรุขระด้วยวิธี Stylus profilometer ใช้ได้ทั้งมุม 75° และ 60° และพบว่าหมึกพิมพ์ชนิดพิกเมนต์สามารถแสดงความมันวาวได้สูงเพราะ การจัดเรียงตัวของอนุภาคหมึกกับอนุภาคพิกเมนต์ของสารเคลือบเป็นระเบียบ นอกจากนี้ความมันวาวของสารเคลือบกระดาษยังขึ้นกับการจัดเรียงตัวของอนุภาคพิกเมนต์สารเคลือบที่มีขนาดต่าง ๆ กันด้วย ส่วนหมึกพิมพ์ชนิดสีผสมไม่สามารถช่วยเพิ่มความมันวาวของกระดาษได้ เนื่องจากโมเลกุลของสีผสมเล็กมากจึงทำได้แค่ไปอุดช่องว่างขนาดเล็กในสารเคลือบทำให้ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์เรียกว่าหมึกพิมพ์ชนิดพิกเมนต์

จากข้อมูลของบริษัท Celanese chemicals (4) ซึ่งเป็นบริษัทผลิตพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ได้รายงานไว้ว่า ส่วนประกอบของสารเคลือบที่สำคัญอีกองค์ประกอบหนึ่งคือ สารยึด เช่น แป้ง กาว แต่

ว่าสารยึดที่กล่าวมา มีความแข็งแรงในการยึดติดต่ำเป็นเหตุให้เกิดปัญหาของฝุ่นหรือส่งผลกระทบต่อ การดูดซึมหมึกระหว่างพิมพ์ ส่งผลให้คุณภาพงานพิมพ์ไม่ดี จึงมีการนำ PVOH มาใช้เป็นสารยึด เนื่องจากมีความแข็งแรงต่อการติดยึดสูง เข้ากันได้ดีกับน้ำ เพิ่มความขาวสว่างของกระดาษและให้ ค่าความด้าหมึกพิมพ์ดีกว่าแป้ง PVOH ควรเป็นชนิด Fully Hydrolyzed (98.0-98.8% hydrolysis) มี น้ำหนักโมเลกุลต่ำและปานกลาง เพราะน้ำหนักโมเลกุลของ PVOH เป็นตัวควบคุมกำลังการยึด ติดพิกเมนต์ (Binding power) และกำหนดวิทยากระแสนของสารเคลือบ การที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำทำให้สามารถเพิ่มซิลิกาได้มากขึ้นและการที่ร้อยละไฮโดรไลซิสของ PVOH สูงขึ้นส่งผลให้ความหนืดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนของพิกเมนต์ต่อสารยึดคงที่ โดยทั่วไป PVOH ที่มีน้ำหนัก โมเลกุลปานกลางจะให้ความหนืดที่ดีกว่าชนิดน้ำหนักโมเลกุลต่ำ บริษัท Celanese chemicals พบว่า สูตรสารเคลือบเหมาะสำหรับการเคลือบด้วยใบมีดหรือแท่งโลหะเคลือบผิวควรมีของแข็งร้อยละ 15-30 มีความหนืดในช่วง 200-600 cP ใช้ซิลิกา 100 ส่วนต่อ PVOH 30-50 ส่วน

Lee, Joyce และ Fleming (21) พบว่า พิกเมนต์ชนิดฟลูออโรซิลิกาและอะลูมินา ให้สมบัติของ กระดาษเคลือบผิวอิมัลชันดีคุณภาพสูง อย่างไรก็ตามพิกเมนต์เหล่านี้ยังมีราคาสูงและ สามารถเตรียมร้อยละของของแข็งได้โดยการแทนที่พิกเมนต์ชนิดฟลูออโรซิลิกาและอะลูมินาด้วย พิกเมนต์ชนิดธรรมดา คือ ฟริชพิเทคแคลเซียมคาร์บอเนต (PCC) อัลตราฟายน์กราวด์แคลเซียม คาร์บอเนต (UFGCC) อะลูมินาไตรไฮดรต (ATH) และเบอไมท์ (Baumite) แทนที่ปริมาณ 30 ส่วน แล้วศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคของพิกเมนต์และ การจัดเรียงตัวของอนุภาคบนกระดาษที่มีต่อ สมบัติเชิงแสงและงานพิมพ์ของกระดาษอิมัลชันดีชนิดมันพบว่า สารเคลือบของฟลูออโรซิลิกาออกไซด์ และพิกเมนต์ชนิดธรรมดามีสมบัติเชิงแสงและคุณภาพงานพิมพ์ดีกว่า สารเคลือบที่มีฟลูออโรซิลิกา ออกไซด์เพียงชนิดเดียว

Vikman (22) พบว่าการลดต้นทุนของสารเคลือบว่ามีหลายวิธี ตัวอย่างเช่น ใช้ฟริชพิเทค แคลเซียมคาร์บอเนต (PCC) กราวด์แคลเซียมคาร์บอเนต (GCC) และ Surface-enhanced aluminosilicate (SEAS) แทนซิลิกา แต่ถึงกระนั้นก็ควรใส่สารเติมแต่งชนิดประจุบวก เพื่อปรับปรุง พื้นผิวและสมบัติของสารเคลือบ ซึ่งทำให้คุณภาพงานพิมพ์สูงขึ้น แต่กรณีที่ใช้ PCC ชนิดประจุบวก เป็นพิกเมนต์ร่วมกับ SEAS ก็ไม่จำเป็นต้องใช้สารยึดเนื่องจาก PCC ชนิดประจุบวกสามารถงอตัวบนพื้นผิว และทำให้อัตราการแห้งตัวของผงสีเพิ่มขึ้นอย่างมาก เมื่อลดจำนวนของสารยึดลง นอกจากนี้สารละลายในหมึกก็จะถูกดูดซึมโดยวัตถุที่อยู่ใต้ชั้นสารเคลือบ ซึ่งต่างจากสารเคลือบซิลิกา ที่สารละลายถูกกักอยู่ในชั้นสารเคลือบโดยตรง ด้วยเหตุนี้จึงมีการพัฒนา PCC ชนิดใหม่ มีลักษณะ โครงสร้างเป็นแผ่นแบนขึ้น

ในการพิจารณางานพิมพ์ผู้ใช้งานมักพิจารณาสมบัติที่มองเห็นได้เป็นหลัก คือ สี และความชัดเจนซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติดังกล่าว ได้แก่ เครื่องพิมพ์ และวัสดุรองรับ ดังนั้นผู้ผลิตจำเป็นต้องพัฒนาทั้งสองสิ่งนี้ควบคู่กันไป งานวิจัยทางด้านพิกเมนต์ในสารเคลือบกระดาษพิมพ์อิงก์เจ็ตระหว่าง JETCOAT[®] 30 Specialty PCC กับซิลิกาชนิดสังเคราะห์ Superka และ Janson (23) พบว่าพิกเมนต์ทั้ง 2 ชนิดช่วยเพิ่มคุณภาพงานพิมพ์ให้สูงขึ้น กลไกการดูดซึมหมึกของซิลิกานั้นทำได้โดยการใส่รูพรุนที่มีลักษณะ การชอบน้ำเป็นตัวดักหมึกพิมพ์ซึ่งเป็นชนิดฐานน้ำ สำหรับ PCC นั้นมีโครงสร้างแบบผลึก ดังนั้นจึงทำได้แคื่อยึดหมึกไว้บนพื้นผิวของสารเคลือบเท่านั้น เป็นผลให้ค่าความดำหมึกพิมพ์สูงกว่าและการลื่นลอะของสีต่ำ