บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาและค้นคว้าเอกสาร ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเรื่องการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตทดแทนซิลิกาในสารเคลือบกระดาษหนังสือพิมพ์เพื่อปรับปรุงคุณภาพงานปรู๊ฟระบบพ่นหมึก มีรายละเอียด ดังนี้

2.1 สารเคลือบ (Coating)

2.2 กระดาษ (Paper)

2.3 ระบบการพิมพ์อิงก์เจ็ต (Ink Jet Printing)

2.4 คุณภาพงานพิมพ์ (Print Quality)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารเคลือบ (Coating) [1]

2.1.1 โครงสร้างสารเคลือบ

2.1.1.1 สารสี (Pigment)

เป็นสารเคมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ใส่ในสารเคลือบผิวเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผิวหน้ากระดาษให้รับหมึกได้ดี สมบัติพื้นฐานของสารสีต้องมีอนุภาคเล็ก มีประสิทธิภาพการกระเจิงแสงสูง สามารถปกปิดผิวหน้าของเส้นใยกระดาษได้ มีการกระจายตัวในสารยึดติดได้ดี ให้ความขาวสว่างสูง ควรเลือกใช้สารสีที่มีดัชนีหักเหต่างจากสารยึด เพื่อให้สารเคลือบนั้นมีสมบัติทึบแสง นอกจากนี้สารสีต้องทนการขัดผิวหน้าได้โดยเฉพาะการขัดผิวหน้า เพื่อความมันวาวที่อุณหภูมิสูง โดยไม่ต้องมีสารยึดปริมาณมาก ดังนั้นจึงไม่มีสารสีชนิดใดชนิดหนึ่งที่สามารถให้สมบัติได้ครบตามที่ต้องการ ทำให้ต้องนำสารสีหลายชนิดมาผสม เพื่อให้ได้สมบัติที่ต้องการทุกประการ โดยทั่วไปนิยมใช้สารสีไม่เกิน 2 ชนิด คือ สารสีหลักและสารสีร่วม โดยต้องใช้ปริมาณสารสีหลักไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 และสารสีร่วมในปริมาณที่น้อยกว่า

2.1.1.2 สารยึดติด (Binder)

เป็นตัวเชื่อมหรือเป็นตัวกลางให้กับสารสีและสารเคมีอื่นกระจายตัวอยู่ในสารเคลือบผิว เพื่อให้สารเคลือบผิวนั้นสามารถยึดติดอยู่บนเส้นใยเซลลูโลส จึงทำหน้าที่คล้ายกาว ช่วยยึดติดสารเคลือบและกระดาษเข้าด้วยกัน นอกจากนี้สารยึดยังทำหน้าที่ควบคุมความหนืด การไหล การปลดปล่อยน้ำ และเวลาเซ็ตตัวของสารเคลือบผิว การใช้สารยึดในสัดส่วนที่เหมาะสม สามารถควบคุมและกำหนดสมบัติ

ดังกล่าวได้ การใช้ปริมาณสารเคลือบน้อยไปทำให้สารเคลือบผิวกระดาษมีผิวหน้าไม่เรียบและไม่แข็งแรง ส่วนการใช้ปริมาณสารเคลือบมากไปจะทำให้สมบัติทางแสงและทางการพิมพ์เสียไป สารยึดที่ดีต้องมีความสามารถในการยึดสารสี และให้สารสีกระจายตัวสม่ำเสมอในสารเคลือบ นอกจากนี้ยังต้องมีราคาถูก ไม่มีสี มีความเป็นพลาสติกดีเกิดเป็นแผ่นฟิล์มได้ง่าย สามารถปรับความหนืดได้ มีค่าคงตัวทั้งเวลา อุณหภูมิและทนแรงเฉือนเวลาใช้งาน สารเคมีเคลือบผิวระบบน้ำหรือระบบคลอลอยด์ใช้สารยึดประเภทแป้ง โปรตีน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ สารยึดเป็นสารพอลิเมอร์ที่ทำหน้าที่เหมือนลดรูพรุนของแผ่นกระดาษ โดยทั่วไปพบว่าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความสามารถในการลดรูพรุนได้ดีที่สุด และสามารถลดความเป็นรูพรุนกระดาษได้เมื่อใช้ปริมาณของสารยึดสูง

2.1.1.3 สารยึดติดร่วม (Co-Binder)

เป็นสารช่วยประสานระหว่างสารยึดและสารเคมีอื่น มักใช้ในปริมาณน้อย เพื่อเสริมสมบัติบางประการเพิ่มเติมจากผลที่ได้จากสารยึดหลัก สารยึดร่วมที่นิยมใช้กันทั่วไปในการเคลือบผิวกระดาษ คือ คาร์บอกซีเมทิล เซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose) ซึ่งช่วยในด้านการยึดติด การปรับความหนืดและสามารถดูดหรือเก็บน้ำได้ดี จึงทำให้สามารถใช้ในสูตรสารเคลือบที่มีปริมาณของแข็ง (Solid Content) จำนวนมาก

2.1.1.4 ตัวทำให้เข้มข้น (Thickener)

โดยทั่วไปนิยมใช้พอลิเมอร์ธรรมชาติที่ละลายน้ำได้ เช่น แป้ง (Starch), พอลิอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte), คาร์บอกซีเมทิล เซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose) และไฮดรอกซีเอทิล เซลลูโลส (Hydroxyethyl Cellulose) เป็นต้น และพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl Alcohol)

2.1.1.5 สารเติมแต่ง (Additives)

สารเติมแต่งในสารเคลือบมีหน้าที่ต่างกัน เช่น ปรับค่าความเป็นกรด-เบส เป็นสารหล่อลื่น ปรับความขาวสว่าง และช่วยการกระจายตัวของสารสี เป็นต้น ส่วนใหญ่สารเคลือบมีปริมาณสารเติมแต่งเพียงเล็กน้อยประมาณร้อยละ 2 โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด ตัวอย่างของสารเติมแต่ง ได้แก่

ก. สารช่วยกระจาย (Dispersant) ช่วยให้สารสีกระจายตัวในสารยึดได้ดีไม่จับตัวกันเป็นก้อน เป็นสารจำพวกโซเดียม พอลิอะคริเลต (Sodium Polyacrylate) เตตระโซเดียมพอลิฟอสเฟต (Tetra Sodium Polyphosphate) เป็นต้น

ข. สารปรับความหนืด (Viscosity Modifier) ทำหน้าที่ลดหรือเพิ่มความหนืดของสารเคลือบผิว ความเร็วของเครื่องเคลือบผิวเป็นตัวกำหนดความหนืดของสารเคลือบ

ค. สารหล่อลื่น (Lubricant) เพื่อปรับให้สมบัติการไหลของสารเคลือบและควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการกวน ช่วยปรับสมบัติความเรียบ ป้องกันการแตกหักของชั้นเคลือบผิวเมื่อหักงอ และยังช่วยให้สภาพการเดินกระดาษคล่องตัว ส่วนใหญ่เป็นสารพวกแคลเซียม สเตียเรต (Calcium Stearate) พอลิ-เอทิลีน อิมัลชัน (Polyethylene Emulsion) เป็นต้น

ง. สารกันน้ำ (Cross linker or Insolubilizer) ที่ใช้แพร่หลาย ได้แก่ สารจำพวกยูเรีย-ฟอมาลดีไฮด์ เรซิน (Urea-formaldehyde resin) แอมโมเนียไซโคเนียมคาร์บอเนต (Ammonia Syconium Carbonate) เป็นต้น

จ. สารช่วยป้องกันเชื้อแบคทีเรียหรือเชื้อรา (Biocide) เช่น อัลดีไฮด์ (Aldehyde)

ฉ. สารควบคุมค่าความเป็นกรด-เบส (pH Control)

ช. สารเพิ่มความขาวสว่าง (Optical Brighteners) ช่วยดูดกลืนแสงยูวี (UV) และเพิ่มความขาวสว่างของสารเคลือบผิว

ซ. สีย้อม (Dye) ใช้เพื่อให้สังเกตด้านเคลือบผิวได้ชัดเจน

ฌ. สารลดฟอง (Defoamer) ใช้เพื่อยับยั้งหรือป้องกันไม่ให้เกิดฟองในสารเคลือบขณะกวนสาร

2.1.1.6 ตัวทำละลาย (Solvent) [1]

ในสารเคลือบกระดาษส่วนใหญ่มักมีน้ำเป็นตัวทำละลาย ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของสารเคลือบ น้ำทำให้ส่วนประกอบของสารเคลือบรวมตัวเข้ากันได้ สารสีสามารถกระจายตัวได้ ทำให้เกิดการแห้งตัว เกิดการถ่ายโอนของสีและสามารถเคลือบลงบนกระดาษได้ เมื่อน้ำระเหยจากชั้นของสารเคลือบจะทำให้เกิดชั้นของแข็ง สารยึดติดจะทำหน้าที่เชื่อมสารสีและกระดาษ สารเคลือบประกอบด้วยน้ำเพื่อสมบัติการไหล โดยปริมาณของแข็งของสารเคลือบที่แห้งจะมีปริมาณถึงร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ซึ่งหมายความว่าสารเคลือบมีน้ำน้อยกว่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

2.1.2 แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate, CaCO3) [2]

แคลเซียมคาร์บอเนต มีสูตรเคมี คือ $CaCO_3$ ประกอบด้วยแคลเซียมออกไซด์ (Calcium Oxide, CaO) ร้อยละ 56 และคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide, CO_2) ร้อยละ 44 ความถ่วงจำเพาะ 2.71 สลายตัวเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 825 องศงเซลเซียส ลักษณะทางกายภาพแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นผงสีขาวไม่ละลายน้ำ แต่ละลายน้ำได้เมื่อมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตละลายอยู่เรียกว่าน้ำกระด้าง และจะตกตะกอนเมื่อเสียคาร์บอนไดออกไซด์ออกไป เป็นต้น แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารประกอบที่มีลักษณะต่างกันหลายอย่าง แต่ละลักษณะมีชื่อเรียกโดยเฉพาะ ชื่อของแร่ที่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตเรียกว่าแร่แคลไซต์หรือแคลสปาร์ ซึ่งเป็นรูปแบบที่ธรรมดาที่สุดของแคลเซียมคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ ผลึกของแคลไซต์มีหลายชนิดมีชื่อเรียกแตกต่างกัน

เช่น ด๊อกทูธสปาร์ (Dogtooth Spar) ไอซแลนด์สปาร์ (Iceland Spar) เนลเฮดสปาร์ (Nailhead Spar) และซาติสสปาร์ (Satin Spar) เป็นต้น

2.1.2.1 การเกิดแคลเซียมคาร์บอเนต

ลักษณะการเกิดของแคลเซียมคาร์บอเนต แบ่งออกเป็น 3 ลักษณะคือ

1) หินคาร์บอเนต (Carbonate Rocks)

หินคาร์บอเนต หมายถึงหินธรรมชาติที่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นส่วนใหญ่ เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตที่เกิดเองตามธรรมชาติในรูปของแร่ประกอบหิน สามารถแบ่งตามลักษณะของการเกิดได้ 3 ชนิด

ก. หินตะกอนคาร์บอเนต (Sedimentary Carbonate Rocks) การจำแนกชนิดของหินทางธรณีวิทยาของหินคาร์บอเนตขึ้นอยู่กับลักษณะการเกิดของแร่องค์ประกอบ ได้แก่

- หินปูน (Limestone) เป็นหินตะกอนซึ่งมีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งเกิดขึ้นในรูปของแคลไซต์ หรือบางครั้งจะอยู่ในรูปของ อราโกไนต์ (Aragonite) ซึ่งทั้งสองชนิดมีสูตรทางเคมีเหมือนกันแต่มีรูปผลึกต่างกัน โดโลไมต์ (Calcium Magnesium Carbonate, $CaMg(CO_3)$ เป็นแร่อีกชนิดหนึ่งที่พบมากในหินปูนโดโลไมต์ ส่วนมากจะเกิดการแทนที่โดยปฏิริยาของแมกนีเซียมในรูปสารละลายที่หินปูนหรือโดโลไมต์ หรือผสมกันระหว่างสองชนิดนี้รวมกับสิ่งเจือปนต่างๆ

- ชอล์ก (Chalk) เป็นหินปูนร่วมเนื้อละเอียดเกิดในน้ำตื้น ประกอบด้วยซากสัตว์ในทะเล

- มาร์ล (Marl) เป็นหินปูนเนื้อร่วนเกิดในทะเลสาบ ซึ่งได้แคลเซียมคาร์บอเนตจากลำธารหรือน้ำพุ

- ทราเวอร์ทีน (Travertine) เป็นหินปูนที่มีเนื้อหลายแบบ ขึ้นอยู่กับแต่ละแหล่งที่เกิด อาจมีลักษณะเนื้อแน่น เป็นเส้นใยแบบเป็นชั้นๆ หรืออ่อนนุ่มและมีรูพรุนซึ่งเรียกกันว่า Calcarous tufa ซึ่งทราเวอร์ทีนส่วนใหญ่จะเกิดการการตกผลึกอย่างรวดเร็วของแคลเซียมคาร์บอเนตรอบๆ น้ำพุร้อน

ข. หินอัคนีคาร์บอเนต (Igneous Carbonate Rocks) เป็นลักษณะพิเศษของหินอัคนีที่มีคาร์บอเนตเป็นส่วนประกอบหลัก แม้จะมีปริมาณน้อย แต่ในบริเวณที่ขาดแคลนหินคาร์บอเนตก็สามารถนำมาใช้ทดแทนได้เป็นอย่างดี

ค. หินแปรคาร์บอเนต (Metamorphic Carbonate Rocks) เป็นหินปูน หรือโดโลไมต์ที่มีการจัดเรียงรูปผลึกใหม่ ที่รู้จักกันดีคือหินอ่อน (Marble) ซึ่งเกิดจากความร้อนและความดันใต้พิภพ

2) แร่แคลไซต์

แร่แคลไซต์ หรือแคลสปาร์ เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นเองในธรรมชาติ ผลึกของแคลไซต์มีหลายชนิดทำให้มีชื่อเรียกต่างกัน เช่น ด๊อกทูธสปาร์ ไอซแลนด์สปาร์ เนลเฮดสปาร์ และซาตินสปาร์

แร่แคลไซต์ปกติจะมีสีขาวหรือไม่มีสี แต่อาจมีสีอื่นได้ เช่น สีเทา แดง เขียว น้ำเงิน เหลือง ถ้ามีสารอื่นปะปน เช่น ไพไรต์ ทองแดง เป็นต้น มีสูตรทางเคมี คือ $CaCO_3$ เช่นเดียวกับหินปูน ส่วนประกอบทางเคมีประกอบด้วย CaO ร้อยละ 56 และ CO_2 ร้อยละ 44 มีความถ่วงจำเพาะ 2.72 แร่แคลไรต์เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดเกลือจะเกิดฟองฟู่

3) หินปูนสังเคราะห์ (Precipitated Calcium Carbonate) [3, 4]

หินปูนสังเคราะห์เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตขึ้นทั้งจากกรรมวิธีการผลิตโดยตรงหรือผลิตภัณฑ์พลอยได้จากผลิตภัณฑ์อื่น แคลเซียมคาร์บอเนตสังเคราะห์มีลักษณะเป็นผงขนาดเล็ก ขนาด 0.01-15 ไมครอน มีชื่อเรียกในภาษาอังกฤษว่า precipitated calcium carbonate (PCC)

2.1.2.2 กระบวนการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนต [5]

กระบวนการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตมี 2 วิธีคือ การนำแคลเซียมคาร์บอเนตจากธรรมชาติมาบดซึ่งเรียกว่า Ground calcium carbonate (GCC) และการนำแคลเซียมคาร์บอเนตจากธรรมชาติมาตกผลึกใหม่ เรียกว่า precipitated calcium carbonate (PCC)

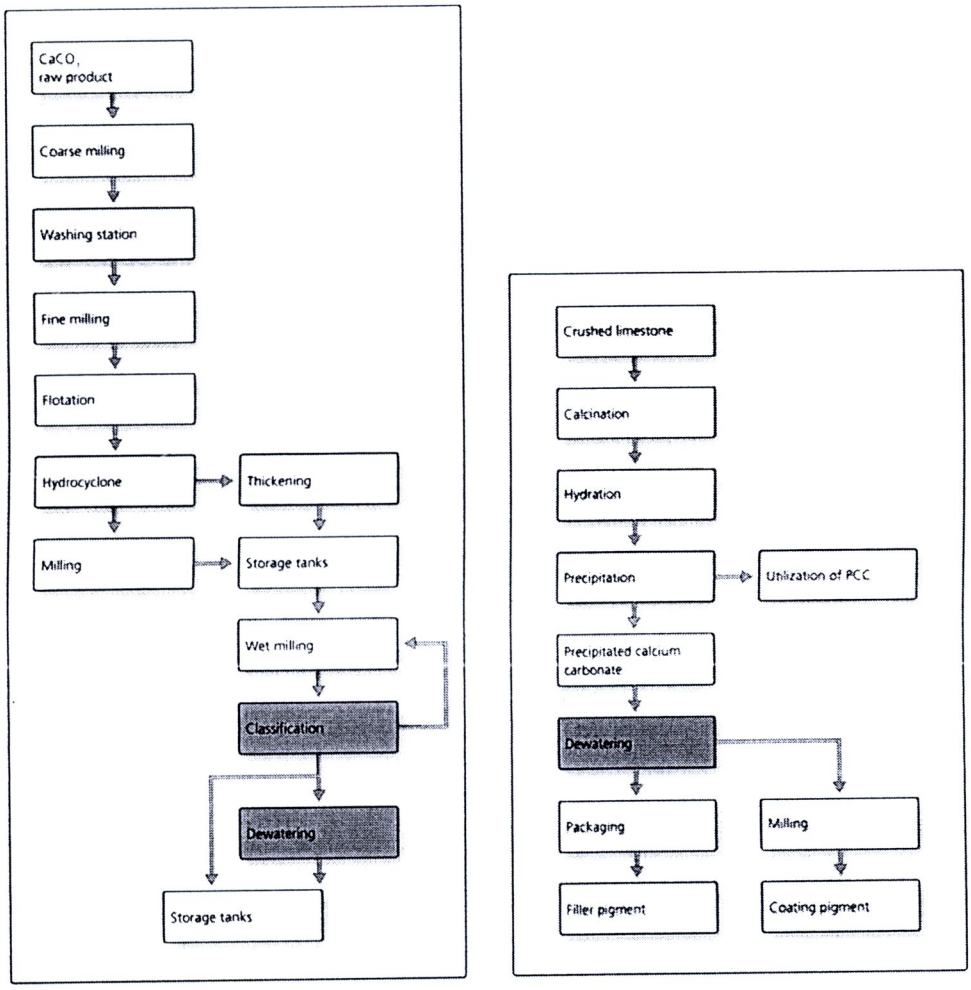
ก. แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดบดจากธรรมชาติ

แคลเซียมคาร์บอเนตบดเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากการบดแคลเซียมคาร์บอเนตจากธรรมชาติ Ground calcium carbonate (GCC) เช่น หินปูนที่มีความขาวบริสุทธิ์สูง หินอ่อนที่เกิดจากหินปูนแปรสภาพด้วยความร้อนและความดันทำให้เกิดการตกผลึกใหม่ หรือชอล์กและแร่แคลไซต์ เป็นต้น กรรมวิธีในการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตมีหลายขั้นตอน การลดขนาดแร่ (Size Reduction) และการคัดขนาด (Classification) ถือเป็นหัวใจสำคัญของการแต่แร่ในการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนต โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ ตามที่ตลาดต้องการ การผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตชนิดบดในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้แร่แคลไซต์ หินปูน หรือหินอ่อน เป็นวัตถุดิบ ซึ่งอาจได้จากการทำเหมืองเองหรือจากการรับซื้อวัตถุดิบ สมบัติของแร่วัตถุดินที่กำหนดไว้ในเบื้องต้น คือต้องมีองค์ประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) มากกว่าร้อยละ 95 และมีความขาวสว่าง (Brightness) มากกว่าร้อยละ 94

ข. แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดตกผลึก

การนำแคลเซียมคาร์บอเนตจากธรรมชาติมาตกผลึกใหม่ เรียกว่า Precipitated Calcium Carbonate (PCC) เป็นผงขนาดเล็กที่เกิดจากการตกผลึก รูปร่างผลึกอาจแตกต่างกันตามวิธีการผลิต แต่ส่วนใหญ่จะเป็นรูปเข็ม ผงแคลเซียมคาร์บอเนตมีสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส เสถียร์ในอากาศ และไม่ละลายน้ำ สมบัติของแคลเซียมคาร์บอเนตชนิดตกผลึก คือ มีความขาวและความบริสุทธิ์สูงกว่าแคลเซียมคาร์บอเนตบด เพราะมีการตกผลึกกำจัดสิ่งเจือปนออกไปแล้ว นอกจากนี้ PCC ยังมีสมบัติด้านกายภาพดีกว่า เนื่องจากโครงสร้างผลึกแข็งแรงกว่า โครงสร้างและรูปผลึกมีขนาดใกล้เคียงกัน รวมทั้งมีน้ำหนักเบากว่าและเข้ากับเส้นใยไม้ที่เป็นวัตถุดิบหลักในการทำกระดาษได้ดีกว่าแคลเซียม

คาร์บอเนตบด เพราะมีการควบคุมอุณหภูมิ และความดันขณะตกผลึก ในประเทศไทย การผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตส่วนใหญ่จะนำแคลเซียมคาร์บอเนตจากธรรมชาติมาบดโดยตรง เนื่องจากมีขั้นตอนการผลิตที่ง่ายและไม่ใช้เทคโนโลยีสูงมาก



ก. ข.

รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนต [6]

ก. Recovery of ground calcium carbonate (GCC)

ข. Production of precipitated calcium carbonate (PCC)

2.1.2.3 รูปแบบแคลเซียมคาร์บอเนต [2]

แคลเซียมคาร์บอเนตชนิด GCC แบ่งออกได้ดังนี้

ก. แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดดรายโพรดักซ์ (Dry Product) เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตชนิดที่ได้จากการบดแคลเซียมคาร์บอเนตจากธรรมชาติโดยตรง มีลักษณะเป็นผงสีขาว ขนาด 1-147 ไมครอน ความขาวสว่างมากกว่าร้อยละ 94 และมีองค์ประกอบทางเคมีของแคลเซียมคาร์บอเนตมากกว่าร้อยละ

98 ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ สี พลาสติก ยาง ผลซักฟอก ยาสีฟัน รวมทั้งใช้ในการผลิตปุ๋ย และอาหารสัตว์

ข. แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดโคทเตดโพรดักซ์ (Coated Product) เป็นการนำแคลเซียมคาร์บอเนตชนิดบดจากธรรมชาติแบบดรายโพรดักซ์ อนุภาคขนาด 1-15 ไมครอน มาเคลือบผิวอนุภาคเพื่อปรับปรุงสมบัติบางประการให้ดีขึ้น เช่น ช่วยให้อนุภาคเปียกได้ง่ายขึ้น ช่วยให้อนุภาคมีการกระจายตัวดีขึ้น ช่วยให้อนุภาคมีการดูดซึมน้ำมันลดลง สารที่นำมาใช้เคลือบผิวมี 3 ชนิด ได้แก่ กรดสเตียริก ขี้ผึ้ง และสารเคมี ผลิตภัณฑ์แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดเคลือบผิว นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมพีวีซี และอุตสาหกรรมยาง

ค. แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดแคลเซียมคาร์บอเนตคอมพาวด์ (Calcium Carbonate Compound) เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผสมอยู่ในรูปของแข็ง ระหว่างอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตบดจากธรรมชาติ (GCC) ขนาดประมาณ 20-24 ไมครอน ร้อยละ 17-80 กับเม็ดพลาสติกร้อยละ 20-25 จะได้ลักษณะรูปร่างเป็นทรงกลม ขนาดประมาณ 2-3 มิลลิเมตร ความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.9-2.0 ใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติกขึ้นรูปต่างๆ เช่น นำไปทำถุงปุ๋ย กระสอบพลาสติก ถึงพลาสติกใส่ของ ฉนวนหุ้มสายไฟ ภาชนะ และท่อ

ง. แคลเซียมคาร์บอเนตในรูปสเลอรีโพรดักซ์ (Slurry Product) หลักจากขั้นตอนการบดละเอียดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์อนุภาคของแร่จะมีขนาด 1-20 ไมครอน และจะเข้าสู่กระบวนการลอยแร่ (Flotation) เพื่อลอยแยกสิ่งเจอปนต่างๆ ออกไป ได้แก่ ซิลิกา และเหล็กออกไซด์ วิธีนี้สามารถสิ่งเจอปนได้ถึงร้อยละ 50 เช่น แร่ก้อนที่เข้าสู่กรรมวิธีการลอยแร่ มีสัดส่วนแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 96 และมีสิ่งเจือปนร้อยละ 4 เมื่อผ่านกรรมวิธีการลอยแร่จะสามารถกำจัดสิ่งเจือปนออกได้ร้อยละ 2 ทำให้สัดส่วนแคลเซียมคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 98 หลังจากนั้นจึงนำไปบดแบบเปียก ซึ่งสามารถบดได้ละเอียดถึง 0.3 ไมครอน และได้ในรูปของสเลอรี เนื่องจากการบดแบบแห้งด้วยบอลมิลล์มีข้อจำกัดคือ สามารถบดอนุภาคได้ขนาดเล็กสุดไม่เกิน 1 ไมครอน ซึ่งถ้าต้องการบดให้ได้ขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน จะใช้พลังงานสูงไม่คุ้มค่าและไม่เหมาะสมต่อการลงทุน แคลเซียมคาร์บอเนตแบบสเลอรีโพรดักซ์นิยมใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษเนื่องจากตอบสนองความต้องการของโรงงานผลิตกระดาษด้านความสะดวกในการใช้งาน กล่าวคือสามารถใช้งานได้ทันที ในขณะที่แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดแห้งอื่น ต้องเพิ่มขั้นตอนการทำให้เป็นสเลอรี ที่โรงงานกระดาษอีกครั้งก่อนนำไปใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษ แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดนี้ มีการใส่สารช่วยกระจายตัวเพื่อป้องกันการตกตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนตในระหว่างการลำเลียงขนส่งแร่ไปยังโรงงานกระดาษ โดยชนิดของสารช่วยกระจายตัวที่ใช้มักเป็นชนิดเดียวกับที่ใช้กระบวนการผลิตกระดาษ

จ. แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดตกตะกอน

แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดตกตะกอน แบบสเลอรีโพรดักซ์เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตบริสุทธิ์ มีลักษณะเป็นผงขนาดเล็ก ประมาณ 0.3-1 ไมครอน ได้จากการนำแคลเซียมคาร์บอเนตชนิดบดจากธรรมชาติมา

ทำการตกผลึกใหม่ เพื่อให้แคลเซียมคาร์บอเนตมีคุณภาพสูง นิยมใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษเป็นส่วนใหญ่ จึงติดตั้งอยู่ในโรงงานกระดาษโดยตรง เรียกว่า Sattlelite Plant อยู่ในรูปสเลอรี นอกจากนี้ไม่ต้องใส่สารเคมีเพื่อป้องกันการตกตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนต เนื่องจากอยู่ในรูปสเลอรีที่มีความเข้มข้น ของแข็งต่ำ ต่างจากสเลอรีของแคลเซียมคาร์บอเนตบด ที่มีความเข้มข้นของของแข็งสูง นอกจากนี้การขนส่งแคลเซียมคาร์บอเนตแบบสเลอรียังทำได้สะดวกเนื่องจาก Sattlelift plant ติดตั้งอยู่ที่โรงงานกระดาษ สามารถต่อท่อส่งเข้ากระบวนการผลิตกระดาษได้โดยตรง ทำให้ลดเวลาในขั้นตอนการขนส่งลำเลียงได้ ทำให้สามารถป้องกันการตกตะกอนได้

จากสมบัติที่ดีของแคลเซียมคาร์บอเนตที่สามารถบดให้เป็นผงละเอียดได้ง่าย มีความเสถียรทางเคมี และไม่เป็นพิษ และสมบัติพิเศษอื่นๆ โดยเฉพาะความขาวสว่างสูง และการดูดซับน้ำมันต่ำทำให้แคลเซียมคาร์บอเนตสามารถนำไปใช้ในวงการอุตสาหกรรมได้อย่างกว้างขวาง เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมยาง และอุตสาหกรรมสี เป็นต้น

2.1.2.4 แคลเซียมคาร์บอเนตในอุตสาหกรรมกระดาษ

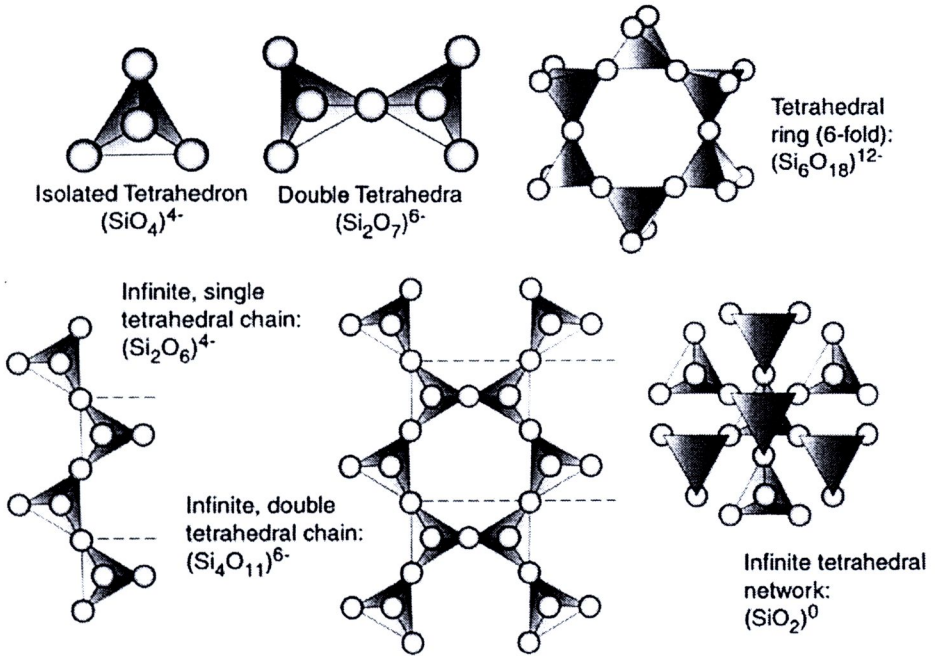
เนื้อกระดาษประกอบด้วยโครงร่างตาข่ายของเส้นในไม้และรูขนาดเล็กจำนวนมาก ส่งผลต่อสมบัติที่สำคัญของกระดาษในด้านความทึบแสงที่เกิดจากการกระจายแสงระหว่างเส้นใยไม้และอากาศที่รูขนาดเล็ก ซึ่งขนาดของรูมักขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของเส้นใยไม้ที่นำมาใช้ผลิตกระดาษ โดยปกติในกระบวนการหรือกรรมวิธีผลิตกระดาษ มักจะได้เส้นใยกระดาษซึ่งมีขนาดของรูในเนื้อกระดาษที่ใหญ่เกินไปทำให้กระดาษไม่ทึบแสง จึงต้องมีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตลงไปเพื่อให้เกิดความเหมาะสมในการนำกระดาษไปใช้งาน ในอุตสาหกรรมกระดาษจะใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นตัวเติม (Functional Filler) ที่มีประโยชน์ในด้านช่วยปรับปรุงสมบัติอื่นด้วย ในขณะที่แร่ตัวเติมอื่นๆ จะใช้เป็นตัวเติมเพื่อเพิ่มปริมาณแต่เพียงอย่างเดียว (Extender Filler) และการเติมอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตลงในเยื่อกระดาษจะเป็นการช่วยทำให้ปริมาณการใช้เยื่อจากไม้ลดลง ซึ่งส่งผลต่อต้นทุนการผลิตกระดาษที่ลดลงด้วย แต่ถ้าใช้ตัวเติมมากเกินไปจะทำให้ความแข็งแรงของกระดาษลดลง อัตราการใช้แร่ตัวเติมที่เหมาะสมคือร้อยละ 18-20 โดยน้ำหนักของเยื่อกระดาษทั้งหมด และขนาดอนุภาคของตัวเติมในกระดาษที่เหมาะสมควรมีขนาดอยู่ระหว่าง 0.3-2.5 ไมครอน แคลเซียมคาร์บอเนตนอกจากจะใช้เป็นตัวเติมในกระดาษแล้ว ยังสามารถนำมาใช้เป็นตัวเคลือบทำให้ผิวกระดาษเรียบได้อีกด้วย ซึ่งจะทำให้กระดาษมีสมบัติด้านการดูดซับน้ำหมึก การพิมพ์พื้นทึบ การพิมพ์ฮาล์ฟโทน และการพิมพ์สี่สีดีขึ้น การใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นตัวเคลือบมักจะนำไปผสมกับอนุภาคอื่นๆ ได้แก่ ไทเทเนียมไดออกไซด์ ดินขาว อนุภาคพลาสติก โดยใช้สารจำพวกโปรตีน หรือแป้งที่ละลายได้ หรือกาวเป็นตัวเชื่อมซึ่งจะทำให้ส่วนผสมของสารเคลือบและกระดาษเข้ากันได้ดี แคลเซียมคาร์บอเนตใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษและเส้นใยกระดาษประเภทต่างๆ เช่นกระดาษพิมพ์

เขียน กระดาษอาร์มัน และกระดาษที่ใช้ในสำนักงาน กระดาษถ่ายเอกสาร และกระดาษโรเนียว กระดาษสื่อสิ่งพิมพ์ทุกชนิด รวมทั้งกระดาษกล่องบรรจุภัณฑ์

2.1.3 ซิลิกาหรือซิลิกอนไดออกไซด์ (Silica, SiO_2) [7]

2.1.3.1 โครงสร้างของซิลิกา

ซิลิกาเป็นสารประกอบที่เกิดจากการรวมตัวระหว่างซิลิกอนและออกซิเจน มีพื้นฐานทางโครงสร้างของซิลิกาและเกลือซิลิเกต ส่วนใหญ่เป็นการจัดเรียงตัวแบบทรงสี่หน้า (Tetrahedral) ของออกซิเจนสี่อะตอมล้อมรอบซิลิกอนซึ่งเป็นอะตอมกลาง โดยโครงสร้างของซิลิกาจะมีลักษณะเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติแบบไม่รู้จบ (Infinite Three Dimentional Network) [7] ดังภาพที่ 2.4



รูปที่ 2.2 รูปแบบต่างๆ ของการเชื่อมต่อของ SiO_4 tetrahedral ในโครงสร้างพื้นฐานของซิลิเกต [7]

2.1.3.2 ลักษณะของซิลิกา

ซิลิกาเป็นผลึกไม่มีสีหรือเป็นของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่นไม่มีรส มีความถ่วงจำเพาะระหว่าง 2.2-2.6 จุดหลอมเหลว 1,710 องศาเซลเซียส (ขึ้นอยู่กับรูปแบบของซิลิกา) ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยมาก ไม่ละลายในกรดยกเว้นกรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric acid) แต่ละลายในด่างได้ ซิลิเกต (Silicate) ดังสมการ

$$SiO_2 + 2NaOH \longrightarrow Na_2SiO_3 + H_2O$$

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 23 ส.ค. 2555
เลขทะเบียน 248057
เลขเรียกหนังสือ

2.1.3.3 รูปแบบซิลิกา [8]

มีรูปแบบได้หลากหลายทั้งที่เป็นผลึก (Crystalline Silica) และซิลิกาอสัณฐาน (Amorphous or Non-Crystalline Silica) สามารถตรวจสอบโครงสร้างได้ด้วยวิธีเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชั่น (X-Ray Diffraction)

ก. ซิลิกาชนิดผลึก เป็นซิลิกาชนิดหนึ่งซึ่งมีได้หลายรูป เช่น ควอทซ์ คริสโตแบไลท์ ไตรไดไมท์ (Tridymite) สามารถตรวจสอบได้จากการใช้เอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชั่น จะเห็นว่าจะเกิดการสะท้อนแบบไม่ต่อเนื่องขึ้นเนื่องจากระนาบภายในซึ่งเป็นลำดับของอะตอม

ข. ซิลิกาชนิดอสัณฐาน เป็นซิลิกาที่สังเคราะห์ได้หลายวิธี เช่นสังเคราะห์จากสภาวะที่เป็นไอ สังเคราะห์โดยการตกตะกอนจากสารละลาย ซิลิกาชนิดอสัณฐานแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบตามชื่อกระบวนการเตรียม เช่น ซิลิกาเจล ซิลิกาชนิดตกตะกอน และฟูมซิลิกา (Silica Fume) เมื่อใช้เครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชั่นตรวจสอบ จะพบว่าเกิดการกระเจิงแสงแบบต่อเนื่อง ซิลิกาอสัณฐานทุกชนิดสามารถเปลี่ยนไปเป็นซิลิกาชนิดผลึก ได้เมื่อใช้ความร้อน และอุณหภูมิที่สูงอย่างเหมาะสม

1. ซิลิกาเจล แบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

- ซิลิกาเจลชนิดความหนาแน่นปกติ (Regular-Density Gel) ซึ่งเตรียมได้โดยการทำให้อยู่ในสภาพที่เป็นกรด จะได้อนุภาคที่มีขนาดเล็กมากและพื้นที่ผิวสูง (750-800 m^2/g) ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.2-2.6 นาโนเมตร และปริมาตรรูพรุนประมาณ 0.37-2.40 ml/g มีน้ำประมาณร้อยละ 6 น้ำจะเกาะอยู่ที่ผิวซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ ดังนั้นจะดูดซับได้มาก

- ซิลิกาเจลชนิดความหนาแน่นปานกลาง มีพื้นที่ผิวต่ำ (300-350 m^2/g) แต่มีปริมาณรูพรุนเท่ากับ 0.9-1.1 ml/g ค่าเฉลี่ยของขนาดรูพรุนประมาณ 12-16 นาโนเมตร ขนาดของอนุภาคใหญ่กว่าซิลิกาเจลชนิดความหนาแน่นปกติ ด้วยเหตุผลที่ซิลิกาชนิดนี้มีขนาดรูพรุนใหญ่ดังนั้นจึงดูดซับน้ำได้ดีที่ความชื้นสูง

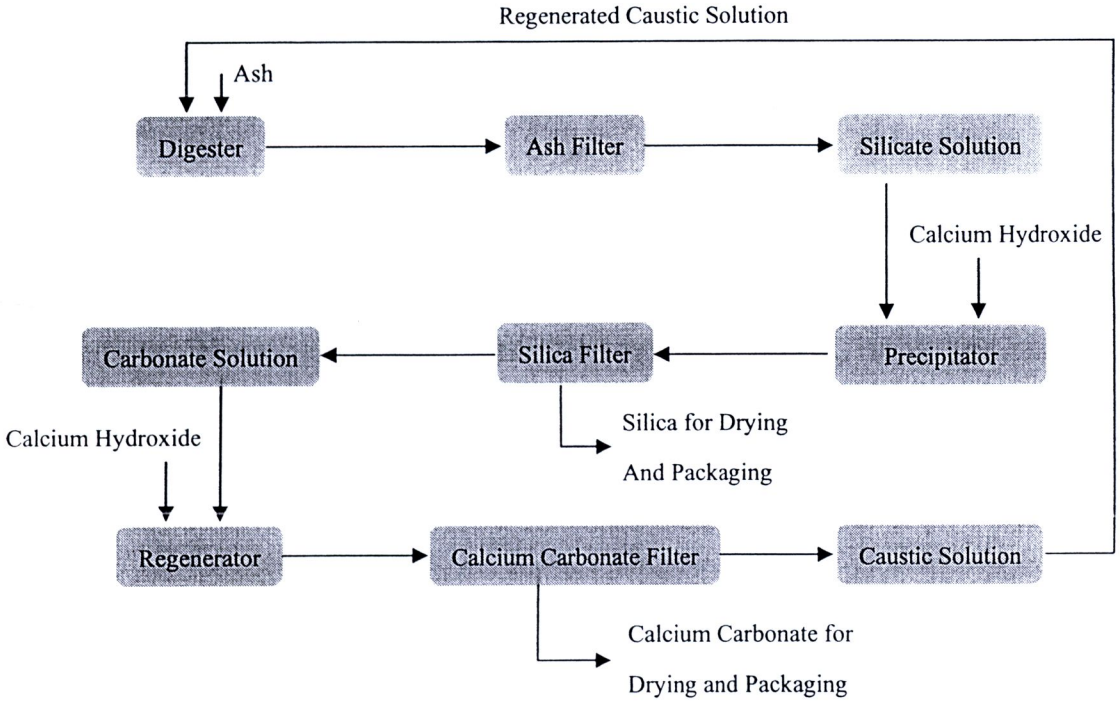
- ซิลิกาเจลชนิดความหนาแน่นต่ำ เช่น aerogel มีพื้นที่ผิวต่ำ 100-200 m^2/g มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนประมาณ 18-22 นาโนเมตร และปริมาตรรูพรุนประมาณ 1.4-2.0 ml/g

2. ฟูมซิลิกาหรือไมโครซิลิกาควบแน่น (Condensed Silica Fume) เป็นวัสดุผสมเพิ่มชนิดหนึ่งซึ่งเป็นผลพลอยได้ของโรงงานผลิตโลหะซิลิกอน และเฟอโรซิลกอนอัลลอยด์ เป็นกระบวนการรีดักชั่นจากควอทซ์ที่บริสุทธิ์ไปเป็นซิลิกอน โดยวิธี Electric Arc ที่อุณหภูมิสูงถึง 2,000 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดไอ (Fume) ของ SiO_2 ซึ่งต่อมาจะออกซิไดซ์ และกลั่นตัวที่อุณหภูมิต่ำๆ ได้เป็นอนุภาคขนาดเล็กมากของซิลิกาที่ไม่เป็นผลึก (Glassy Phase) [9]

องค์ประกอบหลักทางเคมีของฟูมซิลิกาคือ SiO_2 ซึ่งควรจะอยู่ในสภาพที่ไม่เป็นผลึกเป็นส่วนใหญ่ ฟูมซิลิกาที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมักจะมี SiO_2 สูงมากกว่าร้อยละ 90 ขึ้นไป ส่วนที่เหลือจะเป็น

องค์ประกอบของ Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, MgO, Na_2O, K_2O และออกไซด์อื่นๆ ร้อยละ 1 หรือ 2 ซึ่งออกไซด์เหล่านี้ถือว่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับของ SiO_2 ซึ่งสูงกว่าร้อยละ 90 ขึ้นไป

3. ซิลิกาชนิดตกตะกอน (Precipitated Silica) ซิลิกาชนิดตกตะกอนเกิดจากการรวมตัวของซิลิกาขนาดเล็กระดับนาโนเมตร ยังไม่เชื่อมโยงจนเป็นโครงข่ายขนาดใหญ่ระหว่างกระบวนการเตรียม ซิลิกาชนิดตกตะกอนเกิดได้ทั้งในสภาวะที่เป็นไอ (Vapor Phase) และโดยการตกตะกอนจากสารละลาย ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กระบวนการเกิดซิลิกาชนิดตกตะกอน

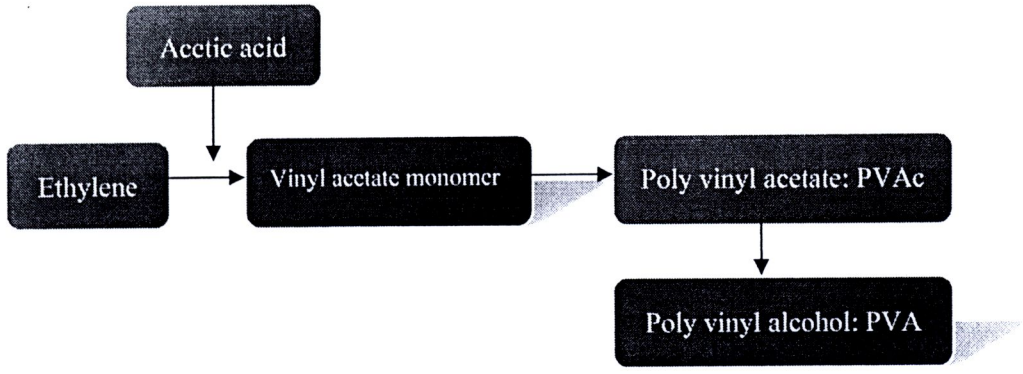
อ้างอิงจาก Precipitated Silica from Rice Husk Indian Institute of Science Bangalore

2.1.4 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVOH) [10]

เป็นเทอร์โมพลาสติกประเภทโพลิโอเลฟีน เป็นผงสีขาวจนถึงสีครีม ผลิตจากโพลิไวนิลอะซิเตท (Poly Vinyl Acetate) ในภาวะกรดหรือเบสมีหลายเกรดตามความหนืดซึ่งขึ้นอยู่กับดีกรีของโพลิเมอไรเซชั่น และร้อยละของแอลกอฮอล์ไลซิสเป็นกลุ่มพอลิเมอร์ที่มีความใส มีขั้วเล็กน้อย สามารถยึดติดได้ดีกับพื้นผิววัสดุทั่วไป และสามารถละลายได้ง่ายในตัวทำละลายหลายชนิด ละลายได้มากขึ้นเมื่อโมเลกุลลดลง แต่ความแข็งแรง ความยืดหยุ่น ความทนต่อการฉีกขาดและโค้งงอ จะดีขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้นละลายในน้ำและเกิดเป็นสารที่มีพันธะคู่ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาต่อไปทำให้เกิดสี

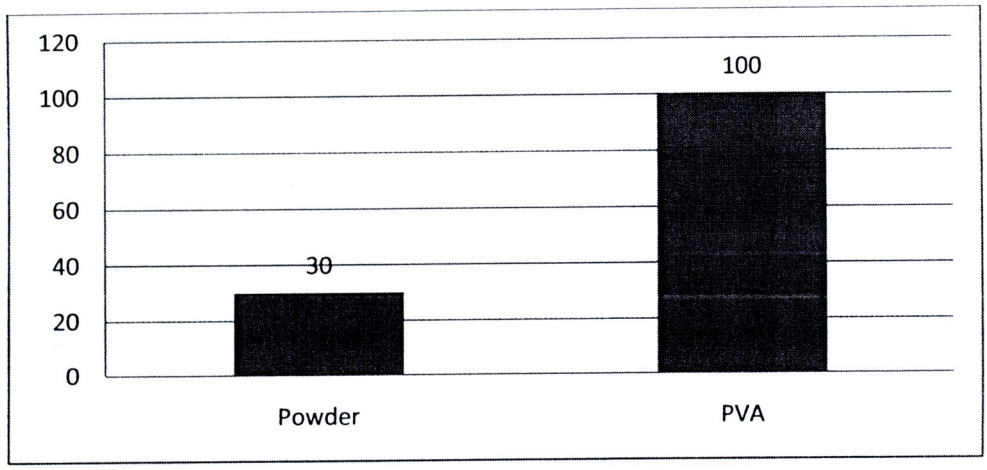
2.1.4.1 สมบัติทางเคมีและกระบวนการผลิต

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีลักษณะเป็นผลึกของของแข็งเม็ดเล็กสีขาว สามารถละลายได้ในน้ำร้อน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผลิตขึ้นโดยพอลิไวนิลอะซิเตทเป็นสารตั้งต้น จากกระบวนการพอลิเมอไรเซชั่นผ่านอนุมูลอิสระของไวนิลอะซิเตท พอลิไวนิลอะซิเตทถูกไฮโดรไลซ์เป็นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผ่านปฏิกิริยา Based-Catalyzed Saponification น้ำหนักโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ถูกควบคุมผ่านลำดับขั้นของกระบวนการพอลิเมอไรเซชั่นและโดยทั่วไป จะผลิตออกมาในช่วงของความหนืดสารละลายร้อยละ 4 ความหนืดสามารถแบ่งได้เป็นระดับความหนืดต่ำมาก, ต่ำ, ปานกลางและสูง สำหรับไวนิลอะซิเตทที่ถูกเปลี่ยนเป็นไวนิลแอลกอฮอล์จะสัมพันธ์กับร้อยละของการไฮโดรไลซิสและถูกควบคุมผ่านปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่น ร้อยละของการไฮโดรไลซิสจะแบ่งออกเป็น Super Hydrolyzed (การเปลี่ยนไวนิลอะซิเตทเป็นไวนิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 93 ขึ้นไป) Fully Hydrolyzed (ร้อยละ 98.0-98.8) Intermediate Hydrolyzed (ร้อยละ 91.0-96.5) และ Partially Hydrolyzed (ร้อยละ 87.0-89.0) สำหรับสารเคลือบอิงก์เจ็ต น้ำหนักโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะควบคุมกำลังในการยึดติดสำหรับสารสี และควบคุมการไหลของสารเคลือบ ร้อยละของการไฮโดรไลซิสก็มีส่วนในการควบคุมการยึดติดและการไหลแต่ส่งผลน้อยกว่าน้ำหนักโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กระบวนการสังเคราะห์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์

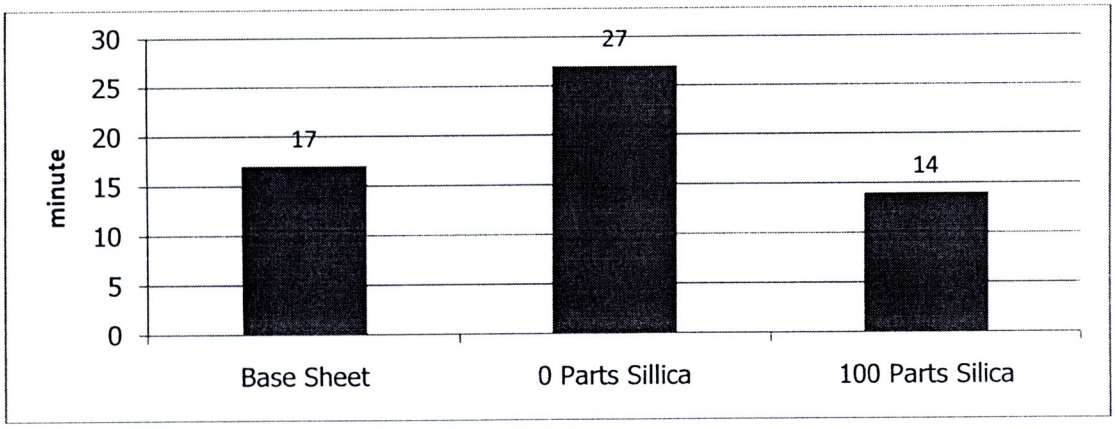
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารยึดติดที่มีกำลังติดสูง ขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุล การใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะลดระดับของการใช้สารยึดติดในสูตรสารเคลือบลงได้โดยไม่เกิดปัญหาฝุ่นผงที่ผิวหน้า ดังภาพที่ 2.5 แสดงสัดส่วนของซิลิกาที่ใส่สูงสุดก่อนจะเกิดปัญหาฝุ่นผงในพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เปรียบเทียบกับแป้ง



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงสัดส่วนของซิลิกาที่ใส่สูงสุดก่อนจะเกิดปัญหาฝุ่นผง

2.1.4.2 ผลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อเวลาของการแห้งตัวสารเคลือบ

การเคลือบผิวโดยใช้เฉพาะพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยปราศจากการเติมซิลิกาเป็นสารสีทำให้เวลาในการแห้งตัวสูงขึ้น ดังภาพที่ 2.6 แสดงการใช้ซิลิกา 100 ส่วนทำให้เวลาในการแห้งตัวของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ลดลงเมื่อเคลือบบนผิวหน้ากระดาษมีน้ำหนักสารเคลือบ 2.0-2.5 g/m^2/ด้าน Base Sheet Hercules Sizing 125 วินาที ดังภาพที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงเวลาในการแห้งตัวของสารเคลือบผิวเมื่อมีซิลิกา 0 และ 100 ส่วน

2.1.4.3 การใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เปรียบเทียบกับลาเท็กซ์

สารเคลือบที่ใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารยึดจะให้คุณภาพงานพิมพ์ที่ดีเนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะดูดซึมหมึกพิมพ์ฐานน้ำเข้าไปในชั้นสารเคลือบได้อย่างรวดเร็ว การดูดซึมหมึกได้อย่างรวดเร็วนี้ทำให้สามารถลดการเกิดเป็นรอยจ้ำของหมึก (Mottle) และการซึมเข้าหากันของหมึก (Bleeding) ซึ่งเป็นปัญหาทางการพิมพ์ลงได้ สูตรของสารเคลือบที่ใช้ลาเท็กซ์เป็นสารยึด และใช้ซิลิกา

เป็นสารสีจะให้งานพิมพ์ที่เกิดปัญหารอยจ้ำของหมึก และค่าความดำต่ำ สิ่งเหล่านี้มีสาเหตุจากสารลดแรงตึงผิวที่ใส่ไปเพื่อสร้างความเสถียรให้กับอนุภาคของลาเท็กซ์ จะไปรบกวนการเปียกผิวของหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ต ทำให้หมึกพิมพ์ไม่สามารถถูกดูดซึมไปยังชั้นสารเคลือบได้อย่างรวดเร็ว

2.1.4.4 ความหนืดและการไหล

ความหนืดของสารเคลือบที่ใช้ซิลิกาเป็นสารสีและใช้พอลิแอลกอฮอล์เป็นสารยึดติดจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของซิลิกาเพียงเล็กน้อย โดยความหนืดจะขึ้นอยู่กับพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และหมู่ซิลิกอนของสารสี ร้อยละของของแข็งสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 25 ถึง ร้อยละ 30 ขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และสัดส่วนของสารสีต่อสารยึดติด พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ชนิดที่มีร้อยละการไฮโดรไลซีสสูง มีแนวโน้มจะให้ความหนืดสูงกว่าเมื่อสัดส่วนของสารสีต่อสารยึดติดเท่ากัน

2.1.4.5 กำลังการยึดติดของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

แม้ว่าการใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ชนิดน้ำหนักโมเลกุลต่ำและเป็น Partially Hydrolyzed จะสามารถใช้เตรียมสารเคลือบที่ร้อยละของแข็งสูงๆ ได้แต่มีความแข็งแรงต่อการยึดติดสารสีซิลิกาต่ำเมื่อเทียบกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง ด้วยเหตุนี้หากใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์น้ำหนักโมเลกุลต่ำจำเป็นต้องเพิ่มสัดส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ให้มากขึ้นเพื่อป้องกันการเกิดฝุ่นของซิลิกาจากผิวหน้าแผ่นกระดาษ

2.1.4.6 เคมีของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอุตสาหกรรม

การผลิตพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เริ่มจากการผลิตพอลิไวนิลอะซิเทตจากไวนิลอะซิเทตด้วยปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชั่น หลังจากนั้นจะถูกไฮโดรไลซ์เป็นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ด้วยปฏิกิริยาสปอนิฟิเคชั่น น้ำหนักของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ถูกควบคุมผ่านขั้นตอนที่มีปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชั่น และโดยทั่วไปจะถูกทำให้อยู่ในรูปร้อยละ 4 ของสารละลายที่มีความหนืด ค่าความหนืดของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะแบ่งเป็น ค่อนข้างต่ำ ต่ำ ปานกลาง และสูง ประกอบกับระดับไฮโดรไลซีสที่แตกต่างกันซึ่งจะถูกควบคุมผ่านปฏิกิริยาสปอนิฟิเคชั่น และแสดงออกมาเป็นร้อยละ น้ำหนักโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะเป็นตัวควบคุมความสามารถในการยึดสารสีเข้าด้วยกัน และยังเป็นตัวกำหนดสภาพการไหลของสารเคลือบ ส่วนเปอร์เซ็นต์ของไฮโดรไลซีสเป็นตัวควบคุมความสามารถในการยึด และสภาพในการไหลด้วยแต่มีผลน้อยกว่าน้ำหนักโมเลกุล พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่มีขายจะแบ่งเกรดตามร้อยละการไฮโดรไลซีสที่ใช้สำหรับการนำไปใช้กับผิวหน้ากระดาษที่ใช้ซิลิกาเป็นสารสีจะมีร้อยละไฮโดรไลซีสที่ร้อยละ 98.0 ถึง 98.8 และมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และปานกลางตามลำดับ ซึ่งจะมีความแข็งแรงในการยึดสารสีซิลิกา และยังให้สีและความดำดีเมื่อเปรียบเทียบกับสารเคลือบผิวหน้า

กระดาษพวกแป้งอีกด้วย เวลาที่ใช้ในการแห้งตัวเวลาในการแห้งตัวจะลดลงเมื่อเติมซิลิกาเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่มีปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์คงที่

2.1.5 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) [11]

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นสารในกลุ่มเซลลูโลสอีเทอร์ ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสที่จัดว่าเป็นพอลิเมอร์ละลายน้ำได้ มีการผลิตขึ้นโดยใช้เซลลูโลสเป็นสารตั้งต้น และจำแนกไปตามชนิดของการแทนที่ค่า Degree of subsititution (D.S) โครงสร้างทางกายภาพ ความหนืด และพฤติกรรมการละลาย เซลลูโลสอีเทอร์ที่มีการผลิตและจัดจำหน่ายอยู่ทั่วไปมีหลายชนิดที่สำคัญมากตัวหนึ่งคือ ซีเอ็มซี [12] โดยขั้นตอนการผลิตจะถูกแบ่งออกเป็น 2 เกรด คือ เกรดบริสุทธิ์กับเกรดทางเทคนิค ซีเอ็มซีสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้จาการทำปฏิกิริยาระหว่างเยื่อเซลลูโลสที่มีอัลฟาเซลลูโลสอยู่ในปริมาณสูงกับ Etherifying Agent ในภาวะที่มีด่าง

2.1.5.1 สมบัติของซีเอ็มซี

1. การละลาย

ซีเอ็มซีสามารถละลายได้ทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์แต่จะละลายในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับตัวทำละลายอินทรีย์ที่เข้ากับน้ำได้ เช่น เอทานอลอะซีโตน ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถของซีเอ็มซี ได้แก่

ก. ขนาดของอนุภาค ถ้าอนุภาคมีขนาดใหญ่จะทำให้ละลายได้ช้า การกระจายตัวในน้ำจะมีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ อนุภาคที่มีขนาดเล็กหรือมีความละเอียดมากขึ้นจะช่วยประหยัดเวลาในการเตรียมสารละลาย

ข. โครงสร้างทางเคมี ถ้ามีค่า D.S สูงจะสามารถละลายได้เร็วและถ้าน้ำหนักโมเลกุลต่ำ อัตราการละลายจะเร็วกว่า

2. ความหนืด

สารละลายซีเอ็มซีมีลักษณะใสและหนืด โดยมีพฤติกรรมการไหลเป็นแบบนอน-นิวโตเนียน คือค่าความหนืดจะเปลี่ยนไปเมื่อเปลี่ยนอัตราเฉือน (Shear rate) ซึ่งค่าความหนืดของสารละลายที่วัดได้นั้นจะขึ้นอยู่กับอิทธิพลปัจจัยต่อไปนี้

ก. ค่า D.P. (Degree of polymerization) ของเซลลูโลส โดยปกติมีค่าประมาณ 5,000 ยิ่งเซลลูโลสมีค่า D.P. สูง ความหนืดของซีเอ็มซีจะยิ่งสูง

ข. ความเข้มข้น เมื่อสารละลายมีความเข้มข้นมากขึ้นค่าความหนืดจะสูงขึ้น

ค. อุณหภูมิ ที่อุณหภูมิสูงขึ้น ความหนืดของสารละลายจะมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้การเพิ่มหรือลดอุณหภูมิจะไม่มีผลอย่งถาวรต่อลักษณะของสารละลาย แต่การให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงแก่สารลลายเป็นเวลานานอาจทำลายโครงสร้างของซีเอ็มซี

ง. ความเป็นกรด-เบส สารละลายซีเอ็มซีจะมีเสถียรภาพและมีความหนืดสูงที่สุดที่ pH ระหว่าง 7-9 ถ้า pH ต่ำกว่า 4 ซีเอ็มซีที่อยู่ในรูปของกรดอิสระซึ่งละลายน้ำได้น้อยจะมีมากขึ้นและทำให้ค่าความหนืดสูงขึ้น แต่ที่ pH มากกว่า 10 พบว่าค่าความหนืดจะลดลงเล็กน้อย

จ. การใช้ตัวทำละลายผสม เมื่อใช้ตัวทำละลายผสม เช่น กลีเซอรอล-น้ำ สำหรับการเตรียมสารละลายซีเอ็มวีที่มีค่า D.S. สูงพบว่าความหนืดของตัวทำละลายจะมีผลต่อความหนืดของสารละลายด้วย เช่น สารละลายซีเอ็มซีที่ใช้ตัวทำละลายผสมกรีเซอรอล-น้ำ ในอัตราส่วน 60:40 จะมีความหนืดเป็น 10 เท่าของสารละลายซีเอ็มซีในน้ำ

3. เสถียรภาพ (Stability)

แม้ว่าสารละลายซีเอ็มซีจะมีเสถียรภาพดีว่ากาวชนิดอื่นๆ ที่ละลายน้ำได้ แต่สมบัติโดยเฉพาะอย่างยิ่งความหนืดก็อาจถูกทำลายได้ เนื่องจากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ เซลลูเลสจากจุลินทรีย์ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-เบส ออกซิเจนเป็นต้น

4. ความสามารถในการเกิดฟิล์ม

ซีเอ็มซีสามารถเกิดเป็นฟิล์มแข็งแรง ละมีความทนทานต่อน้ำมัน โดยฟิล์มซีเอ็มซีจะไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำมัน ไขมัน และตัวทำละลายอินทรีย์

5. ความปลอดภัยต่อสิ่งมีชีวิต

จากการศึกษาทางด้านพิษวิทยา ไม่พบว่าซีเอ็มซีเป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์ และสัตว์ รวมทั้งมีผลกระทบต่อระบบนิเวศน้อยที่สุด

ตัวอย่างคุณลักษณะของซีเอ็มซี ที่มีการผลิตขึ้นเพื่อจำหน่ายสู่อุตสาหกรรมได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะของซีเอ็มซี สำหรับการประยุกต์ในงานต่างๆ

Character Type	ร้อยละความบริสุทธิ์	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	10-3,00	6-8	8
F	99.5	0.45-1.40	10-4,500	6-8	8
P	99.5	0.45-1.40	10-4,500	6-8	8

หมายเหตุ D สำหรับอุตสาหกรรมซักรีด สารซักฟอก

W สำหรับอุตสาหกรรมการขุดเจาะน้ำมัน

T สำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ สี เซรามิก กาว

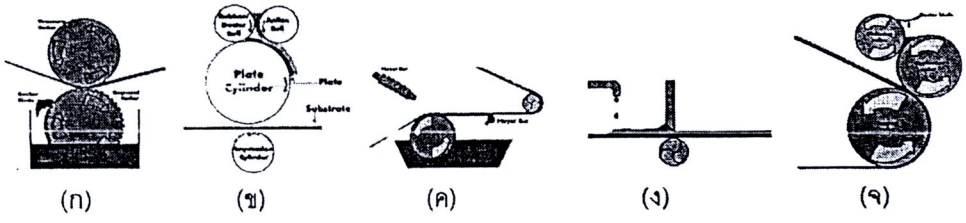
F สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม ไอศกรีมและผลิตภัณฑ์นม

P สำหรับอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง

2.1.6 วิธีการเคลือบผิวกระดาษ [12]

เทคนิคการเคลือบ สามารถทำได้หลายแบบ เช่น เคลือบสารยึดติด (adhesive) สารเคลือบ (coating) และหมึกพิมพ์ แต่ละวิธีจะขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้

- ความหนืดและค่ากระแสวิทยา (Viscosity/Rheology)
- ความหนาของชั้นฟิล์ม (Thinkness)
- รูปร่างของฐานที่ใช้เคลือบ (Shape of Substrate)
- ความสามารถในการนำไปใช้ได้หลากหลาย (Versatility of use)
- วิธีการเคลือบที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ดังรูปที่ 2.7 ได้แก่



รูปที่ 2.7 วิธีการเคลือบ (ก) กราวัวร์ (ข) เฟล็กโซกราฟี (ค) แท่งขดลวด (ง) ใบมีดเหนือลูกกลิ้ง (จ) ลูกกลิ้งแบบย้อนกลับ [15]

2.1.6.1 การเคลือบแบบกราวัวร์ (Gravure)

วิธีการเคลือบด้วยเครื่องกราวัวร์ใช้กับสารเคลือบที่หนาไม่เกิน 0.2 nm และใช้ได้ทั้งโรงงานหมึกพิมพ์ที่ให้ความแม่นยำ ประโยชน์หลักของการเคลือบด้วยกราวัวร์คือสามารถเพิ่มน้ำหนักสารเคลือบได้ขึ้นกับแรงดึงของกระดาษม้วนและความเร็วของม้วนกระดาษ

2.1.6.2 การเคลือบแบบเฟล็กโซกราฟี (Flexography)

การเคลือบด้วยเครื่องเฟล็กโซกราฟีคล้ายกับการเคลือบกราวัวร์ แต่ใช้กับเพลทยาง ความหนืดของน้ำยาเคลือบที่ใช้อยู่ระหว่าง 35-200 cps

2.1.6.3 แท่งขดลวด (Bar Coater)

เป็นการใช้ขดลวดในการเคลือบที่ให้ความหนาของสารเคลือบ 0.2-0.8 nm ใช้กับสารยึดติดหรือสารเคลือบที่มีความหนืด 200-100 cps เป็นรูปแบบทำง่ายจึงเป็นที่นิยม

2.1.6.4 ใบมีดเหนือลูกกลิ้ง (Doctor Blade)

เป็นการใช้ใบมีดวางอยู่เหนือโม ซึ่งใช้กับสารยิที่มีความหนืดสูงหรือสารเคลือบที่มีน้ำหนักสารเคลือบสูง ใช้กับความหนืดประมาณ 10,000-100,000 cps และใช้กับสารเคลือบที่หนาประมาณ 0.5-2.0 nm

2.1.6.5 การเคลือบแบบลูกกลิ้งย้อนกลับ (Inverse Roller)

เป็นการใช้กับงานที่ต้องการคุณภาพสูง รูปลอก หรืองานกราฟิก น้ำหนักสารเคลือบสามารถควบคุมได้ด้วยความเร็วของโมสัมพันธ์กับความเร็วของโมด้านหลัง ถ้าความเร็วสูงขึ้นน้ำหนักสารเคลือบจะเพิ่มมากขึ้น ความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักสารเคลือบประมาณ 0.0001 นิ้ว สามารถใช้กับความหนืดที่สูงมากกว่า 10,000-20,000 cps

2.1.7 สมบัติทางกายภาพของกระดาษเคลือบผิว

2.1.7.1 ความขาวสว่าง (Brightness)

สารสีที่อยู่ในสารเคลือบมีผลต่อความขาวสว่างเพราะอนุภาคสารสีส่งผลให้เกิดการกระเจิงของแสง การกระเจิงแสงที่เกิดขึ้นนี้ เป็นผลที่เกิดจากการสะท้อนและการหักเหของแสงที่ตกกระทบสารเคลือบเส้นใยเซลลูโลก และสารเติมแต่ง ความขาวสว่างของกระดาษวัดได้จากค่าการสุท้อนแสงโดยรวมที่ตกลงบนกระดาษ ในอุตสาหกรรมกระดาษจะวัดความขาวสว่างที่มุมแสงตกกระทบ 45 องศา และมุมรับแสงสะท้อนที่ 0 องศา ทำมุมกับเส้นตั้งฉาก และค่าความขาวสว่างคือค่าการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น 457 นาโนเมตร ตามมาตรฐาน Tappi (T452 : Tappi Brightness) [13]

2.1.7.2 ความขาว (Whiteness)

ความขาวแตกต่างจากความขาวสว่าง ค่าความขาวคือค่าการสะท้อนแสงทั้งหมดตลอดช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็น (400-700 นาโนเมตร) การใช้ค่าความขาวเพียงค่าเดียว เช่นดัชนีความขาว ในการเปรียบเทียบความขาวของวัตถุ มีความสะดวกกว่าการใช้ค่าการสะท้อนแสงตลอด 400-700 นาโนเมตร แต่วัตถุที่นำมาเปรียบเทียบโดยใช้ค่าดัชนีความขาวนั้นควรมีความมันวาว ลักษณะของผิวหน้าและสมบัติทางกายภาพอื่นที่ใกล้เคียงกัน และมีสีใกล้เคียงกับค่าความขาวเพราะการนำวัตถุที่มีสีอื่นมาแทนค่าดัชนีความขาวนั้นจะไม่มีความหมายใดๆ ดัชนีความขาวที่ใช้กับกระดาษได้แก่ ดัชนีความขาว

ที่กำหนดโดย ASTM (E313-73) ที่ใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิด C มูมผู้สังเกตมาตรฐานที่ 2 องศา ซึ่งแสดงได้ดังสมาการ ดังนี้

$$WI\ E.313 = 4Z - 3Y$$

โดยที่ Z และ Y คือ ค่าไตรสติมูลัส (C/20 มี $X_n = 0.3101$ และ $Y_n = 031612$)

2.1.7.3 ความเรียบ (smoothness)

สมบัติทางกายภาพอื่นที่มีผลต่องานพิมพ์ก็คือความเรียบของผิวหน้ากระดาษ ซึ่งเป็นลักษณะที่สัมพันธ์กับความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ กระดาษที่มีความเรียบมากจะส่งผลให้งานพิมพ์มีความละเอียดสูง กระดาษชนิดมันวาวสูงจะมีความเรียบสูง แต่กระดาษที่มีความเรียบสูงไม่จำเป็นต้องมีความมันวาวสูง

2.1.8 ผลของสารเคลือบต่อสมบัติของกระดาษเคลือบผิว

สมบัติเชิงแสงของกระดาษที่เคลือบผิวด้วยสารสี ขึ้นกับสารเคลือบโดยตรง ซึ่งสารเคลือบที่มสารสีเป็นส่วนประกอบนี้จะช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงแสง เช่น ความขาวสว่างและความทึบแสง ช่วยในกระบวนการสุดท้ายในการปรับแต่งกระดาษเคลือบผิว และสภาพพิมพ์ได้ ขณะที่การเคลือบเงาช่วยปรับปรุงค่าความมันวาวและความเรียบ และสภาพพิมพ์ได้เกี่ยวข้องกับการต้านทานการถอนผิว ความสามารถในการรับหมึก และการอุ้มหมึก ส่วนความสามารถในการหยุ่นตัวของกระดาษและความพรุนของอนุภาคสารสี ขึ้นกับวัตถุดิบที่เตรียมได้มากกว่าสมบัติของสารเคลือบ [13]

2.1.8.1 สมบัติเชิงแสงของกระดาษเคลือบผิว

ความขาวสว่างและความทึบแสง ขึ้นกับสมบัติของสารสีและสารยึดรวมถึงสภาวะในการเตรียมสารเคลือบ สมบัติของสารสีที่มีผลต่อสมบัติเชิงแสง ได้แก่ ความขาวสว่าง ดรรชนีหักเห รูปร่างของอนุภาคและการกระจายตัวของขนาดอนุภาค ความถ่วงจำเพาะและการทำปฏิกิริยาที่พื้นผิวของสารสี

ความทึบแสงสัมพันธ์กับขนาดของอนุภาค รูปร่าง และค่าดรรชนีหักเหที่แตกต่างกันระหว่างสารสีและสารยึดที่สารสีกระจายตัวอยู่ สารสีที่มีค่าดรรชนีหักเหสูงกว่าสารยึดมากจะให้ค่าความทึบแสงสูง

รูปร่างอนุภาค ขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของอนุภาคของสารสี มีอิทธิพลต่อการจัดเรียงตัวของอนุภาค และต่อความเข้มข้นโดยปริมาณของสารสีในชั้นสารเคลือบผิว การจัดเรียงตัวของสารสีกับปริมาตรและขนาดของช่องว่างระหว่างอนุภาคเป็นปัจจัยกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงแสง (Scattering Coefficient) และความทึบแสงของสารสี การจัดเรียงตัวและช่องว่างของอนุภาคที่

เหมาะสมนั้นเกิดขึ้นได้ยาก การกระจายตัวของสารสีที่เหมาะสมทำได้โดยการใช้สารยึดให้น้อยลง ใช้ปริมาณของแข็งสูงและให้มีการเคลื่อนที่ของสารเคลือบอย่างช้าๆ สิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการจัดเรียงตัวของอนุภาคในชั้นสารเคลือบ การทำปฏิกิริยาที่ผิวสารสีเป็นตัวกำหนดความแข็งแรงและความหนาของ Double Layer รอบอนุภาคสารสี และมีผลต่อช่องว่างระหว่างอนุภาค โดยสารเคลือบที่มีช่องว่างระหว่างอนุภาคสารสีใหญ่ จะให้ความทึบแสงและสภาพพิมพ์ได้ดี การใช้สารสีหลายชนิดร่วมกันทำให้เกิดการปรรับการกระจายตัวของขนาดอนุภาค เช่นเดียวกับสมบัติทางเคมีและรูปร่างของอนุภาค

2.1.8.2 สภาพพิมพ์ได้ของกระดาษเคลือบผิว

สารสีในสารเคลือบเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมสภาพพิมพ์ได้ สารสีต้องเปียกผิวโดยหมึกพิมพ์ได้ง่าย และชั้นของสารสีต้องมีรูพรุนเพียงพอในการดูดซึมหมึกพิมพ์ได้รวดเร็ว การเซ็ตตัวของหมึกพิมพ์อย่างรวดเร็วนั้นชั้นของสารเคลือบต้องไม่ดูดซึมหมึกมากเกินไป เพราะจะทำให้ความมันวาวของชั้นหมึกพิมพ์ลดลง แก้ไขโดยการใช้ปริมาณหมึกพิมพ์ให้มากขึ้น แต่อาจเกิดการทะลุหลังของหมึกพิมพ์ไปอีกด้านของกระดาษได้ ปัญหานี้แก้ได้โดยใช้สารสีที่เป็นดินขาว เพิ่มความสามารถในการรับหมึก ทำได้โดยการใส่แคลเซียมคาร์บอเนตหรือไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไปในสารเคลือบ ทำให้เกิดโครงสร้างรูพรุนมากขึ้น การเลือกสารสีและสารยึดที่เหมาะสมก็จะสามารถผลิตสารเคลือบที่เหมาะสมกับการพิมพ์ทุกระบบได้

2.2 กระดาษ (Paper) [15]

2.2.1 กระดาษหนังสือพิมพ์ (Newsprint)

กระดาษหนังสือพิมพ์เป็นกระดาษทำมาจากเยื่อไม้บด (Mechanical pulp) มากกว่า 70% มีทั้งเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาวผสมกัน ขึ้นอยู่กับกระบวนการบดเยื่อ (Grinding process) กระดาษหนังสือพิมพ์จะผลิตให้มีน้ำหนักมาตรฐาน 48.8 g/m^2, 45 g/m^2, 40 g/m^2 [15]

2.2.1.1 สมบัติขั้นพื้นฐานของกระดาษหนังสือพิมพ์ ตามมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม

ก. ลักษณะทั่วไป

- กระดาษหนังสือพิมพ์ทุกแบบต้องมีผิวเรียบ ปราศจากรอยทิ่มแทงหรือฉีกขาด
- กระดาษหนังสือพิมพ์แบบม้วน ม้วนต้องเรียบและแน่นเสมอกันตลอดม้วน ที่ปากแกนทั้งสองข้างต้องมีจุกอุด หรือวิธีอื่นที่ป้องกันไม่ให้บุบเบี้ยวหรือเสียรูป ในกรณีที่มีรอยต่อ จำนวนรอยต่อ

ต้องไม่มากกว่า 3 แห่ง รอยต่อแต่ละแห่งต้องประกบกันสนิท และแข็งแรงและมีเครื่องหมายแสดงรอยต่อแต่ละแห่งให้เห็นเด่นชัดที่ข้างม้วน

- กระดาษหนังสือพิมพ์แบบแผ่น ริมแต่ละด้านต้องเรียบและได้ฉากกัน

ข. ลักษณะอื่นๆ ที่ต้องการดังแสดงในตารางที่ 2.2 [16]

ตารางที่ 2.2 แสดงลักษณะอื่นๆ ของมาตรฐานอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษหนังสือพิมพ์ในประเทศไทย

รายการที่	คุณลักษณะ	หน่วย	เกณฑ์ที่กำหนด					วิธีทดสอบตาม
			น้ำหนักมาตรฐาน g/m^2					
			40	45	48.8	51.8	55.3	
1	น้ำหนักมาตรฐาน คลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน	%	±5	±5	±5	±5	±5	ISO 536
2	ปริมาณความชื้น	%	8 ถึง 10	8 ถึง 10	8 ถึง 10	8 ถึง 10	8 ถึง 10	ISO 287
3	ความทึบแสง ไม่น้อยกว่า	%	90	93	94	95	95.5	ISO 2471
4	ความหนา ไม่น้อยกว่า	µm	56	60	64	66	68	ISO 534*
5	ความต้านทางแรงดึงแนวขนานเครื่อง กิโลนิวตันต่อเมตร ไม่น้อยกว่า	kN/m	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	ISO 1924-2

*หมายเหตุ *ให้ใช้วิธีทดสอบความหนาของกระดาษเป็น bulk ตามที่กำหนดใน ISO 534*

2.2.1.2 องค์ประกอบของกระดาษหนังสือพิมพ์

กระดาษหนังสือพิมพ์เป็นกระดาษที่มีส่วนผสมโดยส่วนใหญ่เป็นเยื่อเชิงกล และหรือผสมด้วยเศษกระดาษหนังสือพิมพ์ นอกจากนี้ยังใช้กระดาษเชิงเคมีเป็นส่วนน้อยในการผสมลงไป

ก. สมบัติพื้นฐานของกระดาษหนังสือพิมพ์

- น้ำหนักมาตรฐาน

น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษหมายถึง น้ำหนักของกระดาษ (ที่วัดในสภาวะที่มีการควบคุม) ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของกระดาษ น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษสามารถเขียนได้ว่า grammage หรือ basis weight หรือ basic weight โดยทั่วไปการเรียกน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษมีความจำเป็นการเรียกที่หมายถึงน้ำหนักกระดาษที่มีต่อพื้นที่กระดาษ 1 ตารางเมตร น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษหนังสือพิมพ์ที่ผลิตในยุโรปจะใช้มาตรฐานน้ำหนัก 48.8 g/m^2 48.8 g/m^2 และ 40 g/m^2

สำหรับผู้ใช้งานกระดาษหนังสือพิมพ์ที่ต้องการใช้งานกระดาษที่มีน้ำหนักระหว่าง 40 ถึง 45 g/m^2 จะเลือกใช้กระดาษ 42.5 g/m^2 และหากผู้ใช้งานต้องการหนังสือพิมพ์ที่มีน้ำหนักมากกว่า 48.8 g/m^2 จะเลือกใช้กระดาษที่มีน้ำหนัก 52 g/mv

- ปริมาณความชื้นในกระดาษ (Moisture content)

ปริมาณความชื้นในกระดาษหนังสือพิมพ์ เป็นอีกสิ่งหนึ่งนอกจากจะมีผลกระทบทั้งต่อเครื่องจักรในกระบวนการผลิตแล้วยังมีผลกระทบต่อสมบัติอื่นๆ ของกระดาษด้วย ในกระบวนการผลิตกระดาษหนังสือพิมพ์ ปริมาณความชื้นหลังขั้นตอนการทำแห้ง (Drying) ควรมีอัตราความชื้นอยู่ในกระดาษร้อยละ 5 และ 10 โดยปัจจัยที่ทำให้ค่าความชื้นคงเหลือในกระดาษมีปริมาณแตกต่างกันนี้ จะขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุที่ใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตกระดาษ นอกจากนั้นอยังขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการผลิตของแต่ละโรงงานด้วย

ในกระบวนการพิมพ์ปริมาณความชื้นในกระดาษสูงจะส่งผลต่อความสามารถในการพิมพ์ (Printability) ของกระดาษ ในกรณีที่มีปริมาณความชื้น 5 หรือ 7% เสี่ยงต่อการเกิดปัญหาการฉีกหรือการแตกของม้วนกระดาษ ทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตในกระดาษ ซึ่งยากต่อความควบคุมม้วนกระดาษและยังเป็นสาเหตุให้เกิดขุยกระดาษบนแม่พิมพ์หรือในผ้ายาง มีผลให้คุณภาพของงานพิมพ์ด้อยลง หากปริมาณความชื้นของกระดาษไม่สมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจะส่งผลต่อสภาพเดินกระดาษคล่อง (Runability) ในเครื่องพิมพ์ และทำให้เกิดปัญหาการพิมพ์เหลื่อมซึ่งเป็นปัญหาของการพิมพ์ด้วยระบบออฟเซตแบบป้อนม้วน

การที่เส้นใยเซลลูโลสจะดูดหรือคายความชื้นนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในกระดาษ (Moisture content) ว่ามีมากหรือน้อยกว่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ถ้าในอากาศมีปริมาณความชื้นมากกว่าความชื้นในกระดาษแล้ว เส้นใยเซลลูโลสจะดูดความชื้นจากกระดาษ แต่ในทางกลับกัน ถ้าในอากาศมีปริมาณความชื้นน้อยกว่าความชื้นที่มีในกระดาษ เส้นใยเซลลูโลสก็จะความความชื้นให้แก่อากาศ เมื่อเส้นใยเซลลูโลสดูดและคายความชื้นก็จะเกิดการขยายและหดตัวตามลำดับ จึงทำให้กระดาษในแนวขวางเครื่องมีการคงสภาพเชิงมิติน้อยกว่ากระดาษในแนวขวางเครื่อง ปริมาณความชื้นของกระดาษหนังสือพิมพ์ระหว่างผู้ขายความมีไม่น้อยกว่าร้อยละ 8 แต่สำหรับกระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีการใส่สารประเภทตัวเติมในปริมาณสูง ควรมีปริมาณความชื้นในกระดาษร้อยละ 7

- ปริมาณเถ้า (Ash Content)

เป็นปริมาณแร่ธาตุต่างๆ ที่มีในกระดาษ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้สารเคมีหรือสารเติมต่างต่างๆ ในกระบวนการผลิตกระดาษ สารเคมีเหล่านี้จะคงตกค้างในแผ่นกระดาษหลังการผลิตแล้ว แร่ธาตุจากสารเคมีต่างๆ นี้สามารถหาปริมาณได้ด้วยการเผาตัวอย่างกระดาษที่ต้องการทดสอบในระดับอุณหภูมิ

หนึ่งและชั่งปริมาณหลังการเผาเพื่อหาปริมาณเถ้าที่ได้ [15] ปริมาณเถ้าของกระดาษจะบอกถึงปริมาณฟิลเลอร์ที่ใส่ลงในกระดาษได้ว่ามีติดค้างในกระดาษเป็นร้อยละเท่าใด (บ.แอ็ดวานซ์ อะโกร, 2537)

ปริมาณเถ้าในกระดาษควรอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าร้อยละ 2 ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่ไม่มากนักในการเติมสารเคมีลงในกระดาษในกระบวนการผลิต สำหรับกระบวนการผลิตกระดาษหนังสือพิมพ์จะมีปริมาณเถ้าที่สูงมาก ซึ่งอาจสูงถึงร้อยละ 10 [15]

2.2.1.3 ลักษณะทางโครงสร้างของกระดาษ

ลักษณะทางโครงสร้างของกระดาษได้แก่ ความหนา (Sheet thickness) ความหนาแน่น (Sheet density) ความเรียบผิวหน้า (Surface roughness, smoothness) ความยืดหยุ่น (Compressibility) ความแข็ง (Hardness) ความพรุน (Porosity, air permeadility) ความสามารถในการดูดซึมน้ำ (Water absorption) ความสามารถในการดูดซึมน้ำมัน (Oil absorption)

ก. ความหนา (Sheet thickness) และความหนาแน่น (Sheet density)

การกำหนดความหนาของกระดาษนั้นขึ้นอยู่กับระดับแรงกดที่เกิดขึ้นในเครื่องจักรระหว่างการผลิต โดยเฉพาะในระหว่างที่แผ่นกระดาษถูกส่งเพื่อทำการขัดผิวกระดาษ ซึ่งกระดาษจะถูกแรงกดในเครื่องจักรกดให้กระดาษทั้งม้วนมีความหนาเท่ากันตลอดผิวหน้าที่สัมผัสกับโมกดกระดาษ ในระหว่างการกดนี้จะส่งผลให้กระดาษมีความหนาลดลง แต่ในทางตรงข้ามกันความหนาแน่น เนื่องจากสภาวะในการผลิตกระดาษของแต่ละโรงงานที่มีสภาวะต่างกันทำให้ได้รับผลของการผลิตกระดาษในความหนาที่ต่างกันออกไปด้วย การกำหนดความหนาของกระดาษจึงไม่มีการกำหนดให้ชัดเจนว่าควรมีระดับความหนามากน้อยเพียงใด เพียงในกระบวนการผลิตต้องสามารถผลิตกระดาษให้มีความหนาสม่ำเสมอเท่ากันทั่วทั้งแผ่น [15]

ข. ความเรียบ / ความหยาบผิวหน้ากระดาษ (Surface roughness, smoothness)

ความหยาบ-ความเรียบผิวกระดาษเป็นอีกหนึ่งสมบัติของกระดาษหนังสือพิมพ์ซึ่งสามารถให้ความสามารถในสภาพการพิมพ์ได้ (Printability) กระดาษที่มีความเรียบมากกว่าจะให้ความสม่ำเสมอของคุณภาพทางการพิมพ์ได้ดีกว่ากระดาษที่ผิวหยาบ นอกจากนี้กระดาษที่มีความเรียบสูงจะยับยั้งการดูดซึมหมึกลงสู่เนื่อกระดาษ ซึ่งก็อาจทำให้มีแนวโน้มทำให้เกิดปัญหาการถอนผิวของหมึกบริเวณที่เกาะบนผิวหน้ากระดาษนี้ได้ ส่วนกระดาษที่มีผิวหน้าหยาบก็จะก่อให้เกิดปัญหาที่ตรงข้ามกัน คือ มีความต้องการปริมาณหมึกที่สูงเพื่อให้ได้รับระดับความเข้มที่เพียงพอ เนื่องจากความหยาบของผิวหน้าที่มีมากจึงต้องการปริมาณหมึกที่มากเพียงพอด้วย และเมื่อให้ปริมาณหมึกที่มากก็ทำให้เกิดปัญหาภาพแสดงทะลุ (Show through) ซึ่งจะแสดงภาพที่พิมพ์นี้ไปยังอีกด้านหนึ่งของกระดาษ ระดับความหยาบผิวกระดาษของกระดาษหนังสือพิมพ์ ที่แนะนำควรอยู่ระหว่าง 75 ถึง 175 มิลลิลิตรต่อนาที (หรือ 98 กิโลปาสคา ที่ทำการวัดด้วยเครื่อง Bendtsen) กระดาษที่มีความหยาบผิวหน้าสูงจะ

เหมาะสำหรับการพิมพ์ด้วยระบบออฟเซต ในขณะที่กระดาษผิวหน้าเรียบมากจะเหมาะสำหรับการพิมพ์ด้วยระบบเลตเตอร์เพรส [15]

ค. ความยืดหยุ่น (Compressibility) และความแข็งของกระดาษ (Hardness)

ความหมายของความแข็งหรือความอ่อนนุ่ม หรือเป็นความหมายของความยืดหยุ่นได้เช่นกัน ความยืดหยุ่นของกระดาษ หมายถึง ความสามารถของแผ่นกระดาษทางด้านความหนา ที่ทนต่อแรงกดเมื่อได้รับทางด้านผิวหน้าของกระดาษ ส่วนความแข็งของกระดาษ หมายถึงการปราศจากการลดความหยาบผิวหน้าเนื่องจากการเพิ่มแรงกดไปยังผิวหน้ากระดาษ ในขณะเดียวกัน ความยืดหยุ่นของกระดาษจะมีความสัมพันธ์ถึงการลดระดับความหนาของกระดาษ เมื่อกระดาษมีความหนาน้อยลงก็จะมีความสามารถในการยืดหยุ่นได้ดีขึ้น ดังนั้นกระดาษที่มีผิวหน้าเรียบมากจะมีความยืดหยุ่นน้อยกว่ากระดาษที่ผิวหน้าเรียบน้อย ทั้งความแข็งและความยืดหยุ่นของกระดาษจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของกระดาษ แต่ในทางการใช้งานกระดาษที่มีความแข็งน้อยกว่าจะให้ความสม่ำเสมอของงานพิมพ์ที่ดีกว่า [15]

ง. ความพรุน (Porosity, air permeadility)

เป็นการกล่าวถึงช่องว่างในกระดาษซึ่งต้องคำนึงถึงจำนวน ขนาด และการกระจายตัวของช่องว่างเหล่านั้น ในกระดาษหนังสือพิมพ์ได้รับผลกระทบในด้านการดูดซึมหมึก ในทางปฏิบัติการวัดปริมาณช่องว่างในแผ่นกระดาษนี้ทำได้โดยการใช้การวัดความต้านทานการซึมผ่านของอากาศที่ปล่อยให้ผ่านกระดาษ [15]

จ. ความสามารถในการดูดซึมน้ำ / น้ำมัน ของกระดาษ (Water absorption, Oil absorption)

ความสามารถในการดูดซึมน้ำมัน เป็นความสามารถของระดับการดูดซึมน้ำมันในกระดาษ เนื่องจากหมึกที่ใช้ในการพิมพ์เพื่อพิมพ์หนังสือพิมพ์ จะมีส่วนผสมของน้ำมันอยู่ ส่วนความสามารถในการดูดซึมน้ำก็เป็นอีกหนึ่งสมบัติของกระดาษที่ควรตรวจสอบ [15]

2.2.1.4 ลักษณะทางทัศนศาสตร์ของกระดาษ

สมบัติทางทัศนศาสตร์ของกระดาษได้แก่ ค่าความสว่าง เฉดสี และค่าการกระเจิงแสงของกระดาษ สมบัติทางด้านทัศนศาสตร์ของกระดาษหนังสือพิมพ์เป็นสิ่งสำคัญต่อการมองเห็นของผู้ใช้งานทั้งผู้อ่านและผู้โฆษณา ซึ่งมีผลกระทบต่อการรับรู้ ซึ่งส่งผลถึงคุณภาพทางการพิมพ์อีกด้วย

สมบัติที่มองเห็นได้ชัดคือเฉดสี ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นสำหรับกระดาษทั้งที่ใช้พิมพ์หรือไม่ใช้พิมพ์ก็ตาม เฉดสีของกระดาษเป็นสิ่งที่ใช้ในการเปรียบเทียบ โดยทั่วไปกระดาษจะแสดงความแตกต่างของสีได้ชัดเจนเมื่อมีการเปรียบเทียบสีบนแผงที่มีการวางขายหนังสือพิมพ์ทั่วไป นอกจากนี้แล้วกระดาษหนังสือพิมพ์ควรมีความทึบแสงที่เพียงพอในการปกป้องภาพพิมพ์จากด้านหนึ่ง มิให้ปรากฏอีกทางด้านหนึ่งของกระดาษ และนี่ก็เป็นความสำคัญของการกำหนดมาตรฐานสมบัติด้าน

ทัศนศาสตร์ของกระดาษหนังสือพิมพ์ ซึ่งอาจมีการกำหนดเป็นช่วงกว้างๆ ระหว่างกลุ่มผู้ใช้งานและผู้ค้ากระดาษ [15]

ก. ความสว่าง (ISO-Brightness)

โดยส่วนใหญ่ของวัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตกระดาษ จะเป็นวัสดุที่มาจากเส้นใยธรรมชาติซึ่งโดยทั่วไปมีสีครีม เนื่องจากมีปริมาณของสีเหลืองปนอยู่ เฉดสีจากธรรมชาตินี้จะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการใช้สีย้อมในกระบวนการผลิต โดยอาจมีการใช้สีย้อมสีน้ำเงินหรือสีม่วงเพื่อทำให้กระดาษมีความขาวขึ้นโดยปราศจากสีเหลืองแท้จริง ค่าความสว่างของหนังสือพิมพ์โดยส่วนใหญ่จะพยายามผลิตให้มีระดับความสว่างที่มากกว่า 55% ISO สำหรับกระดาษที่มีความหนา 48.8 g/m^2 [15]

ข. เฉดสี (Shade)

การวัดเฉดสีของกระดาษ เป็นการวัดสมบัติที่จำเป็นอีกประการหนึ่งของกระดาษหนังสือพิมพ์ ทั้งนี้เนื่องจากการวัดค่าความสว่างเพียงอย่างเดียวจะไม่เพียงพอ การบอกลักษณะของความสว่างที่แตกต่างออกไป ความแตกต่างทางเฉดสีสามารถบอกถึงระดับความเป็นสีเขียว และความเป็นสีแดงของกระดาษ ซึ่งสายตาของมนุษย์ไม่สามารถบอกถึงระดับสีนี้ได้ ระบบการวัดค่าความแตกต่างของสีนี้จะใช้งานระบบสีที่เรียก CIE ซึ่งมีหลักการของการวัดค่าการสะท้อนแสงของฟิลเตอร์สีน้ำเงิน สีแดง และสีเหลือง เป็นลำดับ ปริมาณการสะท้อนแสงจะเปลี่ยนเป็นรูปไปสู่การบอกระดับปริมาณค่าต่างๆ คือ

- ค่า Y-value เป็นสิ่งที่บ่งบอกสีที่ปกคลุมสีนั้นด้วยระดับความขาวหรือความดำ มีหน่วยเป็น % โดยค่าที่ระดับ 0 หมายถึงการถูกปกคลุมด้วยสีขาว ส่วนค่าระดับ 100 หมายถึงการถูกปกคลุมด้วยสีดำ การวัดค่า Y-value จะวัดผ่านฟิลเตอร์สีเขียว

- ค่าความบริสุทธิ์สี (Excitation purity) เป็นค่าสีที่บ่งบอกลักษณะของสีนั้นๆ มีหน่วยเป็น% โดยสีที่มีค่าความบริสุทธิ์ที่ 0% จะเป็นสีที่แสดงถึงค่าทางความเป็นสีเทา ส่วนสีที่มีค่าความบริสุทธิ์ที่ 100% จะเป็นสีที่ไม่มีปริมาณของสีเทาเจือปนอยู่ในตัวของมันเอง

- คลื่นแสงที่ปกคลุมนั้นๆ (Dominant wavelength) เป็นค่าที่แสดงถึงคลื่นสีปกคลุมสีนั้นๆ อยู่ มีหน่วยเป็นนาโนเมตร

การวัดค่า Y-value จึงหมายถึงการวัดที่สามารถบอกถึงค่าความบริสุทธิ์สี และคลื่นแสงที่ปกคลุมสีนั้นๆ อยู่ จึงแสดงความอิ่มตัวของสีในช่วงคลื่นต่างๆ ที่ระดับความมืดและความสว่างที่แตกต่างกันออกไป ปริมาณที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าทั้งสามจะมีความสัมพันธ์และมีผลต่อสีของกระดาษ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆ ในเฉดสี

ค่าที่เปลี่ยน	เมื่อมีค่าเพิ่มขึ้น	เมื่อมีค่าลดลง
ค่า Y-value	กระดาษมีความสว่างเพิ่มขึ้น	กระดาษจะมีความดำเพิ่มมากขึ้น
ค่าความบริสุทธิ์สี	กระดาษมีความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น	กระดาษจะมีความเป็นสีเหลืองลดลง
คลื่นแสงที่ปกคลุมสี	กระดาษมีปริมาณสีแดงเพิ่มขึ้น	กระดาษมีปริมาณสีเขียวเพิ่มมากขึ้น

เนื่องจากไม่สามารถหลีกเลี่ยงการใช้เครื่องมือที่ต่างกันในการวัดค่าเฉดสีของกระดาษได้ การวัดค่าสีด้วยระบบ CIE เป็นอีกหนึ่งวิธีที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรมกระดาษที่มีการวัดค่าเฉดสีในเครื่องแบบอัตโนมัติ ค่าสีในระบบ CIE จะแสดงค่าต่างๆ ใกล้เคียงวิธีการแรก โดยกำหนดให้ค่า L* เป็นค่าความสว่างของสี ค่า a* เป็นค่าบอกสีเขียวและแดง โดยค่าที่มีระดับไปทางบวกจะให้ความเป็นสีไปทางสีแดง ส่วนค่าที่ไปทางระดับลบจะมีสีไปทางสีเขียว ส่วนค่า b* เป็นค่าที่บอกสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยค่าสีที่เป็นบวกจะให้สีไปทางสีเหลือง ในขณะที่ค่าที่เป็นลบ จะให้สีไปทางสีน้ำเงิน ค่าเฉดสีของกระดาษหนังสือพิมพ์ที่แนะนำจะมีค่าดังแสดงในตารางที่ 2.4 ซึ่งเป็นค่าเฉดสีของกระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีความหนาระหว่าง 40-48.8 g/m^2 ที่วัดด้วยเครื่อง STFI Elrepho 2000

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าเฉดสีของกระดาษหนังสือพิมพ์

Y-value (%)	64.5	L*	84.2
Excitation purity (nm)	576.5	a*	-0.4
Dominant Wavelength (%)	7.5	b*	6.9

ค. ความทึบแสง (Opacity)

เป็นค่าที่แสดงปริมาณการสะท้อนของแสงผ่านกระดาษตัวอย่างเพียงแผ่นเดียว ที่มีแผ่นสีดำปะที่ด้านหลัง โดยทั่วไปกระดาษหนังสือพิมพ์จะต้องมีค่าความทึบแสงที่เหมาะสมที่จะไม่ทำให้เกิดภาพพิมพ์ทะลุ (Show Through) กระดาษที่มีค่าความทึบแสงสูงจะช่วยลดปัญหาเกิดภาพพิมพ์ทะลุ นอกจากนี้เมื่อกระดาษมีน้ำหนักมาตรฐานน้อยลงจะส่งผลให้ค่าความทึบแสงลดลงเช่นกัน ดังแสดงในตาราง 2.5

ตารางที่ 2.5 ผลของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมาตรฐานกระดาษที่มีผลต่อความทึบแสง

น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษหนังสือพิมพ์ (g/m^2)	ค่าความทึบแสง (%)
48.80	93.5
45.00	92.00
40.00	90.00

ง. ค่าการกระเจิงแสง (Light scattering co-efficient)

เป็นส่วนหนึ่งของแสงที่กระเจิงออกจากการสะท้อน ซึ่งมีปริมาณน้อยจนไม่สามารถวัดได้บนผิวหน้าของกระดาษ แต่จะเป็นสิ่งช่วยเพิ่มปริมาณการสะท้อนแสงในกระดาษที่มีความหนาเพิ่มขึ้น ค่าการกระเจิงแสงสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$S = 1000 \cdot R_\infty \infty\infty \text{ In } R\ (1-R_0 R_\infty)$$

$$W \quad 1-R^2_\infty R_\infty - R_\infty$$

เมื่อ In = ลอกกาลิทึมของแสงธรรมชาติ

W = น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษตัวอย่าง (g/m2)

R_0 = ค่าการสะท้อนแสงของกระดาษตัวอย่างรวมค่าพื้นปะหลัง (แสดงเป็นทศนิยม)

R_∞ = ค่าการสะท้อนแสงของกระดาษตัวอย่างหรือ Y-value (แสดงเป็นทศนิยม)

2.2.2 กระดาษอิงค์เจ็ท [17, 18]

2.2.2.1 กระดาษพ่นหมึก

กระดาษเคลือบผิวสำหรับการพิมพ์พ่นหมึกมีลักษณะผิวแบบต่างๆ เป็นชนิดเคลือบผิวปกติ เคลือบผิวกึ่งมัน เคลือบผิวมันวาว และความหนาบางต่างๆ ให้เลือกใช้ในงานพิมพ์ภาพกราฟิก กระดาษเคลือบผิวที่จะนำไปใช้ในการพิมพ์ป้ายโฆษณะกลางแจ้งจะต้องได้รับการเคลือบผิวพิเศษด้วยฟิล์มไวนิลหรือฟิล์มพอลิเอทิลีน (Polyethylene) เพื่อเพิ่มสมบัติทนทานต่อแสง กันน้ำ ต้านการฉีก และต้านการขัดถู ปกติมีน้ำหนักพื้นฐาน 90 และ 120 กรัมต่อตารางเมตร มักใช้สำหรับงานพิมพ์สอดสีทั่วๆ ไปที่ให้ภาพเหมือนภาพพิมพ์บนกระดาษปอนด์เคลือบผิว การใช้กระดาษผิวชนิดพิเศษจะช่วยให้สามารถพิมพ์ภาพที่มีความละเอียดสูงๆ ได้ โดยภาพสีที่ได้มีความอิ่มตัวสีที่ต่างจากการใช้กระดาษถ่ายเอกสารมาพิมพ์ ซึ่งจะได้สีของภาพสอดสีเพี้ยนไปจากที่ควรจะเป็น นอกจากนี้ยังมีชนิดเคลือบผิวกึ่งมันวาว (Semi Gloss Coated Inkjet Paper) และชนิดเคลือบผิวมันวาวสูง (High Glossy Coated Paper) ที่มี

น้ำหนักพื้นฐาน 150-160 กรัมต่อตารางเมตร เนื้อกระดาษมีสีขาว ผิวมันวาว ภาพพิมพ์ที่ได้บนวัสดุใช้พิมพ์ชนิดนี้จะมีสีสดใส เหมือนกับภาพพิมพ์บนกระดาษเคลือบผิวมัน เช่น กระดาษอาร์ตหรือภาพถ่ายบนกระดาษอัดรูปเมื่อมีการใช้เครื่องพิมพ์พ่นหมึกในการพิมพ์นามบัตรด่วนและการ์ดเชิญมากขึ้น จึงได้มีการพัฒนากระดาษชนิดต่างๆ สำหรับการพิมพ์นามบัตรและการ์ดเชิญ เช่น กระดาษการ์ดที่มีผิวลวดลายต่างๆ ส่วนใหญ่จะเป็นกระดาษที่มีน้ำหนักพื้นฐานมากกว่า 200 กรัมต่อตารางเมตร สมบัติด้านพื้นผิวของกระดาษนับว่ามีความสำคัญยิ่งสำหรับการพิจารณาเลือกกระดาษไปพิมพ์ เพราะสมบัติด้านพื้นผิวของกระดาษเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดระดับคุณภาพงานพิมพ์ที่ได้ ซึ่งรวมถึงสภาพพิมพ์ได้ (Printability) และสภาพการเดินกระดาษคล่อง (Run Ability) เพื่อให้เข้าใจในหลักจึงควรทราบความหมายของคำทั้งสองนี้

ก. สภาพพิมพ์ได้ในทางการพิมพ์ หมายถึง ระดับคุณภาพของงานพิมพ์ที่ได้ว่า มีความคมชัดและละเอียดสวยงามเพียงใด ซึ่งพิจารณาจาก

- ความสามารถของกระดาษในการรับหมึกพิมพ์ได้อย่างสม่ำเสมอทั่วกันทั้งแผ่น โดยไม่เกิดรอยด่างบนภาพพิมพ์ หรือเกิดความหนาและบางของฟิล์มหมึกบนผิวกระดาษ
- ความสามารถของกระดาษที่ให้ภาพฮาล์ฟโทนของต้นฉบับที่ดี โดยเม็ดสกรีนจะต้องมีความคมและชัดเจนไม่แผ่กระจาย
- ความสามารถในการให้เกิด เว็ทแทร็ป (Wet-Trap) เป็นลักษณะที่สามารถในการรับหมึกจะน้อยลง เนื่องจากกระดาษมีเนื้อแน่น หมึกสีแรกที่พิมพ์ลงไปยังไม่แห้งหมึกสีที่สองพิมพ์ทับจะพิมพ์ไม่ติด

ข. สภาพเดินคล่องกระดาษ ในทางการพิมพ์ หมายถึง ความสามารถที่จำทำให้กระดาษผ่านเครื่องได้ตลอดการพิมพ์ โดยพิจารณาจาก

- ความเร็วของเครื่องพิมพ์ที่เหมาะสม
- ความสามารถในการควบคุมการซ้อนทับกันของสีในการพิมพ์สอดสี
- ความสามารถในการปล่อยกระดาษที่พิมพ์แล้ว

ค. สมบัติด้านพื้นผิวของกระดาษที่มีผลต่อคุณภาพงานพิมพ์ ได้แก่ ความแข็งแรงของผิวกระดาษ การรับหมึก การต้านทานการซึมผ่านของหมึก ความเรียบ และความแตกต่างของผิวกระดาษทั้งสองด้าน

- ความแข็งแรงของผิวกระดาษ หมายถึง ความแข็งแรงของผิวกระดาษที่สามารถรับแรงที่มากระทำระหว่างการพิมพ์และการแปรรูปโดยปราศจากการถอนผิว หรือการฉีกขาดของกระดาษ การถอนผิวกระดาษ คือ การเกิดการหลุดของเส้นใยหรือชิ้นส่วนเล็กๆ บนกระดาษที่เกิดตรงส่วนบริเวณภาพที่รับหมึกหรือบริเวณไร้ภาพพิมพ์ของกระดาษ อันเนื่องจากแรงที่แยกกระดาษออกจากผ้ายาง ความแข็งแรงของผิวกระดาษเป็นสมบัติที่มีความสำคัญต่อคุณภาพงานพิมพ์มาก การหลุดลอกของฟิล์มเหนียวของหมึกและความเร็วของเครื่องพิมพ์ ถ้าผิวกระดาษไม่แข็งแรงพอที่จะรับแรงกระทำ

ดังกล่าว กระดาษจะเกิดรอยแยกหรือแตกบนผิวกระดาษ ลักษณะของการถอนของผิวกระดาษ แบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ ตามระดับความรุนแรงของปัญหาที่เกิดขึ้นดังนี้

1. การถอนผิวที่ชั้นเคลือบผิว เป็นความรุนแรงระดับต่ำสุดของการเกิดการถอนผิว โดยสารเคลือบผิวบนกระดาษจะหลุดออกมา

2. การถอนผิวที่เกิดขึ้นตรงบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นเคลือบผิวและกระดาษ เป็นความรุนแรงระดับปานกลางของการเกิดการถอนผิว โดยจะมองเห็นการโปร่งบวมของชั้นกระดาษได้ชัดเจนด้วยตาเปล่า

3. การถอนผิวที่ชั้นกระดาษ การถอนผิวในลักษณะนี้สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าเป็นการถอนผิวที่มีเส้นใยหรือกลุ่มของเส้นใยถูกดึงหลุดออกมาจากผิวกระดาษหรือถ้ารุนแรงมากกว่านี้อาจทำให้กระดาษขาดได้

- การรับหมึก หมายถึง ความสามารถของกระดาษในการดูดซับหมึกพิมพ์ สมบัติการรับหมึกมีอิทธิพลต่อสภาพการเดินคล่องมากกว่าสภาพพิมพ์ได้ เพราะมีผลต่อการแห้งตัวของหมึก การซับหลัง (Set-Off) การเกิดชอล์กกิ้ง (Chalking) และการซึมของหมึกทะลุแผ่นกระดาษ (Strike Through) ปัญหาที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะทำให้สภาพการเดินกระดาษคล่องลดลง ในกรณีที่กระดาษดูดซับหมึกได้ดี จะทำให้เกิด

- การซึมของหมึกทะลุผ่านกระดาษ เกิดขึ้นจากการที่กระดาษสามารถดูดซับตัวพาหมึกลงสู่ผิวภายในกระดาษอย่างรวดเร็วและซึมไปอีกด้านหนึ่ง

- การเกิดชอล์กกิ้ง เกิดขึ้นจากการที่กระดาษสามารถดูดซับตัวพาหมึกลงสู่ผิวภายในกระดาษอย่างรวดเร็วก่อนที่จะมีปฏิกิริยาการแห้งตัวของหมึก ทำให้เหลือแต่ผงหมึกค้างบนผิวกระดาษ ซึ่งมีการเกาะติดที่ไม่ดี ทำให้ผงสีหลุดออกได้ง่าย

- การซับหลัง ในกรณีที่กระดาษดูดซับหมึกไม่ดี ทำให้หมึกแห้งตัวช้า เพื่อกระดาษที่พิมพ์เสร็จแล้วและเกิดการซ้อนทับกัน แรงกดที่เกิดจากน้ำหนักของกระดาษก็จะทำให้หมึกที่ยังไม่แห้งไปติดอยู่ที่ด้านหลังของกระดาษแผ่นบน จึงทำให้เป็นรอยเปื้อน จะเห็นว่าสมบัติการรับน้ำหมึกมีความสำคัญมาก สำหรับคุณภาพงานพิมพ์ เพราะนอกจากจะมีผลต่อสภาพการเดินกระดาษคล่องแล้วยังส่งผลต่อสภาพพิมพ์ได้อีกด้วย

ง. การต้านทานการซึมผ่านของหมึก การต้านทานการซึมผ่านของหมึก หมายถึงความสามารถของกระดาษที่จะต้านทานการซึมผ่านของฟิล์มหมึกที่พิมพ์ใหม่ๆ กระดาษเคลือบผิวนั้นถ้าไม่สามารถต้านทานการซึมผ่านของหมึกได้ดี จะทำให้ตัวพาหมึกไหลเข้าไปในเนื้อกระดาษอย่างรวดเร็ว ก่อนเกิดปฏิกิริยาแห้งตัว ซึ่งจะทำให้หมึก มีความมันวาวต่ำ เกิดหมึกหลุดลอกง่าย ต้องใช้หมึกในการพิมพ์มาก ดังนั้นจึงต้องมีความสมดุลในการรับและต้านทานการซึมผ่านของหมึก

จ. ความขาวสว่าง (Brightness) ผงสีที่อยู่ในสารเคลือบมีผลต่อความขาวสว่างเพราะอนุภาคผงสีจะไปทำให้เกิดการกระเจิงของแสง การกระเจิงแสงที่เกิดขึ้นนี้ เป็นผลที่เกิดจากการสะท้อนและการหักเหของแสงที่ตกกระทบสารเคลือบเส้นใยเซลลูโลสและสารเติมแต่ง ความขาวสว่างของกระดาษวัดได้จากค่าการสะท้อนแสงโดยรวม (Total Reflectance of Light) ที่ตกลงบนกระดาษ ในอุตสาหกรรมทำกระดาษจะวัดความขาวสว่างที่มุมแสงตกกระทบ 45 องศา และมุมรับแสงสะท้อนที่ 0 องศา ทำมุมกับเส้นตั้งฉาก และค่าความขาวสว่างคือค่าการสะท้อนที่ความยาวคลื่น 457 นาโนเมตร ตามมาตรฐาน (T452:Tappi Brightness)

ฉ. ความขาว (Whiteness) แตกต่างจากความขาวสว่าง (Brightness) คือ ค่าความขาวเป็นการรวมเข้าไว้ทั้งหมดของค่าการสะท้อนแสงตลอดช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นทั้งหมด คือ 400-700 นาโนเมตร การใช้ค่าความขาวเพียงค่าเดียว เช่นดัชนีความขาว ในการเปรียบเทียบความขาวของวัตถุ จะมีความสะดวกกว่า การใช้ค่าการสะท้อนแสงตลอด 400-700 นาโนเมตร แต่วัตถุที่นำมาเปรียบเทียบโดยใช้ค่าดัชนีความขาวนั้น ควรมีความมันวาว ลักษณะของผิวหน้าและสมบัติทางกายภาพอื่นๆ ที่ใกล้เคียงกันและมีสีใกล้เคียงกับค่าความขาวเพราะการนำวัตถุที่มีสีอื่นมาแทนค่าดัชนีความขาวนั่นจะไม่มีความหมายใดๆ ดัชนีความขาวที่ใช้กระดาษ ได้แก่ ดัชนีความขาวที่กำหนดโดย ASTM (E313-73) ที่ใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิด C มุมผู้สังเกตมาตรฐานที่ 2 องศา ซึ่งมีสมการดังนี้

$$WI\ E313 = 4Z - 3Y$$

โดยที่ Z และ Y คือค่า ไตรสติมูลัส (C/2o มี Xn = 0.3101 และ Yn = 0.3162)

ช. ความเรียบ (Smoothness) สมบัติเชิงฟิสิกส์อื่นที่มีผลต่องานพิมพ์ ก็คือความเรียบ ซึ่งเป็นลักษณะที่สัมพันธ์กับความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ กระดาษที่มีความเรียบมากจะส่งผลต่อความละเอียดของงานพิมพ์ที่สูงขึ้น ดังนั้น กระดาษชนิดความมันวาวสูงจะมีความเรียบสูง แต่กระดาษที่มีความเรียบสูงไม่จำเป็นต้องมีความมันวาวสูง

2.2.2.2 น้ำยาเคลือบกระดาษอิงก์เจ็ท [19]

อนุภาคของหมึกพิมพ์ Ink Jet ได้ถูกพัฒนาให้มีความสามารถในงานพิมพ์ลงบนกระดาษเคลือบให้ใกล้เคียงกับรูปภาพมากที่สุด สารเคลือบกระดาษจะประกอบด้วยสารจำพวก Inorganic Oxides ตัวอย่าง เช่น Alumina, Sillica, Clay (ดินขาว), Titanium Dioxide, Calcium Carbonate ฯลฯ และสารจำพวก Polymer ตัวอย่างเช่น Polyvinylpyrrolidone (PVP), Polyvinylalcohol (PVOH), เจลาติน, Carboxylmethycellulose และ Polyvinylacetate ซึ่งสารเคลือบต่อไปนี้ มีผลต่อค่าสีทำให้ได้สีที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สารเคลือบสีจะเป็นตัวรองรับสารให้สี ทำให้งานพิมพ์มีช่วงกว้างของสีมากยิ่งขึ้นและปรับปรุงให้ทนทานต่อน้ำมากขึ้นด้วย

กระดาษเคลือบด้าน เป็นกระดาษ Inkjet ธรรมดา ที่จะมีสารเคลือบประกอบด้วย Sillcium หรือ Aluminium Oxides ซึ่งจะไม่มีสารพวก Polymer มาเป็นส่วนประกอบด้วย ซึ่งผิวหน้าของกระดาษเคลือบด้านจะขรุขระมากกว่าเมื่อเทียบกับกระดาษไม่เคลือบจะให้ภาพพิมพ์ที่มี Density สูง และขอบเขตของสีกว้างมากขึ้น ป้องกันน้ำได้ดีและให้ภาพที่มองเห็นเป็นด้านๆ

สารเคลือบจำพวก Polymer จะทำให้ผิวหน้าเรียบ ให้ความเข้มที่สูงขอบเขตของสีกว้างมากยิ่งขึ้นและเพิ่มความมันวาวของกระดาษอีกด้วย ส่วนข้อเสียของสารเคลือบจำพวก Polymer คือ ไม่ทนทานต่อน้ำและทำให้หมึกพิมพ์แห้งตัวช้าและทำให้ความมันเงาลดลงเมื่อผ่านการพิมพ์แล้ว และกระดาษจะม้วนตัวหลังจากผ่านการพิมพ์แล้ว สารเคลือบ Polymer จะละลายตัวได้ดีในน้ำ โดยสารจำพวก Polymer ส่วนมากจะประกอบด้วย เจลาติน, PVOH, PVP หรือการผสมกันของ Polymer หลายชนิด

2.3 ระบบพิมพ์อิงก์เจ็ต (Inkjet printing)

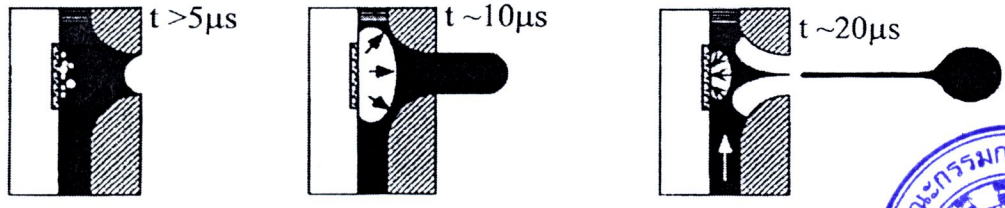
เครื่องพิมพ์แบบอิงก์เจ็ต เป็นเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึกที่มีการออกแบบโครงสร้างในปี ค.ศ.1970 โดยทีมงานวิจัยของแคนนอน เรียกว่า เทคโนโลยีการพ่นหมึกแบบบับเบิลเจ็ต ซึ่งจะใช้ท่อขนาดเล็กในการขับหมึกออกผ่านหัวพิมพ์ลงบนกระดาษ ปรากฏเป็นตัวอักษรและรูปภาพที่มีสีสันต่างๆ [20]

2.3.1 เทคโนโลยีของเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก

เทคโนโลยีของเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึกมีอยู่ 3 ประเภท [21] คือ

2.3.1.1 เทคโนโลยีการพ่นหมึกแบบบับเบิลเจ็ต

เป็นเทคโนโลยที่ใช้ในเครื่องพิมพ์ของแคนนอน เมื่อส่งกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังตัวทำความร้อน (Resistive Heater) ซึ่งไฟฟ้าจะกระตุ้นให้เกิดความร้อนประมาณ 300-400 องศาเซลเซียส ส่งผลให้น้ำหมึกหลอมละลายและเดือดเป็นฟองในรูปของไอน้ำ แล้วน้ำหมึกเหล่านี้จะถูกดันออกมาจากหัวพ่นไปสัมผัสกับแผ่นกระดาษ หัวพิมพ์ของเครื่องพิมพ์จะประกอบไปด้วยท่อขนาดเล็กจำนวน 48, 64, 128, 265 ท่อ ในแต่ละท่อจะมีตัวทำความร้อน ความถี่ ในการสร้างความร้อนเพื่อขับหมึกออกไปจะอยู่ที่ 3,000 ครั้งต่อวินาที ดังรูปที่ 2.8

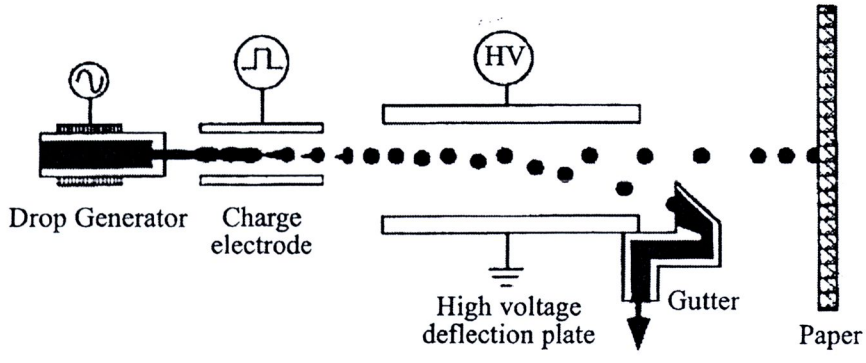


สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รูปที่ 2.8 เทคนิคการพ่นหมึกแบบบับเบิลเจ็ต [20]

2.3.1.2 เทคโนโลยีการพ่นหมึกแบบอิงก์เจ็ต

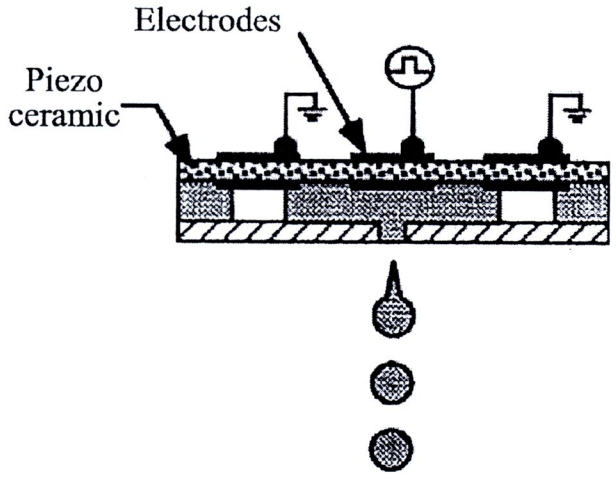
เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในเครื่องพิมพ์ของบริษัทฮิวเล็ตแพ็คการ์ด (HP) เมื่อกระแสไฟฟ้าถูกส่งผ่านไปยังตัวทำความร้อน ประกอบด้วยน้ำหมึกถูกส่งผ่านไปบริเวณตัวทำความร้อน ทำให้น้ำหมึกเกิดการขยายตัวและมีแรงดันขับหมึกผ่านร่องออกไปสู่กระดาษ ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 เทคนิคการพิ่นหมึกแบบอิงก์เจ็ต

2.3.1.3 เทคโนโลยีการพ่นหมึกแบบไพโซอิเล็กทริก

เป็นการใช้วัสดุที่เป็นเซรามิกหรือคริสตันที่สามารถเปลี่ยนขนาดตัวเองได้ ถ้ามีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ภาพ 9.10 จะเห็นว่าชิ้นเซรามิกประกอบติดอยู่กับผนังท่อหมึก เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเซรามิกจะเกิดแรงกดทับท่อหมึกแล้วสร้างแรงดันผลักหมึกออกไปสู่กระดาษ ความถี่ในการขับหมึกสูง 5,000 ครั้งต่อวินาที บริษัทที่ใช้เทคโนโลยีการพ่นหมึกแบบไพโซอิเล็คริกคือ บริษัทเอปสัน



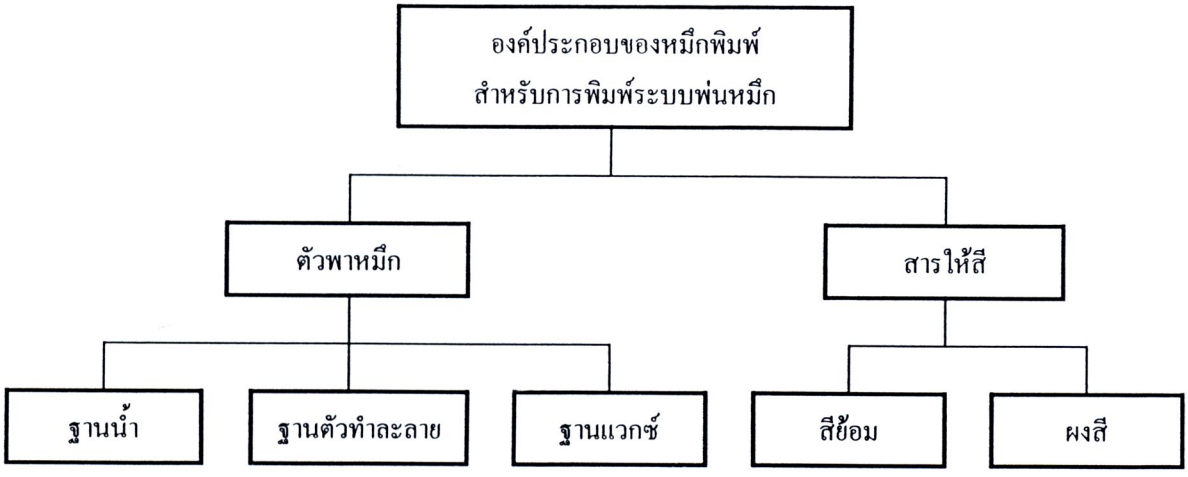
รูปที่ 2.10 เทคนิคการพ่นหมึกแบบไพโซอิเล็กทริก

2.3.2 หมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบพ่นหมึก

หมึกพิมพ์ที่ใช้ในการพิมพ์ระบบพ่นหมึกต้องการคุณสมบัติเฉพาะทั้งทางด้านเคมีและด้านกายภาพ เพื่อกำหนดและควบคุมการพ่นหยดหมึก การสร้างประจุไฟฟ้า การควบคุมทิศทางของหยดหมึก และสมบัติอื่นๆซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพงานพิมพ์บนวัสดุใช้พิมพ์และความน่าเชื่อถือของระบบการพิมพ์ หมึกพิมพ์ของระบบการพิมพ์พ่นหมึกได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกับเครื่องพิมพ์และกระบวนการสร้างหยดหมึก การที่หมึกพิมพ์มีสมบัติเหมาะสมสำหรับการพิมพ์ระบบพ่นหมึกจะต้องมีองค์ประกอบต่างๆที่ใช้สมบัติทางเคมีและทางกายภาพตามที่ต้องการ และมีสัดส่วนผสมที่ถูกต้อง อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการพิมพ์ระบบพ่นหมึกมีการใช้งานได้หลากหลาย จึงทำให้มีการพัฒนาหมึกพิมพ์สำหรับการพิมพ์ระบบพ่นหมึกขึ้นมาหลายประเภทสำหรับเครื่องพิมพ์พ่นหมึกแต่ละประเภทและการใช้งานที่หลากหลาย รวมทั้งจะต้องมีสมบัติเฉพาะที่เหมาะสมด้วย

2.3.2.1 องค์ประกอบของหมึกพิมพ์

องค์ประกอบหลักที่สำคัญของหมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบพ่นหมึกจะเหมือนกับหมึกพิมพ์ที่ใช้ในการพิมพ์ระบบอื่นๆ คือ ประกอบด้วยตัวพาหมึก ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีตัวทำละลาย เรซิน และสารเติมแต่งอื่นๆ หรือมักเรียกส่วนนี้ทั้งหมดโดยรวมว่าเป็น ฐานหมึก (Ink Base) และสารให้สี (Colorants) ซึ่งเทคโนโลยีของหมึกพิมพ์สำหรับการพิมพ์พ่นหมึกสามารถแสดงได้ดังแผนภูมิในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 องค์ประกอบของหมึกพิมพ์สำหรับการพิมพ์พ่นหมึก

ก. ตัวพาหมึก หรือฐานหมึก

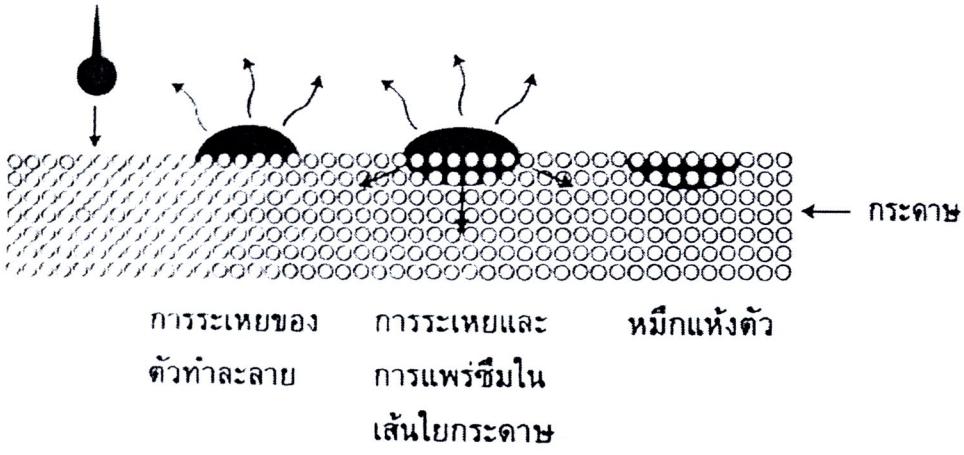
เป็นส่วนที่มีเรวิน ตัวทำละลาย และสารเติมแต่ง ละลายตัวเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ตัวทำละลายที่ใช้มีหลายชนิด เช่น น้ำ น้ำมัน หรือตัวทำละลายอื่นๆ เช่น แวกซ์ ทำให้ส่วนใหญ่แยกประเภทตัวพาหมึกตามชนิดของตัวทำละลาย ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ ฐานน้ำ (Water Base) ฐานตัวทำละลาย (Solvent Base) และฐานแวกซ์ (Waxed Base)

- ตัวพาหมึกฐานน้ำ ตัวพาหมึกฐานนี้จะมีน้ำเป็นตัวทำละลาย หมึกพิมพ์ที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายมักแยกประเภทเป็นหมึกพิมพ์ฐานน้ำ มักใช้เครื่องพิมพ์พ่นหมึกเพื่อวัตถุประสงค์ทั่วไปในการพิมพ์เอกสารสำหรับใช้ในสำนักงาน เช่น เครื่องพิมพ์พ่นหมึกของบริษัทฮิวเลตต์แพคเกร์ด รุ่น DeskJet ของบริษัทแคนนอนรุ่น BJC ของบริษัทแอปสัน รุ่น Color Stylus ส่วนใหญ่เป็นเครื่องพิมพ์พ่นหมึกที่มีกระบวนการสร้างหยดพิมพ์ด้วยวิธีทางความร้อน เนื่องจากวิธีนี้มีการสร้างฟองอากาศจากหมึกภายในหัวฉีดหมึกตัวทำละลายที่เป็นน้ำเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดฟองอากาศได้ดี ส่วนประกอบทั่วไปในหมึกพิมพ์ฐานน้ำสำหรับการพิมพ์พ่นหมึกดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ส่วนประกอบในหมึกพิมพ์ฐานน้ำสำหรับการพิมพ์พ่นหมึก

ส่วนประกอบ	หน้าที่	ปริมาณในหมึก (%)
น้ำปราศจากไอออน	ตัวทำละลาย	60-90
ตัวทำละลายที่ละลายได้ในน้ำ	ปรับความหนืด	5-30
สีย้อมหรือผงสี	ให้สี	1-10
สารลดแรงตึงผิว	ทำให้เปียกและแทรกซึมในวัสดุใช้พิมพ์	0.1-10
สารกันเสีย	ป้องกันการเติบโตของเชื้อราและจุลินทรีย์	0.05-1
บัฟเฟอร์	ควบคุมค่าความเป็นกรดเป็นเบสให้คงที่	0.1-0.5
สารเติมแต่งอื่นๆ	ป้องกันการเกิดฟอง เพิ่มความสามารถในการละลาย	น้อยกว่า 1

ความหนืดของหมึกพิมพ์ฐานน้ำอยู่ประมาณ 2-8 เซนติพอยส์ (Centipoises, CPS) เมื่อหมึกพิมพ์ถูกพ่นไปยังผิวหน้าของกระดาษไม่เคลือบผิว หมึกมีแนวโน้มจะซึมแพร่กระจายไปตามแนวเส้นใยกระดาษและดูดซึมเข้าไปในกระดาษ การแห้งของหมึกพิมพ์ฐานน้ำจึงขึ้นกับอัตราการแพร่กระจาย (Penetration) และการดูดซึม (Absorption) ดังรูปที่ 2.12 แม้ว่าจะมีการระเหยตัวของน้ำเกิดขึ้นด้วย แต่การระเหยจะเป็นไปได้ช้ามาก จึงทำให้หมึกพิมพ์เลอะบนภาพได้ นอกจากนี้การที่หมึกพิมพ์สามารถดูดซับเข้าไปในเนื้อกระดาษทำให้ความเข้มของสีที่ได้ต่ำ และความละเอียดของจุดภาพก็ต่ำลงด้วย จึงได้มีการใช้กระดาษเคลือบผิวชั้นรับน้ำ (Water Receiving Layer) เพื่อรับหมึกพิมพ์ได้ดีขึ้น และคุณภาพของภาพพิมพ์สูงขึ้น และแก้ปัญหาของความเข้มสีและความละเอียดของจุดภาพ โดยการควบคุมการแพร่กระจายและการดูดซึมของหมึกที่ชั้นเคลือบผิว ปัจจุบันได้มีการพัฒนาวัสดุใช้พิมพ์ที่เคลือบผิวชนิดพิเศษสำหรับใช้ในการพิมพ์ระบบพ่นหมึกในสำนักงาน และการพิมพ์ป้ายโฆษณากลางแจ้งขนาดใหญ่มากขึ้น ทั้งนี้เพราะได้มีการพัฒนาหัวพิมพ์ในเครื่องพิมพ์พ่นหมึกให้สามารถพิมพ์ภาพได้ละเอียดขึ้นมากกว่า 1200 จุดต่อนิ้ว



รูปที่ 2.12 การแห้งตัวของหมึกฐานน้ำ

- ตัวพาหมึกฐานตัวทำละลาย

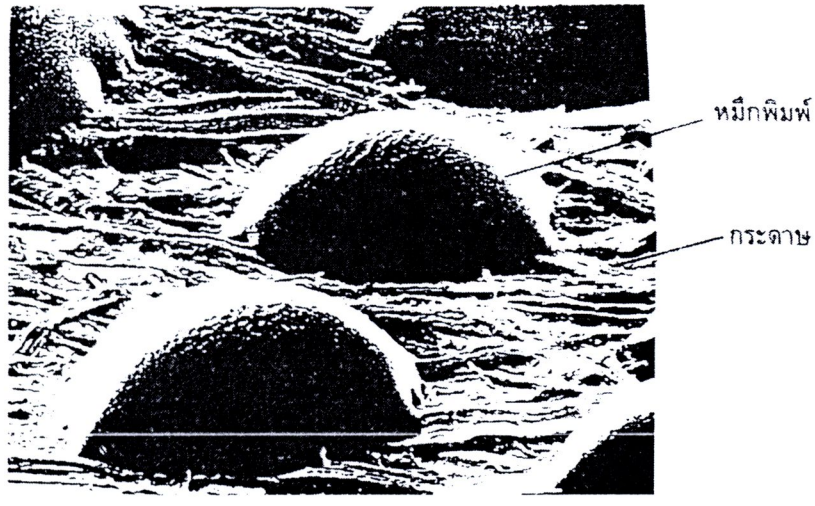
หมึกพิมพ์ที่มีตัวพาหมึกฐานตัวทำละลายมักจะแยกประเภทเป็นหมึกพิมพ์ฐานตัวทำละลาย ซึ่งนิยมใช้ในเครื่องพิมพ์พ่นหมึกที่พิมพ์รหัสหรือข้อความในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์หรือเคลือบลงบนวัสดุใช้พิมพ์ที่ไม่ดูดซึมหมึก เช่น พลาสติก โลหะ และแก้ว เป็นต้น เนื่องจากหลังการพิมพ์หมึกพิมพ์ลงบนวัสดุใช้พิมพ์แล้ว หมึกจะไม่สามารถดูดซับหรือแพร่กระจายตัวเข้าไปในวัสดุใช้พิมพ์ได้ ดังนั้น การแห้งตัวของหมึกพิมพ์จึงต้องใช้การระเหยตัวของตัวทำละลาย โดยต้องทำให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และต้องทำให้หมึกยึดติดบนวัสดุใช้พิมพ์ได้ดีด้วย

นอกจากนี้ ยังมีการใช้หมึกพิมพ์ฐานตัวทำละลายในเครื่องพิมพ์พ่นหมึกขนาดใหญ่ (Wide Format Inkjet Printer) เพื่อพิมพ์ป้ายโฆษณาขนาดใหญ่ เครื่องพิมพ์ประเภทนี้ส่วนใหญ่ใช้หัวพิมพ์ที่สร้างหยดหมึกด้วยวิธีไพโซอิเล็กทริกในรูปแบบการเฉือน (Piezo Shear Mode) หัวพิมพ์ลักษณะนี้ส่วนใหญ่ต้องการหมึกพิมพ์ฐานตัวทำละลายที่ไม่นำไฟฟ้า และไม่ทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบไพโซอิเล็กทริกซึ่งอยู่ที่ผนังของท่อพ่นหมึก ข้อดีของหมึกพิมพ์ฐานตัวทำละลายเมื่อเปรียบเทียบกับหมึกฐานน้ำ ก็คือ แห้งตัวได้รวดเร็วกว่า ไม่ทำให้เกิดปัญหาวัสดุใช้พิมพ์ที่เป็นกระดาษโค้งงอหลังการพิมพ์

- ตัวพาหมึกฐานแวกซ์

การใช้หมึกพิมพ์ชนิดเหลวมักมีปัญหาเรื่องการแห้งตัว และต้องใช้วัสดุชนิดเคลือบผิวพิเศษ วิธีการหนึ่งที่พัฒนาขึ้นเพื่อให้สามารถพิมพ์ในการพิมพ์ระบบพ่นหมึก โดยไม่ต้องใช้วัสดุใช้พิมพ์หรือหมึกพิมพ์ชนิดพิเศษ และหมึกพิมพ์แห้งตัวได้ง่าย ก็คือ การใช้หมึกสถานะของแข็ง (Solid Ink) หรือเรียกว่าหมึกแข็ง หรือหมึกฮอตเมลต์ (Hot Melt Ink) ซึ่งเป็นหมึกที่หลอมเหลวด้วยความร้อน หรือหมึกพิมพ์เฟสเชนจ์ (Phase Change Ink) หมึกพิมพ์ประเภทนี้มีตัวพาหมึกฐานแวกซ์หมึกพิมพ์จะอยู่ในสถานะ

ของแข็งที่อุณหภูมิห้อง เมื่อหมึกพิมพ์จะพ่นออกจากหัวฉีดพ่นหมึกจะได้รับความร้อนให้หลอมเหลวเป็นของเหลวก่อน เมื่อหมึกพิมพ์พ่นไปตกบนผิวหน้าของวัสดุใช้พิมพ์และจะเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งทันที โดยหมึกพิมพ์จะไม่แพร่ซึมหรือดูดซึมเข้าไปในกระดาษ การทำให้หมึกพิมพ์แข็งตัวทันทีจะทำให้สามารถพิมพ์บนวัสดุใช้พิมพ์ได้หลายชนิด สีของภาพพิมพ์จะมีความอิ่มตัวของสีดีขึ้นและพิมพ์ภาพที่มีความละเอียดของภาพสูงขึ้นได้ ภาพขยายเมื่อหมึกพิมพ์เฟสเชนจ์อยู่บนวัสดุใช้พิมพ์ดังแสดงในรูปที่ 2.13 จะเห็นว่าหยดหมึกพิมพ์ยังคงสภาพหยดหมึกโดยไม่กระจายตัวไปด้านข้าง แม้จะพิมพ์บนวัสดุใช้พิมพ์ที่มีผิวหน้าหยาบก็ตาม



รูปที่ 2.13 ภาพขยายของหมึกพิมพ์ฐานแวกซ์เมื่อพิมพ์ลงบนวัสดุใช้พิมพ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ที่มา: Hue P.Le. "Progress and trends in Ink-Jet Printing Technology." Journal of Imaging Science and Technology. Vol.42, No.1 January/February 1998, p. 59.

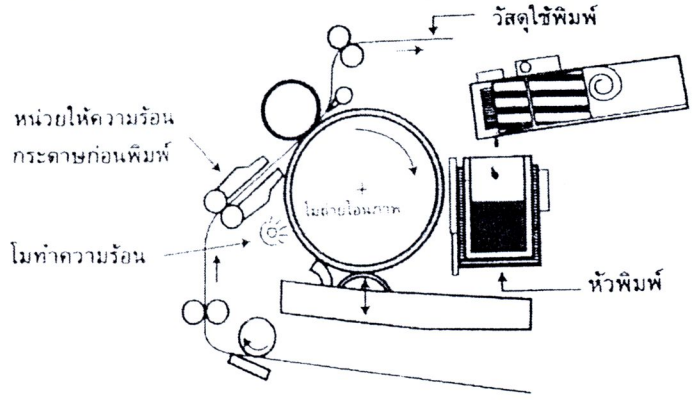
เครื่องพิมพ์พ่นหมึกที่ใช้หมึกฐานแวกซ์ และความร้อนในการหลอมหมึกพิมพ์ให้เป็นของเหลวก่อนพ่นหยดหมึกนี้ จะเรียกว่า เครื่องพิมพ์เฟสเชนจ์ บางเครื่องจะมีลูกกลิ้งผนึกภาพ (Fusing Roller) เพื่อทำให้หมึกพิมพ์เฟสเชนจ์ติดผิวหน้ากระดาษได้ดีขึ้น ดังรูปที่ 2.14 เพื่อเพิ่มความสามารถในการยึดติดผิวหน้า และลดการเกิดระนาบทรงกลมของหยดหมึกบนกระดาษ อันมีผลให้ความอิ่มตัวสีลดลง

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

รูปที่ 2.14 ภาพขยายของหยดหมึกเฟสเชนจ์เมื่อผ่านลูกกลิ้งผนึกภาพ

ที่มา: Hue P.Le. "Progress and trends in Ink-Jet Printing Technology." Journal of Imaging Science and Technology. Vol.42, No.1 January/February 1998, p.59.

การใช้หมึกพิมพ์เฟสเชนจ์ในเครื่องพิมพ์พ่นหมึกได้มีการพัฒนามาใช้ในเครื่องพิมพ์พ่นหมึกที่มีโครงสร้างของการถ่ายโอนภาพแบบระบบการพิมพ์ออฟเซต ดังรูปที่ 2.15 กระบวนการพิมพ์เริ่มต้นโดยเคลือบแผ่นซิลิคอนบางๆ บนโมอะลูมิเนียมหมุนรอบตัวที่ได้รับความร้อนให้อุ่น ท่อฉีดหมึกจะพ่นหมึกพิมพ์ตามสัญญาณภาพบนโมตัวกลางถ่ายโอนภาพ ภาพที่พิมพ์บนโมตัวกลางทั้งหมดจะถ่ายโอนไปยังวัสดุใช้พิมพ์ที่ได้รับความร้อนไว้ก่อนแล้วด้วยการใช้แรงกดจากลูกกลิ้งกดพิมพ์ ในการถ่ายโอนจำเป็นต้องให้โมได้รับความร้อนที่สูงกว่าอุณหภูมิสถานะแก้ว (Glass Transtition Temperature, TG) แต่ต้องต่ำกว่าหลอมเหลวของหมึกพิมพ์ฐานแวกซ์ เพื่อให้หมึกพิมพ์เฟสเชนจ์อ่อนตัวเพียงพอที่จะถ่ายโอนไปบนผิวหน้าของกระดาษเมื่อกระดาษผ่านจากตำแหน่งกดพิมพ์แล้ว การพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์พ่นหมึกลักษณะนี้ทำให้ได้ภาพพิมพ์ที่มีคุณภาพสีดีขึ้นบนกระดาษหลากหลายชนิด และมีความเร็วในการพิมพ์สูงขึ้น



รูปที่ 2.15 โครงสร้างเครื่องพิมพ์พ่นหมึกที่มีการถ่ายโอนภาพแบบระบบการพิมพ์ออฟเซต

ที่มา: Hue P.Le. "Progress and trends in Ink-Jet Printing Technology." Journal of Imaging Science and Technology. Vol.42, No.1 January/February 1998, p.59.

ส่วนประกอบของหมึกพิมพ์เฟสเชนจ์ส่วนใหญ่ ดังแสดงในตารางที่ 2.7 อุณหภูมิสำหรับใช้งานหมึกพิมพ์เฟสเชนจ์ขึ้นกับชนิดของแวกซ์ โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 120-140 องศาเซลเซียส ความหนืด ณ อุณหภูมิใช้งานประมาณ 8-15 เซนติพอยส์

ตารางที่ 2.7 ส่วนประกอบของหมึกพิมพ์เฟสเชนจ์

ส่วนประกอบ	หน้าที่	สัดส่วน (ร้อยละ)
แวกซ์	ตัวพาหมึก	40-70
สารปรับความหนืด	ปรับความหนืดของหมึก	5-20
สารทำให้เหนียว	เพิ่มความสามารถในการยึดติด	1-15
พลาสติไวเวอร์	เพิ่มความยืดหยุ่น	1-15
สีย้อมหรือผงสี	ให้สี	1-10
สารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน	ป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน	0.05-2

หมึกพิมพ์ฐานน้ำ หมึกพิมพ์ฐานตัวทำละลาย และหมึกพิมพ์ฐานเฟสเชนจ์ จะให้ภาพพิมพ์ที่มีคุณภาพและความทนทานในระดับที่ยอมรับได้ ถ้าพิมพ์บนกระดาษเคลือบผิวพิเศษสำหรับการพิมพ์พ่นหมึกหรือกระดาษเคลือบผิว อย่างไรก็ตาม ถ้าพิมพ์บนวัสดุใช้พิมพ์ที่ไม่ดูดซับหมึก เช่น โลหะ แก้ว หรือพลาสติก หมึกพิมพ์ที่กล่าวถึงข้างต้นมีสมบัติไม่เพียงพอที่จะทำให้ภาพพิมพ์ที่ได้มีคุณภาพดี แต่ก็ยังมีปัจจัยต่างๆที่ยังเป็นปัยหาของหมึกพิมพ์ยูวี เช่น ความสามารถของหัวพิมพ์ ตัวเริ่มปฏิกิริยาทางแสง (Photoinitiator) การหามอนอเมอร์ที่มีพิษต่ำและความสามารถของตลาด เมื่อมีหัวพิมพ์ที่มีความสามารถมากขึ้น มีสารเริ่มปฏิกิริยาทางแสงมอนอเมอร์และโอลิโกเมอร์ที่เหมาะสม และความต้องการของตลาดมากขึ้น แนวโน้มการใช้หมึกพิมพ์พ่นหมึกชนิดยูวีจะมีมากขึ้น การแห้งตัวของหมึกพิมพ์ประเภทต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.8

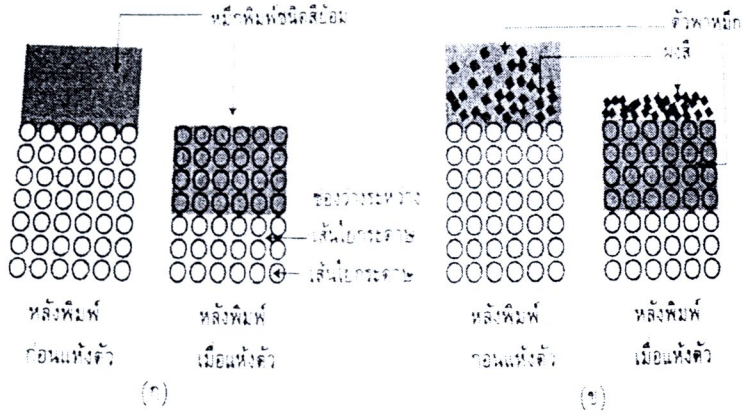
ตารางที่ 2.8 การแห้งตัวของหมึกพิมพ์ประเภทต่างๆ

หมึกพิมพ์	หัวพิมพ์	กลไกการแห้งตัว
หมึกพิมพ์ฐานน้ำ	เฉพาะจุดแบบความร้อน/ต่อเนื่องแบบไพโซอิเล็กทริก	การดูดซึม/แพร่กระจาย/ระเหย
หมึกพิมพ์ฐานตัวทำละลาย	ต่อเนื่องแบบไพโซอิเล็กทริก	การระเหย
หมึกพิมพ์ฐานแวกซ์	เฉพาะจุดแบบไพโซอิเล็กทริก	การเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง

ข. สารให้สี

สารให้สีที่ใช้ในหมึกพิมพ์ระบบการพิมพ์พ่นหมึกมี 2 ชนิด คือ ผงสีและสีย้อม สารให้สีในหมึกพิมพ์สำหรับการพิมพ์พ่นหมึกส่วนใหญ่เป็นสีย้อม ในการพิมพ์ภาพสี การพิมพ์ปรู๊ฟสี หรืองานพิมพ์อื่นที่ต้องการความทนทานสูง ได้มีการพัฒนาหมึกพิมพ์ที่ใช้ผงสีเป็นสารให้สี ซึ่งทำให้ได้คุณภาพของภาพดีขึ้น มีความทนทานมากขึ้น และการพ่นหมึกมีความแน่นอนยิ่งขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบการใช้หมึกพิมพ์ที่ใช้สีย้อมกับหมึกพิมพ์ที่ใช้ผงสีพิมพ์ลงบนกระดาษ ดังรูปที่ 2.16 ปกติหมึกพิมพ์ประเภทสีย้อม จะมีสีย้อมละลายในตัวทำละลาย แต่จะแขวนลอยในตัวทำละลาย เมื่อพิมพ์หมึกพิมพ์ลงบนกระดาษ ตัวทำละลายจะถูกดูดซึมเข้าไปในในกระดาษ ส่วนผงสีจะยังคงอยู่ที่ผิวหน้าของกระดาษ ข้อดีของหมึกพิมพ์ประเภทผงสีก็คือความทนทานต่อแสงและสภาพอากาศภายนอกได้ดีกว่าหมึกพิมพ์ประเภทสีย้อม จึงเหมาะสำหรับเครื่องพิมพ์พ่นหมึกที่ใช้พิมพ์ป้ายโฆษณาขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามหมึกพิมพ์ประเภทผงสีที่อนุภาคผงสีแขวนลอยในตัวทำละลายมักจะสร้างปัญหาอุดตันของท่อฉีดหมึกได้ง่าย จึงไม่สามารถใช้กับท่อพ่นหมึกที่มีขนาดเล็กๆได้ อันจะมีผลให้ความละเอียดของภาพหยาบ เนื่องจากต้องใช้ท่อพ่นหมึกขนาดใหญ่



รูปที่ 2.16 เปรียบเทียบ (ก) หมึกพิมพ์ชนิดสีย้อมและ (ข) หมึกพิมพ์ชนิดผงสีเมื่อพิมพ์บนกระดาษ

สำหรับงานพิมพ์ที่ต้องการความละเอียดสูง อันหมายถึงท่อพ่นหมึกต้องมีขนาดเล็กมากที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้ หมึกพิมพ์ที่ใช้ควรเป็นหมึกพิมพ์ประเภทสีย้อม ปัจจุบันได้มีการพัฒนากระบวนการที่ทำให้หมึกพิมพ์ประเภทสีย้อมมีความทนทานมากขึ้น และสามารถพิมพ์บนกระดาษธรรมดาได้ดีขึ้น กระบวนการนี้เรียกว่า พีพอป (Plain Paper Optimized Printing, P-POP) โดยสร้างหัวพิมพ์ให้พิมพ์สารเคลือบลงบนผิวหน้ากระดาษธรรมดาก่อนที่จะพิมพ์หมึกพิมพ์สีย้อมลงไป สารเคลือบที่พิมพ์ไว้ก่อนหน้าจะใสและมีส่วนประกอบที่รับหมึกพิมพ์สีย้อมได้ดี ทำให้หมึกสีย้อมติดผนึกทันทีบนผิวหน้ากระดาษ กระบวนการดังกล่าวทำให้หมึกพิมพ์สีย้อมมีความทนทานต่อน้ำได้ดี

การพัฒนาเทคโนโลยีการพิมพ์ระบบพ่นหมึกได้สร้างปัญหาให้ผู้ผลิตหมึกพิมพ์เป็นอันมาก เพราะหมึกพิมพ์สำหรับการพิมพ์พ่นหมึกจะต้องมีความบริสุทธิ์มาก และต้องปราศจากอนุภาคเกลือ (Salt Free) การมีอนุภาคเกลือในหมึกมีผลให้หัวฉีดพ่นหมึกอุดตันได้ง่าย ความต้องการหมึกพิมพ์พ่นหมึกจะแตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ผิวหน้าวัสดุใช้พิมพ์ เทคโนโลยีการพ่นหมึกของหมึกพิมพ์

การพิมพ์พ่นหมึกแบบต่อเนื่องมักใช้พิมพ์รหัสข้อความบนวัสดุใช้พิมพ์ที่ไม่ดูดซับหมึก เช่น พลาสติก หรือโลหะ สายหมึกที่เกิดจากคลื่นแรงดันสูงในลักษณะต่อเนื่อง และแตกเป็นหยดหมึกเพื่อพุ่งตรงไปยังวัสดุใช้พิมพ์ หรือย้อนกลับไปยังที่บรรจุหมึกพิมพ์ ท่อพ่นหมึกพิมพ์สำหรับการพิมพ์ระบบพ่นหมึกลักษณะนี้จะมีขนาดใหญ่ ทำให้สามารถใช้หมึกพิมพ์ประเภทผงสีได้ แต่จะให้คุณภาพงานพิมพ์ที่ให้ความละเอียดต่ำ หมึกที่ใช้อาจเป็นหมึกฐานตัวทำละลายที่เป็นแอลกอฮอล์ โดยมีเรซินสังเคราะห์ที่ละลายได้ในแอลกอฮอล์ หรือตัวทำละลายประเภทคีโตน เอสเทอร์ผสมกับเรซินโคพอลิเมอร์ที่ละลายตัวได้ในคีโตน เอสเทอร์

ส่วนวิธีการพิมพ์พ่นหมึกแบบเฉพาะจุดที่ต้องการมักจะพิมพ์บนวัสดุใช้พิมพ์ที่ดูดซึมหมึก เช่น กระดาษ เครื่องพิมพ์ประเภทนี้อาจมีท่อพ่นหมึกถึง 1000 ท่อเรียงชิดกันอยู่ เพื่อให้ได้ภาพที่มีความละเอียดสูงและมักใช้สำหรับการพิมพ์หลายสี โดยเครื่องพิมพ์อาจเป็นเครื่องพิมพ์สีเดียวหรือหลายสี โดยมีตลับหมึกหลายสีในตลับเดียว หมึกพิมพ์ฐานน้ำหรือฐานไกลคอล ที่ประกอบด้วยส่วนผสมของน้ำกับไกลคอลและสารเติมแต่งอื่นๆ เช่น ไดเอทิลีนไกลคอล (Diethylene Glycol) เหมาะสำหรับการพิมพ์บนวัสดุใช้พิมพ์ที่ดูดซึมหมึก เนื่องจากหมึกพิมพ์ประเภทนี้จะแห้งตัวด้วยการดูดซึมลงไปในเนื้อกระดาษ กระดาษที่ดูดซับหมึกได้ดี หมึกพิมพ์จะแห้งตัวได้เร็ว แต่ถ้ากระดาษดูดซึมหมึกมากเกินไปจะสร้างปัญหาของภาพทะลุได้ ดังนั้น จึงควบคุมแรงตึงผิวและความหนืดของหมึกให้เหมาะสมด้วย ส่วนใหญ่มักใช้หมึกพิมพ์ที่มีแรงตึงผิวสูงและความหนืดต่ำ สีย้อมที่ใช้ต้องมีสมบัติทนทานน้ำได้ดี มีความทนทานต่อแสง ให้จุดภาพที่มีขอบเรียบและคมชัด นอกจากนี้ยังต้องมีสมบัติละลายตัวได้ดี ซึ่งสี

ย้อมชนิดไดเรกต์ (Direct Dye) มีสมบัติตามที่ดังกล่าว แต่มีปัญหาในเรื่องการนำไฟฟ้าและการผุกร่อน และเนื่องจากท่อพ่นหมึกมีขนาดเล็กมากเพื่อให้ภาพพิมพ์มีความละเอียดสูง การเตรียมหมึกพิมพ์สำหรับการพิมพ์พ่นหมึกจึงต้องให้มีความบริสุทธิ์สูง เพื่อกรองอนุภาคที่จะสร้างปัญหาอุดตันออก

ปัญหาการอุดตันของท่อพ่นหมึกสามารถแก้ไขได้โดยการใช้หมึกที่ปราศจากอนุภาคเกลือ ถ้าจำเป็นต้องใช้ก็ควรใช้ในเครื่องพิมพ์ที่มีท่อพ่นหมึกขนาดใหญ่ ดังนั้น การผลิตหมึกพิมพ์ชนิดสีย้อมสำหรับการพิมพ์พ่นหมึก ความยุ่งยากจะอยู่ที่การทำให้สีย้อมบริสุทธิ์และปราศจากอนุภาคเกลือ เนื่องจากการมีอนุภาคเกลือปนอยู่อาจมีผลให้หมึกพิมพ์เกิดตกตะกอน วิธีการที่นิยม คือ การทำออสโมซิสแบบย้อนกลับ (Reverse Osmosis) ซึ่งเป็นกระบวนการกำจัดอนุภาคเกลือได้โดยสิ้นเชิง ไม่มีสารตกค้างเจือปนอยู่ในหมึกพิมพ์เหลวและเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายเพียงปั๊มหมึกพิมพ์เหลวผ่านท่อที่มีผนังพิเศษที่ยอมให้อนุภาคของสารอนินทรีย์และอนุภาคเกลือขนาดเล็กผ่านได้ แต่สารอื่นๆ ที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ไม่สามารถผ่านได้ นอกจากวิธีการนี้อาจใช้เยื่อบางๆ เป็นแผ่นกรองสารเจือปนออก ปัจจุบันมีสีย้อมที่ให้สีสดใสและมีความทนทานต่อแสงดี เมื่อนำมาผสมกับตัวทำละลาย เรซิน และสารเติมแต่งที่เหมาะสมเพื่อให้ได้หมึกพิมพ์ที่มีสมบัติเหมาะสมกับการพิมพ์พ่นหมึก

2.4 คุณภาพงานพิมพ์ (Print Quality)

การทดสอบสมบัติกระดาษก่อนพิมพ์และคุณภาพงานพิมพ์เป็นปัจจัยสำคัญต่อการควบคุมคุณภาพงานพิมพ์และทำให้ทราบสาเหตุของงานพิมพ์ที่ไม่ได้คุณภาพอันเนื่องมาจากสมบัติของสารเคลือบบนกระดาษและสามารถแก้ไขได้อย่างถูกต้อง

2.4.1 ความดำของหมึกพิมพ์ (Ink Density)

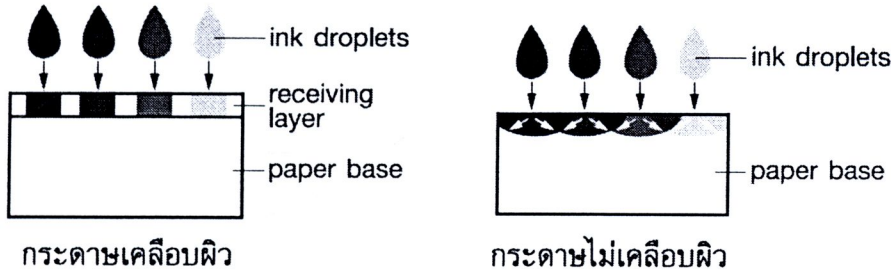
ค่าความดำของหมึกพิมพ์เป็นผลมาจากปรากฏการณ์เชิงแสง คือการสะท้อน การดูดกลืนและการหักเหของแสง การวัดค่าความดำคือ การวัดปริมาณของแสงที่สะท้อนจกงานพิมพ์ แล้วเปลี่ยนเป็นค่าความดำ ซึ่งปริมาณแสงที่สะท้อนดังกล่าวจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการดูดกลืนแสงของชั้นหมึกพิมพ์ ถ้าปริมาณแสงสะท้อนน้อยจะวัดได้ค่าความดำมาก

2.4.2 การซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์ (Inter-Color Bleed)

คือการซึมเข้าหากันของสี เป็นปัญหาที่สำคัญที่สุดปัญหาหนึ่งของการพิมพ์ระบบอิงค์เจ็ตที่มีต่อคุณภาพงานพิมพ์ พบมากในหมึกอิงค์เจ็ตระบบความร้อนฐานน้ำที่มีความหนืด 1-5 เซนติพอยส์ บริเวณที่สามารถสังเกตเห็นได้ชัดที่สุดคือบริเวณสีดำบนพื้นสีเหลือง หรือบริเวณที่พิมพ์สีดำติดกับสีเหลือง ปรากฏการณ์นี้ขึ้นอยู่กับกระดาษที่ใช้พิมพ์มากที่สุดและสามารถแก้ไขหรือลดปัญหาลงได้โดยใช้กระดาษที่มีการเคลือบผิวพิเศษ หรือโดยใช้การพิมพ์ที่มีการทำให้หมึกแห้งตัวก่อนพิมพ์สีถัดไป

หรืออาจใช้หมึกพิมพ์ที่แห้งตัวเร็วภายใน 1 วินาทีหรือน้อยกว่านั้น ก่อนที่หมึกจะซึมเข้ามาผสมกัน การวัดการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์จะทำการวัดเส้นสีดำบนพื้นเหลือง หากความกว้างของเส้นที่พิมพ์มากกว่าความกว้างของเส้นต้นฉบับมาก ร้อยละของการซึมเข้าหาของสีจะมีค่าสูง

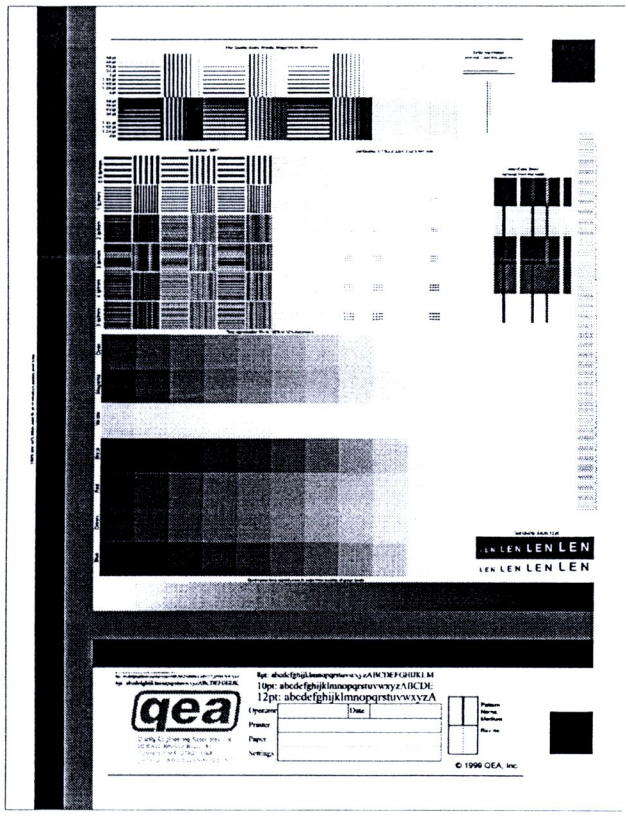
$$\% \text{ การซึมเข้าหากันของหมึก} = \frac{\text{ขนาดของเส้นที่ผลิตได้} - \text{ขนาดของเส้นต้นฉบับ}}{\text{ขนาดของเส้นต้นฉบับ}} \times 100$$



รูปที่ 2.17 การซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์บนกระดาษเคลือบผิว กับกระดาษไม่เคลือบผิว [22]

2.4.3 Test Target

การตัดสินใจของผู้บริโภค ในการซื้อเครื่องพิมพ์ หมึกพิมพ์ โทนเนอร์หรือวัสดุพิมพ์ มักพิจารณษจากความพอใจ แต่ละเกณฑ์ที่ขึ้นอยู่กับตัวบุคคลมีความไม่แน่นอน จึงไม่เพียงพอต่อการนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินคุณภาพ ดังนั้นจึงมีผู้ผล ตเครื่องมือที่เรียกว่า Test Targer ดังแสดงในรูปที่ 2.67 ขึ้นมาสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์ ซึ่งให้ความคงที่น่าเชื่อถือ มีประสิทธิภาพ เครื่องมือสำหรับใช้วัดคุณภาพงานพิมพ์ประกอบด้วย บริเวณสำหรับพิมพ์เม็ดสกรีน บริเวณพื้นตาย บริเวณความละเอียดของเส้น บริเวณขนาดเม็ดสกรีน บริเวณ Inter-Colorbleeding บริเวณการผลิตน้ำหนักสีเทา และบริเวณความคมชัดของตัวอักษร ลักษณะคุณภาพงานพิมพ์พื้นฐานที่สามารถวัดหรือสังเกตได้จาก Test target สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 QEA Test Target สำหรับวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์

ตารางที่ 2.9 ลักษณะคุณภาพงานพิมพ์พื้นฐาน

ส่วนประกอบของภาพ	ลักษณะของภาพ
เม็ดสกรีน	- ตำแหน่งของเม็ดสกรีน (Dot Location) - เม็ดสกรีนบวม (Dot Gain) - รูปร่างเม็ดสกรีน (Dot Shape) - รอยหยักบริเวณขอบ (Edge Raggedness) - การเกิดเม็ดสกรีนรูปร่างคล้ายดาวหาง (Satellite)
เส้น	- ความกว้างของเส้น (Line Wide) - ความคมชัดบริเวณขอบ (Edge Sharpness) - รอยหยักบริเวณขอบ (Edge Raggedness) - ความละเอียด (Resolution) (ค่ากำลังแยก MTF)

ตารางที่ 2.9 (ต่อ) ลักษณะคุณภาพงานพิมพ์พื้นฐาน

ส่วนประกอบของภาพ	ลักษณะของภาพ
บริเวณพื้นตาย	- ค่าความดำเชิงแสง (Optical Density) (การผลิตน้ำหนักสีของภาพ) - สี (ความอิ่มตัวสีสัน) - สัญญาณรบกวน (Noise) - ความหยาบละเอียด (Graininess) - รอยกระดำกระด่าง (Mottle) - เงาเหลื่อมหลัง (Ghosting) - ความมันวาวของหมึกพิมพ์ (Ink Gloss)

2.4.4 เครื่องมือวัดแสงทางการพิมพ์

2.4.4.1 เดนซิโทมิเตอร์

เป็นเครื่องมือวัดแสงใช้เพื่อวัดความเข้มของแสงที่สะท้อนจากภาพที่มีลักษณะทึบหรือแสงส่องผ่าน โดยค่าความเข้มของแสงที่วัดได้จะได้รับการคำนวณให้เป็นค่าความดำโดยคอมพิวเตอร์ ดังนั้นจึงสามารถเรียกว่า เครื่องวัดความดำได้ ทั้งนี้ค่าความเข้มของแสงสะท้อนหรือความเข้มของแสงส่องผ่านสัมพันธ์กับค่าความดำในรูปของฟังก์ชั่นลอการิทึมดังนี้

$D = \log 1/R$ หรือ $D = 1/T$

D = ค่าความดำ

R = ค่าการสะท้อนแสง

T = ค่าการส่องผ่านแสง

จากสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่า ยิ่งค่าการสะท้อนแสงมีค่าน้อยเท่าใด ก็จะมีผลให้ค่าความดำมีค่ามากขึ้นเท่านั้น ประเภทของเครื่องวัดความดำ สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ตามลักษณะทึบแสงของภาพที่นำมาวัด

ก. เครื่องวัดความดำสำหรับภาพทึบแสง เป็นเครื่องวัดความดำที่ใช้วัดเพื่อใช้วัดความดำที่เกิดจากการสะท้อนแสงตกกระทบของภาพทึบแสง ดังนั้นจึงเรียกเครื่องวัดความดำประเภทนี้ว่า เครื่องวัดความดำชนิดวัดการสะท้อนแสง และนำไปใช้วัดภาพทึบแสงสี

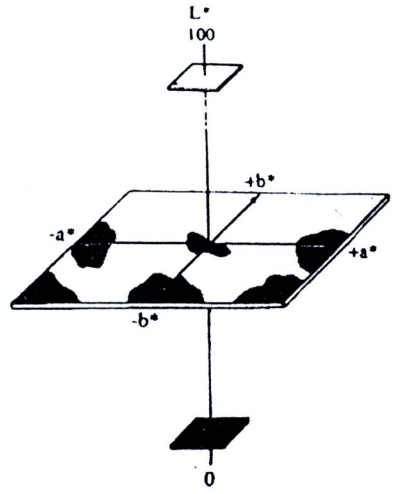
ข. เครื่องวัดความดำสำหรับภาพโปร่งใส เป็นเครื่องวัดความดำที่ใช้เพื่อวัดความดำที่เกิดจากการส่องผ่านแสงตกกระทบของภาพโปร่งใส ดังนั้น จึงเรียกว่า เครื่องวัดความดำชนิดวัดการส่องผ่านแสง ตัวอย่างของภาพโปร่งใส เช่น สไลด์สี และฟิล์มแยกสี

2.4.4.2 สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการส่องผ่านหรือการสะท้อนแสงของภาพสี วัดความเข้มความยาวคลื่นประมาณ 400-700 นาโนเมตร ทั้งนี้การวัดทำที่ช่วงความยาวคลื่นแคบๆ ค่าการสะท้อนแสงจะนำไปใช้ในการเขียนกราฟการสะท้อนความแตกต่างระหว่างสเปกโทรโฟโตมิเตอร์กับคัลเลอริมิเตอร์อยู่ตรงที่สเปกโทรโฟโตมิเตอร์เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดความเข้มของแสงส่องผ่าน ขณะคัลเลอริมิเตอร์สร้างขึ้นเพื่อวัดสีโดยเฉพาะ ดังนั้นคัลเลอริมิเตอร์จึงไม่สามารถแสดงผลวัดความเข้มแสง ส่วนการวัดสีนั้นก็ควรใช้คัลเลอริมิเตอร์เพราะมีราคาถูกกว่าประเภทของสเปกโทรโฟโตมิเตอร์มีทั้งที่สำหรับวัดค่าการส่องผ่านแสงและค่าสะท้อนแสง แต่เนื่องจากชนิดที่วัดค่าการสะท้อนแสงเป็นชนิดที่วัดสีการพิมพ์

2.4.4.3 การวัดสี

ก. แผนภูมิสีซีแล็บ (CIE L*a*b*) แผนภูมิสีซีแล็บ แผนภูมิโครมาติกซิตีถูกใช้งานกันอย่างแพร่หลาย แต่ก็เป็นแผนภูมิที่มีข้อเสียหลายประการ ข้อเสียสำคัญประการหนึ่งก็คือ มีการบิดเบียนในการแสดงสี กล่าวคือ คู่สีมันเซลล์สองคู่ใดๆ ที่มีความสว่างสีสัมพันธ์และมีความแตกต่างของสีสันและความอิ่มตัวสัมพันธ์ของคู่สีแต่ละคู่เท่ากัน เมื่อนำค่าสีพิกัดโครมาติกซิตีของคู่สีทั้งสองคู่ มาลงพิกัดในแผนภูมิโครมาติกซิตีแต่ละคู่มีความยาวไม่เท่ากัน ทั้งๆ ที่คู่สีทั้งสองคู่มีความแตกต่างในมิติของสีสันและความอิ่มตัวสัมพันธ์เท่ากัน หรืออาจสังเกตความบิดเบือนในการแสดงสี ได้จากตำแหน่งจุดพิกัดของแสงที่มีความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร และ 480 นาโนเมตร ควรมีระยะห่างของจุดพิกัดของแสงที่มีความยาวคลื่น 480 นาโนเมตร และ 490 นาโนเมตร แต่ในความเป็นจริงพบว่าระยะห่างไม่เท่ากัน ซึ่งความบิดเบือนนี้พบได้ที่ความยาวคลื่นอื่นๆ บนเส้นโค้งสเปกตรัมรูปเกือกม้าด้วย ความบิดเบือนในการแสดงสีดังกล่าว ทำให้ซีไออีได้สร้างและพัฒนาระบบการวัดสีใหม่ขึ้นมา ซึ่งมีความบิดเบือนในการแสดงสีในแผนภูมิแสดงสีได้น้อยลง โดยระบบการวัดสีใหม่มีอยู่ด้วยกันหลายระบบ โดยระบบการวัดสีใหม่ระบบหนึ่งในหลายๆ ระบบที่ซีไออี สร้างขึ้นในปี พ.ศ.2519 และใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือ "แผนภูมิสีซีไออี แอลสตาร์ เอสตาร์ บีสตาร์ 1976" (1976 CIE L*a*b* Color Space) หรือเรียกย่อๆ ว่า แผนภูมิสีซีแล็บ (CIE L*a*b* Color Space) แผนภูมิซีแล็บนี้เป็นแผนภูมิที่สร้างขึ้นตามทฤษฎีการมองเห็นสีไตรโครมาติก แผนภูมิซีแล็บนี้เป็นภูมิสีสามมิติ ประกอบด้วยแกน 3 แกน L* แกน a* แกน b* ดังแสดงรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 แผนภูมิซีไออี L*a*b* 1976

จากรูป แกน L* แกนที่ใช้แสดงมิติความสว่างสีสัมพัทธ์ของสี มีมาตราอยู่ระหว่าง 0-100 แกน a* เป็นแกนที่ใช้แสดงความเป็นสีแดงและความเป็นสีเขียวของสีโดยส่วนของแกนที่เป็น "+" ใช้เพื่อแสดงความเป็นสีแดง ยิ่งค่า a* มีค่าเป็นบวดมากเท่าไร สีก็จะยิ่งมีความเป็นสีแดงเท่านั้น และส่วน ของแกนที่เป็น "-" ใช้เพื่อแสดงความเป็นสีเขียว ยิ่งค่า a* เป็นลบมากเท่าไร สีก็จะยิ่งมีความเป็นสีเขียวมากขึ้นเท่านั้น แกน b* เป็นแกนที่ใช้แสดงความเป็นสีเหลืองและความเป็นสีน้ำเงินของสีโดยส่วนแกนที่เป็น "+" ใช้เพื่อแสดงความเป็นสีเหลือง ยิ่งค่า b* มีค่าเป็นบวกเท่าไร สีก็ยิ่งมีความเป็นสีเหลืองมากขึ้นเท่านั้นและส่วนของแกนที่เป็น "-" ใช้เพื่อแสดงความเป็นสีน้ำเงิน ยิ่งค่า b* มีค่าเป็นลบมากเท่าใด สีก็จะมีค่าความเป็นสีน้ำเงินมากขึ้นเท่านั้น สำหรับสีเอกรงค์ทั้งหลายเป็นสีที่มีค่า a* และ b* เท่ากับ 0 แต่มีค่า L* แตกต่างกัน โดยสีขาวที่สุดจะมีค่า L* = 100 และสีที่ดำที่สุดจะมีค่า L* = 0 ส่วนสีเทาจะมีสีที่มีค่า L* อยู่ระหว่าง L* สีขาวและ L* สีดำ

ข. ค่าความแตกต่างสี การใช้งานค่าสีในระบบการวัดสีต่างๆ ในลักษณะหนึ่งนอกเหนือไปจากการใช้เพื่อกำเนิดสีก็คือการหาค่าความแตกต่างระหว่างสีสองสีใดๆ เพื่อนำค่าความแตกต่างในการคำนวณได้ไปใช้เป็นเกณฑ์ในการผลิตสี โดยในการผลิตสีที่ต้องการผลิตสีให้มีความใกล้เคียงกับสีมาตรฐาน ก็สามารถนำสีซีไออีของสีมาตรฐานและของสีที่ผลิตได้มาเปรียบเทียบ และคำนวณเป็นตัวเลข แล้วสังเกตุดูว่าด้วยตัวเลขแสดงความแตกต่างดังกล่าว สีที่ผลิตได้มองเห็นแตกต่างจากสีมาตรฐานในการผลิตสีต่อๆ ไป ในระบบการวัดสีซีไออี ค่าความแตกต่างของสองสีใดๆ สามารถคำนวณได้โดยใช้ค่าพิกัดซีแล็บของสีสองสีนั้น มาคำนวณโดยใช้สมการต่อไปนี้

สูตร $\Delta E^*_{ab} = [(L^*_1 - L^*_2)^2 + (a^*_1 - a^*_2)^2 + (b^*_1 - b^*_2)^2]^{1/2}$

$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$

โดยที่ ΔE^*_{ab} คือ ความแตกต่างสีรวมระหว่างสีสองสีใด ๆ

$L_1{}^*a^*_1b^*_1$ คือ ค่าพิกัดสีซีแล็บของสีที่หนึ่ง

$L_2{}^*a^*_2b^*_2$ คือ ค่าพิกัดสีซีแล็บของสีที่สอง

$\Delta L^* \Delta a^* \Delta b^*$ คือ ค่าความแตกต่างระหว่างพิกัดสี $L^* a^* b^*$ ของสีทั้งสอง

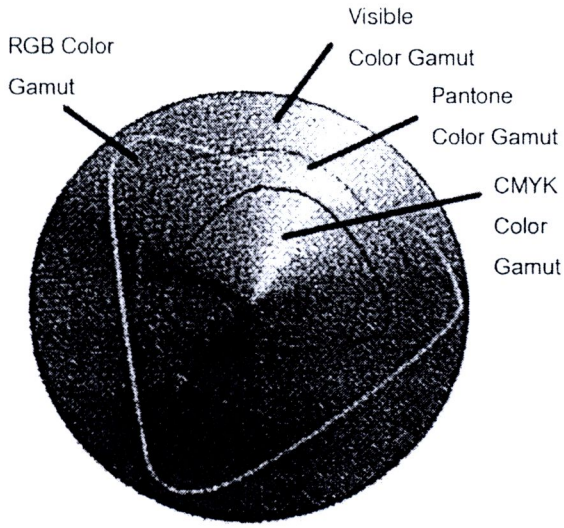
ในการควบคุมคุณภาพงานพิมพ์โดยทั่วไปใช้ค่าความแตกต่างสีร่วมเป็นหลัก ยิ่งความแตกต่างสีรวมระหว่างสีบนแผ่นพิมพ์มาตรฐานกับสีเดียวกันบนแผ่นพิมพ์จริงมีค่าน้อยมากเท่าใด ก็จะมีสีเหมือนกันมากเท่านั้น ในการกำหนดตัวเลขค่าความแตกต่างสีรวมที่จะใช้เป็นค่ามาตรฐานในการควบคุมคุณภาพงานพิมพ์ ว่าควรมีค่าเป็นเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับระดับคุณภาพของงานพิมพ์ที่ต้องการเป็นสำคัญ ถ้าเป็นงานพิมพ์ที่ต้องการคุณภาพสูงก็ต้องกำหนดให้ตัวเลข ค่าความแตกต่างสีรวม เป็นตัวเลขน้อยๆ เช่น 2 หรือ 3 เป็นต้น ส่วนงานพิมพ์ที่ไม่ต้องการคุณภาพมากนักก็สามารถกำหนดให้ตัวเลขค่าความแตกต่างสีรวมมีค่าสูงขึ้นได้จากงานวิจัยอันหนึ่ง พบว่าในการพิมพ์ภาพด้วยความละเอียดสกรีน 150 เส้นต่อนิ้ว โดยใช้แม้พิมพ์พอซิทีฟ บนกระดาษเคลือบผิว ค่าความแตกต่างสีรวมมีค่าประมาณ 5 ซึ่งในสภาวะการพิมพ์ดังกล่าวจัดได้ว่าเป็นการพิมพ์คุณภาพสูง อย่างไรก็ตาม การกำหนดตัวเลขค่าความแตกต่าสีรวมให้มีค่าน้อยเท่าใด ช่างพิมพ์ก็ต้องมีความเอาใจใส่ในการตรวจวัดสีบนแผ่นงานพิมพ์ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์มากขึ้นเท่านั้น หากผลการตรวจวัดสีบนแผ่นงานพิมพ์พบว่าค่าความแตกต่างสีรวมเกินกว่าที่กำหนดไว้ ช่างพิมพ์ก็มีหน้าที่ที่จะต้องปรับการจ่ายหมึกพิมพ์บนเครื่องพิมพ์ใหม่ จนกว่าจะได้ชั้นหมึกที่พิมพ์บนกระดาษได้ถูกต้องและเหมาะสมซึ่งจะทำให้สีพิมพ์จริงเหมือนกับสีมาตรฐานที่ต้องการมากที่สุด

ค. ขอบเขตของสี (Gamut) ขอบเขตสี หมายถึง ความสามารถของแม่สีที่จะผลิตสีได้จำนวนมาก (Colorendering) และมีความบริสุทธิ์ (Purity) สูงสุด ทั้งนี้ต้องสัมพันธ์กับความไวแสงของเซลล์รับแสงในตามนุษย์ด้วย ตามนุษย์มีเซลล์รับแสงที่เรียกว่า Cone Cell อยู่ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มเซลล์ที่ไวต่อแสงสีน้ำเงิน (Blue-Cone Cell) กลุ่มเซลล์ที่ไวต่อแสงสีเขียว (Green-Cone Cell) และกลุ่มที่เซลล์ไวต่อแสงสีแดง (Red-Cone Cell) พบว่าระบบเกิดสีแบบบวกนี้จะให้ขอบเขตของสีมากที่สุด ในกรณีที่แม่สีทั้ง 3 มีความยาวคลื่นเดียว (Monochromatic Wave Length) และจะต้องสัมพันธ์กับความไวแสงของเซลล์รับแสงแต่ละกลุ่มของตามนุษย์เท่านั้น สำหรับการเกิดสีระบบลบนั้นจะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดสภาพของแสงที่จะใช้มองภาพด้วย สิ่งที่หลีกเลี่ยงมาได้คือ สีอาจเปลี่ยนแปลงได้ถ้ามองสีนั้นภายใต้แสงไฟที่แตกต่างกัน เช่น ไฟทังสเตน ไฟฟลูออเรสเซนต์ หรือแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ สมบัติของแม่

สีในอุดมคติจะต้องมีการดูดกลืนและสะท้อนแสงที่เหมาะสมคือ หมึกพิมพ์สีเหลืองควรมีสมบัติดูดกลืนแสงสีน้ำเงินเท่านั้นและสะท้อนแสงสีเขียวกับแสงสีแดงให้เข้าตามนุษย์มองเห็นเป็นสีเหลืองได้ และเช่นเดียวกัน หมึกพิมพ์สีมาเจนต้าควรมีสมบัติดูดกลืนแสงสีเขียวและสะท้อนแสงสีน้ำเงินกับแสงสีแดง ส่วนหมึกสีไซแอนจะต้องดูดกลืนแสงสีแดงและสะท้อนแสงสีน้ำเงินกับแสงสีเขียว

องค์กรระหว่างชาติกำหนดมาตรฐานสี (Commission International Del'Eclairage) หรือที่เรียกย่อๆ ว่า CIE ได้กำหนดไดอะแกรมขอบเขตของธรรมชาติสี (Chromaticity Diagram) มีรูปร่างคล้ายเกือกม้า มีสเกลรอบๆ เป็นค่าความยาวคลื่นของแสง เพื่อกำหนดคุณลักษณะของสีที่เกิดขึ้น (Dominant Wavelength) และเส้นตรงจากสเกลนี้เข้าหาบริเวณศูนย์กลาง ซึ่งเป็นตำแหน่งของกำเนิดแสงที่ใช้มองภาพ จะใช้บอกความบริสุทธิ์ (Purity) ของสีที่เกิดขึ้น สีใดที่เกิดขึ้นใกล้กับเส้นขอบมาก สีนั้นจะมีความบริสุทธิ์มาก

ปัจจุบันการผลิตสีระบบสีบวกสามารถให้ขอบเขตของสีกว้าง และมีความบริสุทธิ์มากกว่าการผลิตระบบสีลบ ทั้งนี้เพราะการผลิตสีระบบหลังมีปัจจัยหลายประการที่เป็นข้อจำกัดอยู่ เช่น สารสีหรือผงสีที่ใช้ในฟิล์มสไลด์ หรือหมึกพิมพ์ไม่มีสมบัติการดูดกลืนและสะท้อนแสงตามอุดมคติดังกล่าวและสมบัติทางแสง (Optical Property) ของกระดาษที่ใช้พิมพ์ได้แก่ ความมันวาว (Gloss) ความขาว (Whiteness) ความสว่าง (Brightness) และการดูดกลืนและสะท้อนแสง (Light Absorption & Reflection) ไม่ดีเท่าที่ควร เป็นต้น ด้วยเหตุผลนี้จึงพอสรุปได้ว่า ทำไมสีบนจอโทรทัศน์, บนฟิล์มสไลด์, บนกระดาษขยายรูปสีและภาพพิมพ์จึงมองแตกต่างกัน



รูปที่ 2.20 แสดงตัวอย่างขอบเขตสี

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Celanese chemicals [10] เป็นบริษัทผลิตพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ ได้รายงานว่า ส่วนประกอบของสารเคลือบที่สำคัญอีกประเภทหนึ่งคือ สารยึดติด เช่น แป้ง กาว แต่สารยึดติดดังกล่าวมีความแข็งแรงในการยึดติดต่ำ เป็นเหตุให้เกิดปัญหาฝุ่นจากสารสีในการเคลือบหรือส่งผลกระทบต่อการดูดซึมหมึกระหว่างพิมพ์ ส่งผลให้คุณภาพงานพิมพ์ไม่ดี จึงมีการนำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มาใช้เป็นสารยึดติด เนื่องจากมีความแข็งแรงต่อการยึดติดสูง เข้ากันได้ดีกับน้ำ เพิ่มความสว่างของกระดาษและให้ค่าความดำของหมึกพิมพ์ดีกว่าแป้ง พอลิไวนิลอัลกอฮอล์ควรเป็นชนิด Fully Hydrolyzed (98.0-98.8% hydrolysis) มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและปานกลาง เพราะน้ำหนักโมเลกุลของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ เป็นตัวควบคุมกำลังในการยึดติดสารสีในสารเคลือบ (Binding power) และกำหนดการไหลของสารเคลือบ การที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำทำให้สามารถเพิ่มซิลิกาได้มากขึ้นและการที่ร้อยละไฮโดรไลซิสของพอลิไวนิลอัลกอฮอล์สูงขึ้นส่งผลให้ความหนืดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนของสารสีต่อสารยึดคงที่ โดยทั่วไปพอลิไวนิลอัลกอฮอล์มีน้ำหนักโมเลกุลปานกลางจะให้ความหนืดดีกว่าน้ำหนักโมเลกุลต่ำ บริษัท Celanese chemicals พบว่าสูตรสารเคลือบที่เหมาะสำหรับการเคลือบด้วยใบมีดหรือแท่งโลหะเคลือบผิวควรมีร้อยละของแข็ง 15-30 มีความหนืดอยู่ในช่วง 200-600 cps ใช้ซิลิกา 100 ส่วนต่อพอลิไวนิลอัลกอฮอล์ 30-50 ส่วน

Hladnik และ Muck [23] ศึกษาสมบัติของสารสีต่อสมบัติกระดาษและงานพิมพ์ โดยใช้ซิลิกาอสัญฐาน แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดตกตะกอน (precipitated calcium carbonate; PCC) เป็นสารสี และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารยึดในการผสมสารเคลือบผิวอิงค์เจ็ทที่ใช้ในการเคลือบผิวกระดาษไฮเอนด์อิงค์เจ็ท และหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารสีทั้ง 2 ชนิด พบว่าปริมาณที่เหมาะสมของสารสี 100% การใช้แคลเซียมคาร์บอเนตจะอยู่ที่ร้อยละ 7-15 และซิลิกาอยู่ที่ร้อยละ 30-40

พิชญดา เกตุเมฆ, สุพิณแสงสุข และกุนทินี สุวรรณกิจ [24] ศึกษาการหาสัดส่วนที่เหมาะสมของซิลิกาเจลและแคลเซียมคาร์บอเนตสำหรับสารเคลือบกระดาษพิมพ์อิงก์เจ็ตโดยวิธีการออกแบบส่วนผสมเชิงสถิติ ได้ทำการสังเคราะห์ซิลิกาจากขี้เถ้าแกลบให้ได้ซิลิกาบริสุทธิ์แล้วนำมาผสมกับองค์ประกอบอื่นๆ ของสารเคลือบ และเคลือบด้วยเครื่องเฟล็กโซกราฟี แล้วพิมพ์ QEA test บนกระดาษเคลือบ หลังจากนั้นนำไปวัดค่าต่างๆ โดยแบ่งเป็นคุณภาพกระดาษและคุณภาพงานพิมพ์ คือวัดค่าความทึบแสง ความมันวาว ความขาวสว่าง ค่าความดำพื้นตาย ค่าสี L* a* b* จากการวิเคราะห์พบว่า แคลเซียมคาร์บอเนตมีผลให้ความขาว ความขาวสว่าง ความมันวาวของกระดาษเพิ่มขึ้น ส่วนซิลิกามีผลทำให้ความสามารถในการดูดซึมหมึกของกระดาษเพิ่มขึ้น หมึกพิมพ์ซึมออกด้านข้างน้อยลง และค่าความดำของหมึกสูงขึ้น ซึ่งอัตราส่วนที่ดีที่สุดของซิลิกาเจลจากเถ้าแกลบ : แคลเซียมคาร์บอเนต : พีวีเอ อยู่ในช่วง 0.65-0.81 : 0.10-0.20 : 0.048-0.21 อัตรส่วนดังกล่าวนี้ให้กระดาษอิงก์เจ็ตที่มีความขาวในช่วง

128-130 ความทึบในช่วง 100-105 ค่าความดำสีไซแอนในช่วง 0.94-0.96 และการซึมออกด้านข้างของหมึกในช่วง 6% - 7%

อนันต์ เขมพาณิชย์กุล [25] ได้ทำการศึกษาการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของซิลิกาดินขาวนราธิวาสและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สำหรับสารเคลือบกระดาษพิมพ์อิงค์เจ็ตโดยใช้วิธีออกแบบส่วนผสมเชิงสถิติเข้ามาช่วย ได้แบบจำลองแสดงผลของสมบัติต่างๆ ในสารเคลือบ เช่น ค่าความดำ ค่าความขาว และค่าร้อยละของการซึมเข้าหากันของหมึก แล้วใช้โปรแกรมมินิแทบคำนวณหาสูตรของสารเคลือบที่ดีที่สุดออกมา พบว่าซิลิกาที่สังเคราะห์ได้จากเถ้าแกลบนั้นเป็นซิลิกา อสัณฐานมีปริมาณรูพรุนและพื้นที่ผิวสูง รูปร่างอนุภาคกลม อนุภาคมีขนาดเล็ก และดินขาวนราธิวาสมีรูปร่างแบนราบ มีพื้นที่ผิวและรูพรุนต่ำ ทำให้ชั้นสารเคลือบไม่สามารถดูดซึมหมึกพิมพ์ได้ดี หมึกพิมพ์กองอยู่ที่ผิวหน้าของชั้นสารเคลือบ และบางส่วนซึมไปตามสารยึดที่หุ้มพื้นผิวของอนุภาคดินขาว จึงทำให้มีค่าความดำสูง คุณภาพของเส้นและตัวอักษรไม่ดี และจากการที่หมึกไม่สามารถซึมลงสู่ผิวหน้าสารเคลือบได้อย่างรวดเร็ว ทำให้หมึกแผ่ออกที่ผิวหน้าของกระดาษ และซึมเข้าหากัน จึงไม่ควรใช้ดินขาวเป็นสารสีเพียงสีเดียวในสารเคลือบ

ฐากูร เบญจบุตร, สาโรช เวโรจน์ และ อนุรักษ์ พินิจนรชัย [18] ศึกษาหาอัตราส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVOH) และซิลิกา (SiO_2) ที่เหมาะสมในการผสมสารเคลือบผิวบนกระดาษคราฟท์ปะหน้าลูกฟูกสำหรับการปรับปรุงคุณภาพงานพิมพ์ปรู๊ฟสีพ่นหมึก เพื่อหาโปรไฟล์ของงานพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟีบนกระดาษสำหรับการจัดการสีงานพิมพ์ในรูปแบบ n-Color ให้ปรู๊ฟสีพ่นหมึกใกล้เคียงกับระบบเฟล็กโซกราฟี โดยใช้ SiO_2 : PVOH (100 : 30, 40, 40) ส่วนโดยน้ำหนัก จากนั้นทำการเคลือบสารลงบนกระดาษคราฟท์สีน้ำตาลอ่อน (KI) น้ำหนัก 150 แกรม และกระดาษคราฟท์สีขาว (KS) น้ำหนัก 170 แกรม โดยใช้แท่งขดลวดเคลือบสารเบอร์ 2 พบว่ากระดาษที่เคลือบสารอัตราส่วนของ SiO_2 : PVOH ที่ 100 : 30 มีปริมาณของแข็งร้อยละ 16 ให้คุณภาพงานพิมพ์พ่นหมึกดีที่สุด สรุปได้ว่างานพิมพ์พ่นหมึกบนกระดาษเคลือบสารมีความใกล้เคียงกับงานพิมพ์เฟล็กโซกราฟีกมากว่ากระดาษที่ไม่เคลือบสาร

จิรานี กุลวรรณวิจิตร [26] ศึกษาผลของซิลิกาจากเถ้าแกลบ ดินขาวนิวซีแลนด์ และแคลเซียมคาร์บอเนตบดต่อสมบัติทางกายภาพและคุณภาพงานพิมพ์ของกระดาษเคลือบผิวอิงก์เจ็ต โดยใช้อัตราส่วนของสารสี (ซิลิกา, ดินขาวนิวซีแลนด์ และแคลเซียมคาร์บอเนต) : สารยึด (พีวีเอ) : สารยึดร่วม (ซีเอ็มซี) เป็น 100:30:2 ในร้อยละของแข็งที่ 22 ซึ่งสัดส่วนของสารสีในการวิจัยนี้ได้ใช้ ซิลิกาจากเถ้าแกลบร้อยละ 50-100, ดินขาวนิวซีแลนด์ร้อยละ0-50 และแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 0-50 และให้สารยึด ตัวทำละลายมีปริมาณคงที่ ผลจากการทดลองสามารถหาสัดส่วนที่เหมาะสมของสารสี

ในสารเคลือบคือ ซิลิการ้อยละ 79-85, ดินขาวนิวซีแลนด์ร้อยละ 8-17 และแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 0.3-11 จะให้ความดำของหมึกพิมพ์ ในช่วง 1.32-1.37 ความขาวอยู่ในช่วง 106-107 ความทึบแสงในช่วง 92-93 และร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกในช่วง 4-4.5 เมื่อพิจารณาผลของสารสีแต่ละชนิดต่อสมบัติต่างๆ พบว่าซิลิกาให้ความขาวสูงขึ้น ค่าความดำของหมึกพิมพ์สูงขึ้น และค่าการซึมเข้าหากันของหมึกต่ำลง ในขณะที่ดินขาวนิวซีแลนด์มีผลต่อน้ำหนักสารเคลือบสูงความทึบแสงสูงขึ้น แต่ความขาวลดลง ส่วนแคลเซียมคาร์บอเนตให้ความขาวสูงขึ้น ร้อยละการซึมเข้าหากันของหมึกพิมพ์สูงขึ้น และค่าความดำของหมึกพิมพ์ลดลง

Chapman [27] ทำการศึกษาสมบัติของซิลิกาสังเคราะห์อสัณฐาน พบว่าซิลิกามีระบบรูพรุน 2 แบบ คือ รูพรุนระหว่างอนุภาค และรูพรุนภายในอนุภาค แบบหลังนี้ทำให้ซิลิกามีความสามารถในการรับหมึกสูง ขณะที่รูพรุนระหว่างอนุภาคของซิลิกาทำหน้าที่ยอมให้ของเหลวไหลผ่านจากพื้นผิวสารเคลือบอย่างรวดเร็ว และมีความสามารถในการรับหมึกได้ สูตรสารเคลือบโดยทั่วไปมีซิลิกาเจลที่มีปริมาตรรูพรุนสูงจึงใช้เวลาในการแห้งตัวสั้น สมบัติของซิลิกาสังเคราะห์อสัณฐานอีกประการหนึ่งคือการแพร่ของหยดหมึกบนสารเคลือบ พบว่าขึ้นกับธรรมชาติทางเคมีของพลังงานผิว ซึ่งสัมพันธ์กับแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์และขึ้นกับปัจจัยอื่นที่สำคัญเช่น ความหยาบและรูพรุนของสารเคลือบ นอกจากนี้การกระจายตัวของขนาดอนุภาคซิลิกาก็เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบของพื้นผิวด้วย สำหรับสารเคลือบที่มีรูพรุนสูง ทำให้หมึกพิมพ์ดูดซึมได้รวดเร็วเป็นผลให้สารสีของหมึกพิมพ์คงอยู่บริเวณผิวของสารเคลือบ การดูดซับตัวทำละลายของหมึกพิมพ์ ทำให้สารสีในหมึกพิมพ์ถูกแยกอยู่ในบริเวณใกล้ผิวสารเคลือบ ขนาดอนุภาคของซิลิกายังมีผลต่อการปรากฏสีพื้นทึบและความหยาบของพื้นผิวที่มีผลต่อความมันวาวภาพพิมพ์

Malla และ Devisetti [28] ทำการทดลองโดยใช้ดินขาวที่มีอนุภาคเล็กขนาด 0.3 ไมโครเมตร เป็นสารสีร่วมกับซิลิกาในการผลิตกระดาษอิงก์เจ็ตชนิดด้าน พบว่าดินขาวสามารถกระจายตัวได้ง่ายที่ร้อยละของแข็งสูง (ประมาณร้อยละ 60) ด้วยค่าความหนืดที่ดี เมื่อผสมดินขาวเข้ากับซิลิกาทำให้ผลิตสารเคลือบได้ที่ร้อยละของแข็งสูงขึ้น และลดปริมาณสารยึดให้ต่ำลงทำให้ความพรุนของชั้นสารเคลือบสูง ทำให้หมึกพิมพ์แห้งตัวได้อย่างรวดเร็ว คุณภาพของเส้น ตัวอักษร และการซึมเข้าหากันของหมึกที่ได้จากการพิมพ์ที่มีสารสีผสมดินขาวและซิลิกาในสารเคลือบให้ผลใกล้เคียงกันกับการใช้ซิลิการ้อยละ 100 นอกจากนี้การใช้ดินขาวเป็นสารสีร่วมยังเป็นการลดปริมาณการใช้ซิลิกาลดลงถึงร้อยละ 50-75