



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

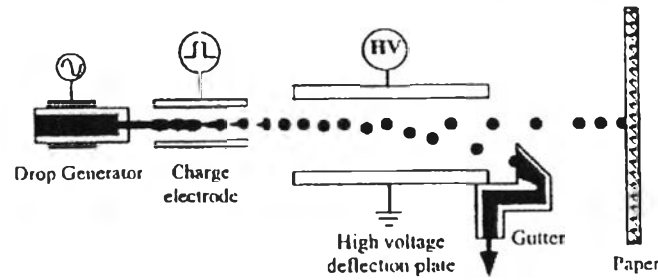
2.1 แนวคิดและทฤษฎี

2.1.1 ระบบพิมพ์อิงค์เจ็ท

ระบบพิมพ์อิงค์เจ็ทเป็นระบบพิมพ์ไร้สัมผัส (nonimpact printing) โดยหมึกพิมพ์ถูกพ่นออกจากหัวพิมพ์ที่มีรูขนาดเล็กมากจำนวนมาก ก่อตัวเกิดเป็นรูปร่างหยดหมึกพุ่งตรงไปสู่วัสดุพิมพ์ เพื่อสร้างภาพ Lord Rayleigh ค้นพบหลักการดังกล่าวเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1878 [Walter, 1991] การพิมพ์อิงค์เจ็ทสำหรับงานสิ่งทอ ซึ่งนิยมพิมพ์บนพรมมาก่อน ปัจจุบันสามารถพิมพ์บนวัสดุสิ่งทอได้แทบทุกชนิด ได้ผลิตเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ทสำหรับงานพิมพ์สิ่งทอในปี ค.ศ. 1998 [วิมลรัตน์ ศรีจรัสสิน, 2550] ซึ่งมีระบบการทำงานคล้ายกับเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ทพิมพ์กระดาษโดยทั่วไป แต่มีขั้นตอนการพิมพ์บนสิ่งทอต่างจากการพิมพ์อิงค์เจ็ททั่วไป คือ เพิ่มขั้นตอนก่อนพิมพ์เพื่อทำความสะอาดและปรับสภาพผิวผ้าให้สามารถดูดซึมหมึกพิมพ์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด และขั้นตอนหลังพิมพ์เพื่อให้หมึกพิมพ์ยึดติดคงทนได้ดี โดยอาศัยความร้อน ความดัน หรือให้ความชื้น และการทำความสะอาดซักล้างสารปรับสภาพผิวในขั้นตอนการพิมพ์และองค์ประกอบของหมึกพิมพ์ที่ไม่ยึดติดบนสิ่งทอออก เทคโนโลยีที่สำคัญของระบบพิมพ์อิงค์เจ็ทแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ เทคโนโลยีพ่นหมึกแบบต่อเนื่อง (continuous ink jet หรือ CIJ) และแบบพ่นหมึกทีละหยด (drop on demand ink jet หรือ DOD) [Freire, 2006]

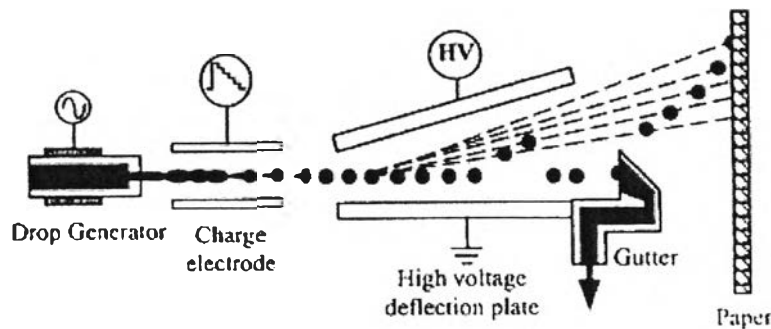
2.1.1.1 เทคโนโลยีพ่นหมึกแบบต่อเนื่อง (CIJ)

เทคโนโลยีพ่นหมึกแบบต่อเนื่อง โดยทั่วไปใช้แผ่นผลึกไพเอโซ (piezo crystal) ในการพ่นหมึกพิมพ์ อาศัยหลักการเบี่ยงเบนของหยดหมึกพิมพ์ (drop deflection) แบ่งได้เป็น 2 ระบบ คือ binary-deflection และ multiple-deflection [Le, 1998] หยดหมึกในระบบ binary-deflection ถูกสร้างแบบต่อเนื่อง เมื่อผ่านไปยังขั้วอิเล็กโทรดที่มีประจุ (charge electrode) หมึกพิมพ์จะถูกทำให้มีประจุ และมีบางส่วนที่ไม่ถูกทำให้มีประจุ หมึกพิมพ์ที่มีประจุไม่ถูกเบี่ยงเบนให้เคลื่อนที่ไปสร้างภาพยังวัสดุพิมพ์ ส่วนหมึกที่ไม่มีประจุและเบี่ยงเบนออกจากแนวการพิมพ์จะถูกรวบรวมและเก็บลงในท่อเก็บหมึก (gutter) ซึ่งนำมาใช้หมุนเวียนใหม่ ดังภาพที่ 2.1 [Le, 1998]



ภาพที่ 2.1 กระบวนการการพ่นหมึกแบบต่อเนื่อง ชนิด binary-deflection system

ระบบ multiple-deflection แตกต่างจากระบบ binary-deflection คือ ระบบ multiple-deflection หมึกพิมพ์ที่ถูกทำให้มีประจุจะถูกเหนี่ยวนำให้เคลื่อนที่ไปสร้างภาพยังวัสดุพิมพ์ ซึ่งจะมีระดับการเบี่ยงเบนหลายระดับ ดังภาพที่ 2.2 [Le, 1998]



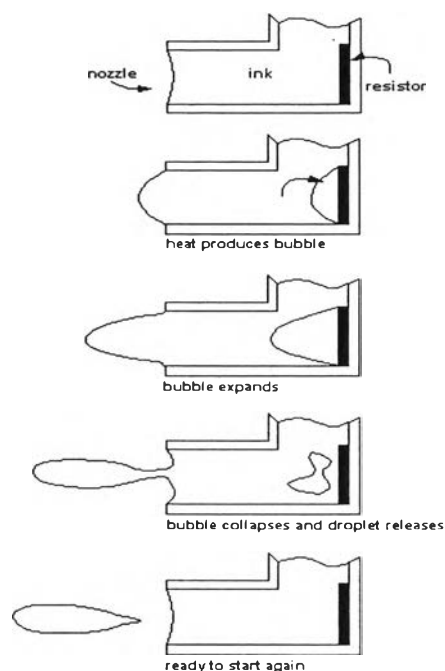
ภาพที่ 2.2 กระบวนการการพ่นหมึกแบบต่อเนื่อง ชนิด multiple-deflection system

2.1.1.2 เทคโนโลยีแบบพ่นหยดหมึกตามความต้องการ (drop on demand, DOD)

เครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ทชนิดพ่นหยดหมึกตามความต้องการ จะสร้างหยดหมึกขึ้นทีละหยด พ่นและพิมพ์เป็นภาพบนวัสดุพิมพ์โดยไม่มีกระบวนการเบี่ยงเบนหยดหมึกที่สร้างขึ้น แตกต่างจากเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ทชนิดพ่นหมึกแบบต่อเนื่อง ที่สร้างหยดหมึกพิมพ์ต่อเนื่อง หมึกพิมพ์เพื่อสร้างภาพบนวัสดุพิมพ์และเบี่ยงเบนหยดหมึกที่ไม่เกิดภาพ เทคโนโลยีของเครื่องพิมพ์ชนิดพ่นหมึกตามความต้องการ แบ่งตามวิธีการพ่นหมึกพิมพ์ที่นิยมใช้ในปัจจุบันแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ประเภทใช้ความร้อน (thermal ink jet หรือ TIJ) นิยมเรียกว่า บับเบิลเจ็ท (bubble jet) และประเภทใช้แผ่นสลิคไพเอโซ (Piezoelectric ink jet หรือ PIJ)

เครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ทแบบพ่นหมึกตามความต้องการ ประเภทใช้ความร้อน ประกอบด้วยกระบวนการการพ่นหมึกดังภาพที่ 2.3 ซึ่งแสดงส่วนปลายของหัวพ่นหมึกพิมพ์ (nozzle) ทั่วไปมีขนาดระหว่าง 10-100 ไมโครเมตร บรรจุหมึกพิมพ์อยู่ใน ผนังด้านหนึ่งเคลือบด้วยแผ่นฟิล์มบาง ๆ ทำหน้าที่คล้าย resistor บนสารไวความร้อน แผ่นฟิล์มนี้ต่อเชื่อมกับลวดนำไฟฟ้า ภายหลัง

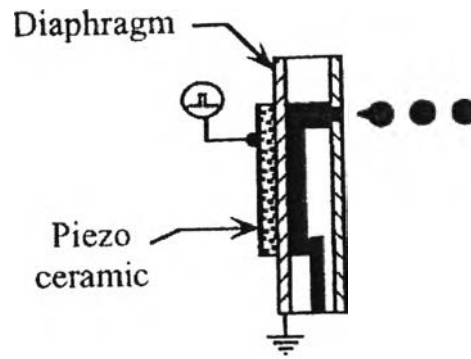
ที่แผ่นฟิล์มได้รับสัญญาณไฟฟ้าประมาณ 1 ไมโครวินาที หมึกพิมพ์ที่ติดกับบริเวณแผ่นฟิล์ม เริ่มร้อนและเดือด เนื่องจากได้รับความร้อนมากกว่า 290 องศาเซลเซียส และเกิดเป็นฟองอากาศขนาดเล็ก ๆ ภายในเวลาประมาณ 2 ไมโครวินาที พบว่า หมึกพิมพ์ที่บริเวณปลายหัวพ่นเริ่มพองตัวออก เมื่อเวลาประมาณ 15 ไมโครวินาที ฟองอากาศภายในขยายขนาดใหญ่ที่สุดจนกระทั่งเวลา 25-40 ไมโครวินาที หยอดหมึกพิมพ์ถูกพ่นจากหัวพ่นอย่างสมบูรณ์ ฟองอากาศภายในยุบตัว และระบบเดิม หมึกพิมพ์เข้ามาอย่างสมบูรณ์ รวมเวลาการพ่นหมึกพิมพ์หลังจากได้รับสัญญาณไฟฟ้าแล้วประมาณ 150 ไมโครวินาที



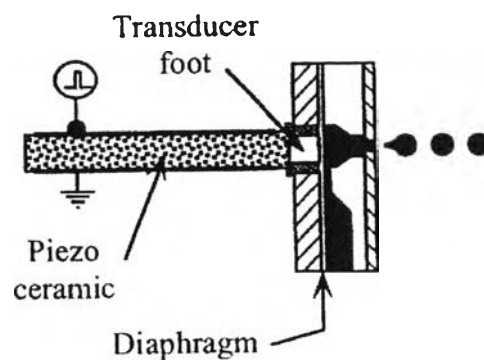
ภาพที่ 2.3 กระบวนการแบบพ่นหมึกตามต้องการ ประเภทใช้ความร้อน (thermal ink jet)

[<http://dictionary.zdnet.com/definition/inkjet+printer.html>]

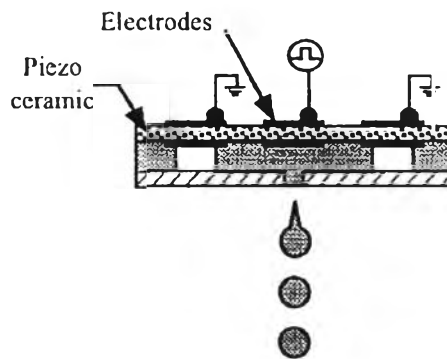
เครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ทแบบพ่นหมึกตามต้องการประเภทใช้แผ่นผลึกไพเอโซโซ ทั้งหมดผลิตจาก เลดเซอร์โคเนตไททานเนต (lead zirconate titanate หรือ PZT) หลักการทำงานคือจะพ่นหมึกพิมพ์ขึ้น หลังจากผลึกไพเอโซโซได้รับสัญญาณไฟฟ้าและเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เกิดแรงดันให้หมึกพิมพ์พ่นออกจากหัวพ่น สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิดแตกต่างกันตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงแผ่นผลึกไพเอโซโซคือ ชนิด bend-mode piezoelectric แผ่นผลึกไพเอโซโซโค้งงอ ชนิด push-mode piezoelectric แผ่นผลึกไพเอโซโซขยายตัว และชนิด shear-mode piezoelectric แผ่นผลึกไพเอโซโซเปลี่ยนรูปร่างเนื่องจากได้รับแรงเสียดกันหมึกพิมพ์ให้พ่นออกจากหัวพ่นหมึกพิมพ์ ดังภาพที่ 2.4-2.6 [Le, 1998] ตามลำดับ



ภาพที่ 2.4 Bend-mode piezoelectric



ภาพที่ 2.5 Push-mode piezoelectric



ภาพที่ 2.6 Shear-mode piezoelectric

2.1.2 หมึกพิมพ์อิงค์เจ็ท

2.1.2.1 ลักษณะและสมบัติของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ท

หมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทมีความหนืดต่ำ ทั่วไปมีความหนืดประมาณ 0.05–1 พาสคัล วินาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีลักษณะการไหลใกล้เคียงการไหลของของเหลวนิวโทเนียน (Newtonian) คือ รักษาสภาพความหนืดให้คงตัว เมื่อมีแรงเฉือนมากกระทำแก่หมึกพิมพ์ มีสภาพเป็น

เบส pH อยู่ในช่วง 7.5-9 ค่าแรงดึงผิวของหมึกพิมพ์อยู่ในช่วง 35-60 มิลลินิวตันต่อเมตร มีขนาดอนุภาคสารสีที่ต่ำกว่าขนาด 200 นาโนเมตร และอนุภาคของสารสีต้องไม่เกิดการรวมกลุ่มเพื่อไม่ให้เกิดการอุดตันหัวพิมพ์

2.1.2.2 องค์ประกอบของหมึกพิมพ์อิงก์เจ็ต

1. สารให้สี (colorants) จำแนกได้ 2 ชนิด คือ สารสี (pigment) หรือ สีย้อม (dyestuff) หมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตเมื่อแบ่งตามชนิดของสารให้สีสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

1.1 หมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตชนิดสีย้อม (dye-based ink) คือ หมึกพิมพ์ที่ใช้สีย้อม (dye) เป็นองค์ประกอบ ข้อดีคือให้สีสดใส มีขอบเขตสีกว้าง แต่ข้อเสียคือ สีย้อมไม่ทนแสง ทำให้มีความต้านทานต่อแสงต่ำ สีซีดได้ง่าย

1.2 หมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตชนิดสารสี (pigment-based ink) คือ หมึกพิมพ์ที่ใช้สารสี (pigment) เป็นองค์ประกอบ ทั่วไปสารสีไม่ละลายในตัวทำละลายใด ๆ ดังนั้น หมึกพิมพ์อิงก์เจ็ตที่ใช้สารสีเป็นสารให้สี จึงมีอนุภาคของสารสีผสมอยู่ ทำให้ได้ขนาดเม็ดหมึกพิมพ์ที่ใหญ่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้สีสดใสไม่สดใส ทำให้ขอบเขตสีและความเข้มสีต่ำ และมีแนวโน้มในการจับตัวเป็นก้อน (agglomerate หรือ aggregate) ก่อให้เกิดปัญหาการอุดตันที่หัวพิมพ์ได้ง่าย แต่หมึกพิมพ์ที่ได้มีความทนแสง มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

2. ตัวทำละลาย (solvent) กรณีหมึกพิมพ์ฐานน้ำ คือ น้ำ เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งมีสัดส่วนมากที่สุด ทำหน้าที่ละลายและพาองค์ประกอบต่าง ๆ ไปสู่หัวพิมพ์ เมื่อพิมพ์หมึกพิมพ์ลงวัสดุพิมพ์ตัวทำละลายบางส่วนจะถูกดูดซึมลงในวัสดุพิมพ์ที่มีรูพรุน หรือบางส่วนจะระเหยออก ตัวทำละลายป้องกันการจับตัวเป็นก้อน (agglomerate หรือ aggregate) และทำให้เกิดการอุดตัน (clogging) ซึ่งก็คือ องค์ประกอบต่าง ๆ แยกตัวออกจากน้ำเป็นชั้น น้ำที่เหมาะสมที่สุด ต้องเป็นน้ำที่ปราศจากไอออน (de-ionized water)

3. ตัวทำละลายร่วม (co-solvent) ทำหน้าที่ควบคุมการแห้งตัว การระเหยของหมึกพิมพ์และนำพาองค์ประกอบต่าง ๆ ของหมึกพิมพ์ลงสู่หัวพิมพ์ ส่วนใหญ่เป็นแอลกอฮอล์หรือไกลคอล ได้แก่ เอทานอล ไดเอทิลีนไกลคอล และเอทิลีนไกลคอล เป็นต้น

4. สารช่วยการกระจาย (dispersant) ทำหน้าที่กระจายสารสีในหมึกพิมพ์ และป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคของสารสีที่เป็นสาเหตุการเกิดอุดตันของหัวพิมพ์

5. สารยึด (binder) ทำหน้าที่ช่วยการยึดติดของสารสีในหมึกพิมพ์ ทำให้หมึกพิมพ์ยึดติดกับวัสดุพิมพ์และทำให้สารสีกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

6. สารป้องกันการแห้งตัว (humectants) มีหน้าที่ช่วยป้องกันการแห้งตัวของหมึกพิมพ์ในระหว่างการพิมพ์ผ่านหัวพิมพ์

7. สารลดแรงตึงผิว (surfactant) มีหน้าที่ช่วยปรับแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ให้สามารถไหลออกจากหัวพิมพ์ สร้างตัวเป็นหยดหมึกพิมพ์ได้ และสามารถซึมผ่านวัสดุพิมพ์ได้ดี

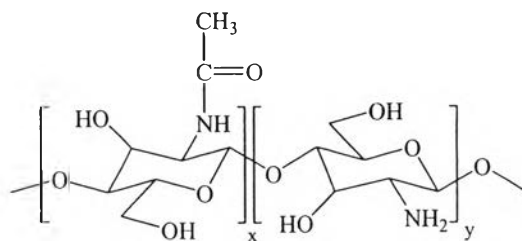
8. สารปรับค่าความเป็นกรด-เบส (pH adjusting agents) เป็นสารที่ช่วยปรับค่าความเป็นกรด-เบสให้เหมาะกับระบบพิมพ์ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 7.5-9

9. สารเติมแต่ง (additives) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและคุณภาพของหมึกพิมพ์ให้ดีขึ้น เช่น สารลดการเกิดฟองซึ่งช่วยป้องกันการเกิดฟองอากาศในระหว่างการเตรียมหมึกพิมพ์ สารชีวขนาดช่วยป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและรา สารปรับความหนืดช่วยในการปรับสมบัติการไหล ทำให้การพ่นหมึกพิมพ์ดีและมีความแม่นยำมากขึ้น

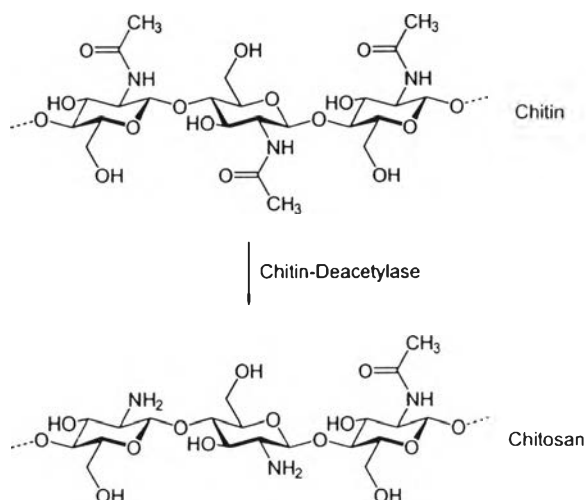
องค์ประกอบทั่วไปของหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทฐานน้ำ มีส่วนประกอบหลักคือ น้ำ ซึ่งปราศจากไอออนอื่น ร้อยละ 60-90 ตัวทำละลายที่ไม่เกิดการตกตะกอนกับน้ำ ช่วยควบคุมการระเหยของหมึกพิมพ์ร้อยละ 5-30 สารให้สีชนิดสีย้อมหรือสารสีร้อยละ 1-10 สารลดแรงตึงผิวช่วยทำให้หมึกพิมพ์เปียกผิววัสดุใช้พิมพ์ และสามารถแทรกซึมผ่านได้ร้อยละ 0.1-10 ใสสารปรับค่าความเป็นกรด-เบสเพื่อควบคุมให้ค่า pH คงตัวปริมาณร้อยละ 0.1-0.5 สารกันเสียได้แก่ สารชีวขนาด ป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย หรือ เชื้อจุลินทรีย์ ปริมาณที่ใส่ร้อยละ 0.05-1 และสารเติมแต่งอื่น ๆ ปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 1 เพื่อเพิ่มคุณภาพของหมึกพิมพ์ได้ เช่น สารป้องกันการเกิดฟอง การเพิ่มการละลาย

2.1.3 ไคติน-ไคโทซาน

ไคโทซานเป็นสารประเภทแอมิโนพอลิแซ็กคาไรด์ (amino polysaccharide) ดังแสดงในภาพที่ 2.7 ได้จากกระบวนการกำจัดหมู่แอซิติล (deacetylation) ของไคติน ดังภาพที่ 2.8 ซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ธรรมชาติเกิดจากมอนอเมอร์ชนิดเดี่ยวของ 1-4 linked 2-acetamido-2-deoxy- β -D-glucopyranose ค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1811 โดย Braconnot [Hudson และ Jenkins, 2002] ไคโทซานมีประโยชน์หลากหลายมากด้าน เนื่องจากมีสมบัติที่เฉพาะเจาะจง เช่น สมบัติการต้านจุลชีพ (antimicrobial activity) ไม่เป็นพิษ (non-toxicity) ย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ (biodegradability) โครงสร้างของไคโทซานคล้ายคลึงกับเซลลูโลส แตกต่างกันที่ตำแหน่งหมู่ไฮดรอกซิลถูกแทนที่ด้วยหมู่แอมิโน Rouget [Hennen, 1996] ค้นพบไคโทซานเป็นคนแรกโดยบังเอิญในปี ค.ศ. 1859 โดยต้มไคตินในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น



ภาพที่ 2.7 สูตรโครงสร้างของไคโทซาน [Hudson และ Jenkins, 2002]



ภาพที่ 2.8 การกำจัดหมู่แอสีทิลของไคทิน

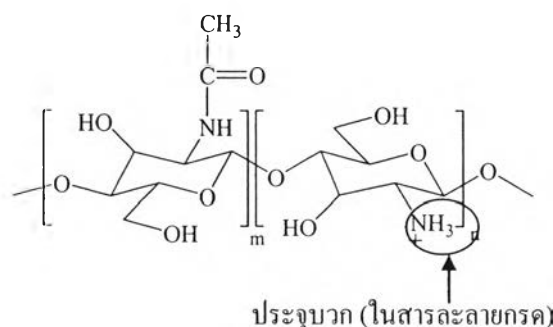
[http://www.material.chula.ac.th/CCB/enCCB/en_Info_Corner.html]

2.1.3.1 ระดับขั้นการกำจัดหมู่แอสีทิลของไคทิน (degree of deacetylation) เนื่องจากโครงสร้างไคโทซานเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่าง เอ็น-แอสีทิล-ดี-กลูโคซามีน (N-acetyl-D-glucosamine) กับ ดี-กลูโคซามีน (D-glucosamine) โดยหน่วยแรกแสดงสมบัติความเป็นไคทิน หากสัดส่วนโคพอลิเมอร์ของหน่วยย่อยแรกมากกว่าคือ ค่าระดับขั้นการกำจัดหมู่แอสีทิลต่ำ สารนั้นแสดงสมบัติของไคทิน หากระดับขั้นการกำจัดหมู่แอสีทิลมีค่าประมาณร้อยละ 50 ขึ้นไป เรียกสารนั้นว่า ไคโทซาน ไคโทซานโดยทั่วไปมีค่าระดับขั้นการกำจัดหมู่แอสีทิลประมาณร้อยละ 70-95 ถ้าระดับขั้นการกำจัดหมู่แอสีทิลมีค่าเป็นร้อยละ 90-100 เรียกว่า การกำจัดหมู่แอสีทิลสมบูรณ์ (full deacetylation)

2.1.3.2 การละลายของไคโทซาน

ไคโทซานไม่ละลายในน้ำ ค่าง หรือ เบส และตัวทำละลายอินทรีย์ แต่สามารถละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มี pH น้อยกว่า 6 หมู่แอมีน ($-NH_2$) ไปจับโปรตอนที่อยู่ในสารละลายกรดได้เป็นแคตไอออน ($-NH_3^+$) เกิด protonation (ดังภาพที่ 2.9) เกิดเป็นสารละลายที่มีลักษณะข้นเหนียว เป็นสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ (polyelectrolyte) ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยากับ โมเลกุล หรือ วัตถุที่มีประจุตรงข้าม เนื่องจากหมู่แอมิโนปฐมภูมิ (primary amino) แสดงสมบัติความเป็นแคตไอออนิก สามารถดึงดูดประจุตรงข้ามของสารสี [Oktem, 2003]

สมบัติของการละลายของไคโทซานขึ้นกับสองปัจจัยที่สำคัญ คือ ระดับขั้นการกำจัดหมู่เอซีทิล (degree of deacetylation) และ น้ำหนักโมเลกุล ไคโทซานที่ประกอบด้วยหมู่แอมิโนอย่างน้อยร้อยละ 50 สามารถละลายในสารละลายของน้ำได้ในกรดอินทรีย์ ไคโทซานที่มีค่าระดับการกำจัดหมู่เอซีทิลสูงที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัว (pK_a) ของหมู่แอมิโนประมาณ 6.5 พบว่า สามารถละลายได้สมบูรณ์ ในกรดอินทรีย์มีค่า pH ต่ำกว่า 6 ในไคโทซานที่มีหมู่เอซีทิลมากขึ้น นอกจากนี้ น้ำหนักโมเลกุลมีผลต่อการละลายคือ การละลายของไคโทซานลดลงเมื่อเพิ่มน้ำหนักโมเลกุล



ภาพที่ 2.9 โครงสร้างทางเคมีของไคโทซาน เมื่ออยู่ในสารละลายกรด

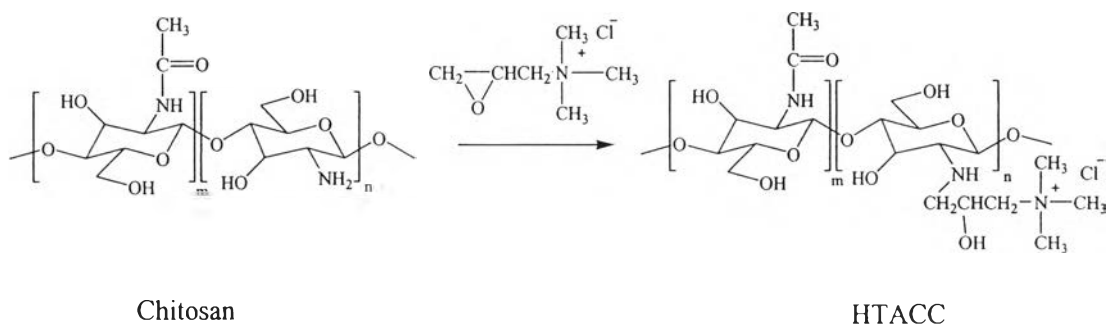
2.1.3.3 การใช้ไคโทซานในงานสิ่งทอ

ไคโทซานเป็นสารพอลิเมอร์ธรรมชาติ เข้ากันได้กับสารอื่นจากธรรมชาติ ไม่เป็นพิษ เมื่อนำไคโทซานละลายในกรด เกิดเป็นสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ สามารถดึงดูดประจุตรงข้ามได้ ทำให้ไคโทซานช่วยดูดซับสารสี หรือ สีย้อม ทำให้เพิ่มความเข้มสี (colour strength) ในการปรับสภาพผิวผ้า หรือ ในการย้อมสีของสีย้อมได้ นอกจากนี้ ไคโทซานยังมีสมบัติต้านจุลชีพ (antimicrobial activity) เมื่อนำมาเคลือบหรือผสมในเส้นใยเพื่อต้านการเจริญเติบโตของเชื้อรา แบคทีเรีย ยีสต์ได้

2.1.3.4 ไคโทซานดัดแปร

1. ไคโทซานละลายน้ำชนิด เอ็น-2-ไฮดรอกซี-3-ไทรเมทิลแอมโมเนียมพอรอพิลไคโทซานคลอไรด์ (N-[(2-hydroxy-3-trimethylammonium) propyl]chitosan chloride; HTACC)

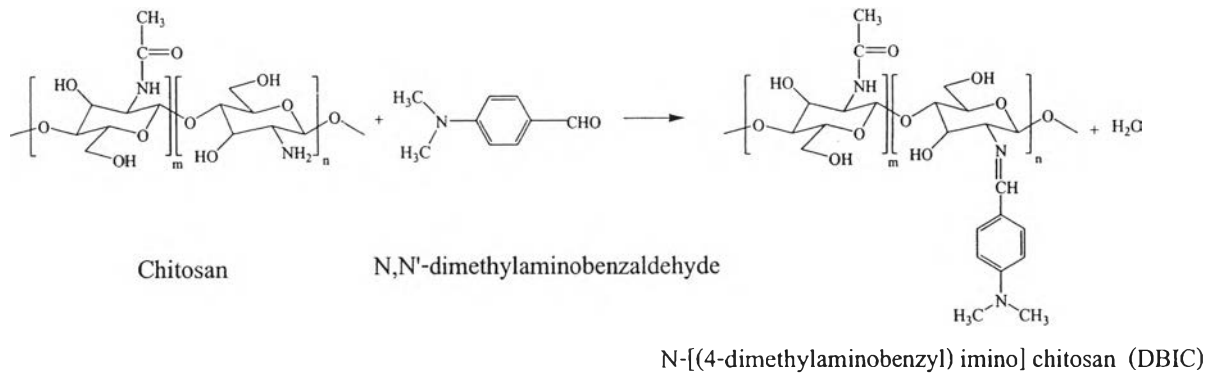
การดัดแปรไคโทซานเพื่อให้ละลายน้ำนั้น ทำได้ด้วยการใช้ไกลซิดิลไทรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (glycidyltrimethylammonium chloride; GTMAC) ทำปฏิกิริยากับไคโทซาน (ดังรูปที่ 3) ได้ผลิตภัณฑ์เป็น เอ็น-2-ไฮดรอกซี-3-ไทรเมทิลแอมโมเนียมพอรอพิลไคโทซานคลอไรด์ (N-[(2-hydroxy-3-trimethylammonium) propyl]chitosan chloride; HTACC) [Kim และคณะ, 2003; Lim และ Hudson, 2004] ดังภาพที่ 2.10 โดยตำแหน่งหมู่เอมีโนของไคโทซานเกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้ไคโทซานดัดแปร มีสีขาวและละลายน้ำได้ แตกต่างจากไคโทซานที่มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองและละลายได้ในกรด นอกจากนี้ ไคโทซานดัดแปร HTACC นี้สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิด *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ได้ดีมากขึ้นด้วย



ภาพที่ 2.10 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไคโทซานดัดแปร HTACC [Lim และ Hudson, 2004]

2. ไคโทซานชนิด เอ็น-4-ไดเมทิลเอมีโนเบนซิลอิมิโนไคโทซาน ((N-[(4-dimethyl aminobenzyl) imino] chitosan) หรือ DBIC)

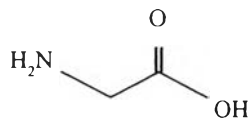
ดัดแปรไคโทซานด้วยวิธีฟลักซ์ไคโทซานกับไดเมทิลเอมีโนเบนซิลดีไฮด์ ในตัวทำละลายเมทานอลเป็นเวลา 10 ชั่วโมง ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไคโทซาน เอ็น-4-ไดเมทิลเอมีโนเบนซิลอิมิโนไคโทซาน (N-[(4-dimethyl aminobenzyl) imino] chitosan) ดังภาพที่ 2.11 หมู่แอลดีไฮด์ของไดเมทิลเอมีโนเบนซิลดีไฮด์เข้าทำปฏิกิริยากับหมู่เอมีน เกิดเป็นพันธะคู่ของอิมิน (C=N) วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยวิธีเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี [Hakeim และคณะ, 2008]



ภาพที่ 2.11 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไคโทซานดัดแปร DBIC [Hakeim และคณะ, 2008]

2.1.4 ไกลซีน

ไกลซีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ มีสูตรโมเลกุล NH₂CH₂COOH มีสมบัติเป็นกลางและไม่มีขั้ว มวลโมเลกุลเท่ากับ 75.07 จุดไอโซอิเล็กทริก (pI) คือ 6.1 [Morrison และ Boyd, 1992] โครงสร้างทางเคมีของไกลซีนแสดงดังภาพที่ 2.12 ไกลซีนสามารถใช้ปรับสภาพผิวหนังไหมโดยเมธาวิและคณะ [2549] พบว่า ฝ้าไหมที่ปรับสภาพผิวหนังด้วยสารละลายไกลซีน สารละลายไกลซีนผสมไคโทซาน สารละลายไคโทซาน นำมาพิมพ์ด้วยระบบอิงก์เจ็ต ทำให้คุณภาพภาพพิมพ์ดีขึ้น สีสดสดใส และตัวอักษรคมชัดขึ้นกว่าฝ้าไหมที่ไม่ปรับสภาพผิวหนัง



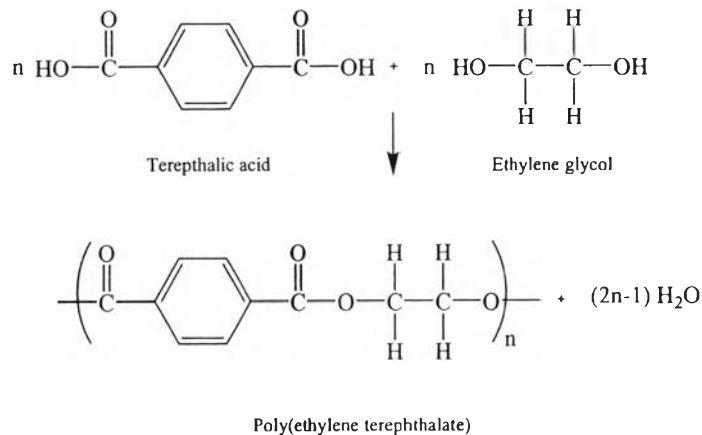
ภาพที่ 2.12 โครงสร้างทางเคมีของไกลซีน

2.1.5 ฝ้าพอลิเอสเตอร์

ฝ้าพอลิเอสเตอร์ประกอบขึ้นจากเส้นใยสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์ ที่ใช้ชื่อทางการค้า 2 ชื่อ โดยบริษัท Imperial Chemical Industries (ICI) ในอังกฤษใช้ชื่อว่า Terylene ส่วน DuPont Corporation ในสหรัฐอเมริกาใช้ชื่อว่า Dacron พอลิเอสเตอร์ภายใต้ชื่อการค้าทั้งสองเป็น พอลิเอทิลีนเทเรทาเลต [poly(ethylene terephthalate); PET]

ขั้นตอนการผลิตเส้นใยพอลิเอสเตอร์ชนิด PET ประกอบด้วยสารตั้งต้นสองชนิดคือ เอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol) และ เทเรทาติกแอซิด (terephthalic acid) ดังแสดงในรูปที่ 2.13 การผลิตเส้น

ใยเป็นแบบ melt spinning คือเมื่คพอลิเมอร์ถูกหลอมภายใต้อุณหภูมิสูงและถูกยืดออกประมาณ 5 เท่าของความยาวเดิมเพื่อเพิ่มการจัดเรียงตัว โมเลกุล



รูปที่ 2.13 ปฏิกริยาสังเคราะห์ PET [Carr, 1995]

เส้นใยพอลิเอสเตอร์มีความแข็งแรงและทนทานสูง มีค่าความทนต่อแรงดึง ๓ จุดขาด 4.5-5.0 g/denier มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.38 ทนต่อแรงขีดถูของเส้นใยดี เส้นใยมีความยืดหยุ่นปานกลาง เส้นใยค่อนข้างแข็ง แต่สามารถคืนตัวได้ง่าย จึงไม่ยับง่าย มีความสามารถคงรูปดีมาก จัดรูปได้ง่าย ทนความร้อนดีกว่าผ้าอะคริลิก พอลิเอสเตอร์ไม่ดูดซึมน้ำ มีค่าการดูดซึมน้ำความชื้นค่อนข้างต่ำมาก มีค่า 0-0.4% ภายใต้ภาวะมาตรฐาน ทำให้ผ้าที่ทอจากเส้นใยนี้แห้งเร็ว ไม่เปื้อกน้ำง่าย แต่ถ้าเปื้อนสารจำพวกน้ำมันหรือไขมันจะทำความสะอาดยาก เส้นใยพอลิเอสเตอร์ทนต่อแมลงและราได้ดี ทนต่อแสงแดดได้ดีภาวะปกติ แต่ถ้าถูกแสงแดดโดยตรงเป็นเวลานาน ๆ จะทำให้เส้นใยเสื่อมสภาพได้ มีความทนต่อกรดและด่างได้ดีภาวะปกติ แต่ถ้าอุณหภูมิสูง กรดซัลฟิวริกจะทำให้เส้นใยเสื่อมสภาพได้ และที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเส้นใยถูกทำลายได้ด้วยเบสแก่ พอลิเอสเตอร์มีค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้ว (glass transition temperature) ประมาณ 227-242 องศาเซลเซียส และเริ่มหลอมที่อุณหภูมิ 250-290 องศาเซลเซียส จึงไม่ควรรีดด้วยอุปกรณ์ที่มีอุณหภูมิสูงมากกวานี้ [วิมลรัตน์ ศรีจรัสสิน, 2550]

ผ้าพอลิเอสเตอร์มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic substrates) โครงสร้างอัดตัวแน่น เกิดเป็นโครงสร้างผลึก (crystalline) เส้นใยพอลิเอสเตอร์มีโครงสร้างผลึกประมาณ 65-85% มีระดับพอลิเมอร์ไรเซชันตั้งแต่ 115-140 พันธะส่วนใหญ่คือ แรงวัลเดอร์วาลส์ และมีพันธะไฮโดรเจนอ่อน ๆ ระหว่างหมู่คาร์บอนิลและหมู่เมทิลีน เส้นใยพอลิเอสเตอร์ไม่มีหมู่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (active group) ทำให้สีย้อมซึมเข้าสู่เส้นใยเพื่อย้อมติดได้ยาก สีย้อมที่เหมาะสมสำหรับผ้าพอลิเอสเตอร์คือ สีย้อมชนิดดิสเพิร์ส (disperse dye)

สีย้อมชนิดคิสเพิร์สเป็นสารสีชนิดไม่มีขั้ว (non-ionic dye) แยกตัวเป็นอนุภาคขนาดเล็กแขวนลอยในสารละลาย ละลายน้ำค่า ทั่วไปใช้ย้อมสีนี้กับผ้าชนิดไนลอนเซลลูโลส อะคริลิก และส่วนมากย้อมกับผ้าพอลิเอสเตอร์ การย้อมสีของผ้าพอลิเอสเตอร์ด้วยสีย้อมชนิดคิสเพิร์ส เนื่องจากเป็นเส้นใยชนิดที่ไม่ชอบน้ำ น้ำจึงเป็นตัวกลางเพื่อกระจายสีย้อมให้แพร่เข้าไปภายในเส้นใย และยังเป็นตัวกลางกระจายความร้อนในระบบการย้อม ณ อุณหภูมิประมาณ 130 องศาเซลเซียส ภายใต้อุณหภูมิ ความดัน ซึ่งทำให้โครงสร้างพอลิเมอร์คลายตัว ความเป็นผลึกลดลง เกิดช่องว่างให้สารสีซึมเข้าสู่โมเลกุลของเส้นใยได้ เกิดปฏิกิริยาระหว่างสารสีกับเส้นใย โดยอาจเกิดแรงแวนเดอร์วาลส์ หรือแรงไดโพล

2.1.6 ขั้นตอนการเตรียมผ้าใยสังเคราะห์ก่อนการพิมพ์หรือการย้อมสี

เนื่องจากเส้นใยสังเคราะห์มีสิ่งเจือปนจำพวกน้ำมันและสารต้านไฟฟ้าสถิตจากขั้นตอนการปั่นด้าย หรือการถักผ้า และแป้งที่อยู่ในด้ายยืนที่ช่วยในการทอ ดังนั้น ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยก่อนการพิมพ์หรือการย้อมคือ การกำจัดสิ่งสกปรกหรือสารที่ติดบนเส้นใย หรือการทำความสะอาดของเส้นใย ประกอบด้วยวิธี 2 ดังนี้

2.1.6.1 การกำจัดแป้ง (desizing) และการทำความสะอาด (scouring)

โดยทั่วไปวิธีที่สะดวกและให้ผลดีในการกำจัดแป้งคือ ใช้เอนไซม์ หากแป้งสามารถละลายน้ำได้ ใช้ล้างออกด้วยสารซักฟอกที่ไม่มีไอออน (non-ionic detergent) ผสมกับด่างที่อุณหภูมิประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส และล้างน้ำออกหลาย ๆ ครั้ง เพื่อกำจัดแป้งและสารจำพวกน้ำมันออก

2.1.6.2 การเซต (setting)

เส้นใยสังเคราะห์จำพวกเทอร์โมพลาสติก เมื่อเส้นใยได้รับความร้อน จะอ่อนตัวและถูกจัดตัวเข้ารูปได้เมื่อได้รับแรงดึง แต่ถ้าไม่มีแรงดึงจะทำให้เส้นใยหดตัวเมื่อถึงอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วของเส้นใยสังเคราะห์ชนิดนั้น ดังนั้น การเซตเป็นขั้นตอนที่จัดให้เส้นใยทนต่อการยืดและหด ในขั้นตอนต่อไป กระบวนการเซตทำโดยจึงผ้าตามแนวอน ใส่ตู้ความร้อนที่เหนือค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้ว และจึงผ้าจนกระทั่งผ้าถูกทำให้เย็น

2.1.7 การวัดสีระบบซีไออี

ระบบสีซีไออี เป็นระบบที่กำหนดมาตรฐานทางด้านแสงและสี ซึ่ง CIE เป็นคำย่อมาจากภาษาฝรั่งเศส Commission International de l'Eclairage โดยชื่อภาษาอังกฤษของ CIE คือ International Commission on Illumination ระบบสีซีไออีระบุสีออกมาเป็นค่าตัวเลขเพื่อใช้สื่อความหมายและวัดค่าได้ อาศัยหลักการการมองเห็นด้วยตา ที่ประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ 3 ประการคือ แหล่งกำเนิดแสง วัตถุ และผู้สังเกต โดยคำนวณค่าสีที่อ้างอิงองค์ประกอบทั้งสามด้วยการ

กระจายพลังงานในแต่ละช่วงความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสง (spectral power distribution) ค่าการสะท้อนแสงในแต่ละความยาวคลื่นของวัตถุ (reflectance) และค่าฟังก์ชันการปรับเทียบสีของตาสำหรับผู้สังเกต (color matching functions) ตามลำดับ ค่าไตรสติมูลัส XYZ เป็นค่าตัวเลขที่ระบุปริมาณแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินที่สะท้อนออกจากวัตถุ โดยค่า X มีความสัมพันธ์กับปริมาณแสงสีแดง ค่า Y มีความสัมพันธ์กับปริมาณแสงสีเขียว และค่าความสว่าง ค่า Z มีความสัมพันธ์กับปริมาณแสงสีน้ำเงิน ค่าไตรสติมูลัส XYZ คำนวณได้จากสมการที่ 2.1-2.4

$$X = k \int_{400}^{700} S(\lambda)R(\lambda)\bar{x}(\lambda)d(\lambda) \quad (2.1)$$

$$Y = k \int_{400}^{700} S(\lambda)R(\lambda)\bar{y}(\lambda)d(\lambda) \quad (2.2)$$

$$Z = k \int_{400}^{700} S(\lambda)R(\lambda)\bar{z}(\lambda)d(\lambda) \quad (2.3)$$

$$k = \frac{100}{\int_{400}^{700} S(\lambda)R(\lambda)d(\lambda)} \quad (2.4)$$

โดยที่ X Y และ Z คือ ค่าไตรสติมูลัส

$S(\lambda)$ คือ ค่าการกระจายพลังงานในแต่ละช่วงความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสง

$\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ คือ ค่าฟังก์ชันการปรับเทียบสีของตาสำหรับผู้สังเกตมาตรฐานที่

มุมมอง 2 องศา กำหนดโดย CIE 1931 Colorimetric observer

$\bar{x}_{10}(\lambda), \bar{y}_{10}(\lambda), \bar{z}_{10}(\lambda)$ สำหรับผู้สังเกตมาตรฐานที่มุมมอง 10 องศา กำหนดโดย CIE

1964 Colorimetric observer

$R(\lambda)$ คือ ค่าการสะท้อนแสงในแต่ละความยาวคลื่นของสิ่งทดสอบ (spectral reflectance of specimens)

2.1.8 ปฏิภูมิสี CIELAB

ปฏิภูมิสี CIELAB เป็นปฏิภูมิสี 3 มิติ แสดงความสัมพันธ์ของสีใน 3 ทิศทางประกอบด้วยแกน L^* แสดงความสว่างของสี แกน a^* บอกความเป็นสีแดง-สีเขียว และแกน b^* บอกความเป็นสีเหลือง-สีน้ำเงิน ปัจจุบันปฏิภูมิสี CIELAB [Bems, 2000] ได้นำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นระบบที่มีสเกลสมมาตรทำให้บอกค่าความแตกต่างสีได้สมมาตร ง่ายต่อการแปลความหมาย หากค่าความแตกต่างสี คำนวณจากค่าไตรสติมูลัส XYZ ดังสมการที่ 2.5-2.8

$$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16 \quad \text{สำหรับ } Y/Y_n > 0.008856 \quad (2.5)$$

$$L^* = 903.3 (Y/Y_n) \quad \text{สำหรับ } Y/Y_n \leq 0.008856 \quad (2.6)$$

$$a^* = 500 [F(X/X_n) - F(Y/Y_n)] \quad (2.7)$$

$$b^* = 200 [F(Y/Y_n) - F(Z/Z_n)] \quad (2.8)$$

โดยที่ $F(X/X_n) = (X/X_n)^{1/3}$ สำหรับ $X/X_n > 0.008856$

$$F(X/X_n) = 7.787 (X/X_n) + 16/116 \quad \text{สำหรับ } X/X_n \leq 0.008856$$

$$F(Y/Y_n) = (Y/Y_n)^{1/3} \quad \text{สำหรับ } Y/Y_n > 0.008856$$

$$F(Y/Y_n) = 7.787 (Y/Y_n) + 16/116 \quad \text{สำหรับ } Y/Y_n \leq 0.008856$$

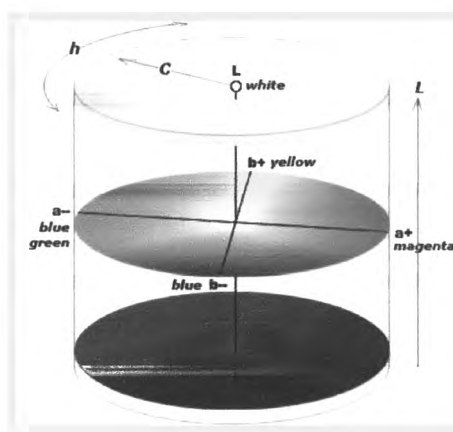
$$F(Z/Z_n) = (Z/Z_n)^{1/3} \quad \text{สำหรับ } Z/Z_n > 0.008856$$

$$F(Z/Z_n) = 7.787 (Z/Z_n) + 16/116 \quad \text{สำหรับ } Z/Z_n \leq 0.008856$$

ที่ซึ่ง XYZ คือ ค่าไตรสติมูลต์ของตัวอย่างสีหนึ่ง ๆ

X_n, Y_n, Z_n คือ ค่าไตรสติมูลต์ของสีขาวอ้างอิง (Reference white)

ปริภูมิสี CIELAB ประกอบด้วย 3 แกน คือ แกน L^* a^* และ b^* ดังแสดงในภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 แบบจำลองปริภูมิสี CIELAB

[<http://handprint.com/HP/WCL/color6.html>]

การแปลผลของแบบจำลองสามมิติ ปริภูมิสี CIELAB

แกน L^* แสดงความสว่างที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0-100 (มืดสุด-สว่างสุด)

แกน a^* แสดงความเป็นสีแดงและความเป็นสีเขียว โดยค่า a^* ยิ่งมีค่าบวกมาก จะมีค่าความเป็นสีแดงมากขึ้น และหากมีค่าลบเพิ่มขึ้น ก็จะแสดงความเป็นสีเขียวมากขึ้น

แกน b^* แสดงความเป็นสีเหลืองและความเป็นสีน้ำเงินของสี โดยค่า b^* ยิ่งมีค่าบวกมากจะมีค่าความเป็นสีเหลืองมากขึ้น และหากมีค่าลบเพิ่มขึ้น ก็จะแสดงความเป็นสีน้ำเงินมากขึ้น

จากปริภูมิสี CIELAB สามารถคำนวณหาค่าสีสัน (hue) และความอิ่มตัวสี (chroma) จากค่า $L^*a^*b^*$ ดังสมการที่ 2.9 และ 2.10 โดยที่

hue angle เป็นตัวเลขที่ระบุว่า สีมีตำแหน่งอยู่ที่ใดในปริภูมิสี มีหน่วยเป็นองศา

chroma ได้จากความยาวของเส้นตรงจากจุดกำเนิดที่ $a^*=b^*=0$ ไปยังตำแหน่งของตัวอย่างสี

$$\text{hue angle (h)} = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (2.9)$$

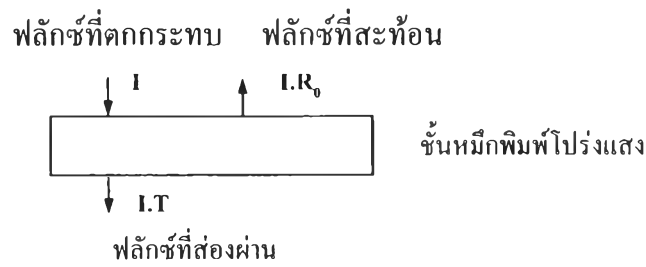
$$\text{chroma } (C_{ab}^*) = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2.10)$$

2.1.9 ทฤษฎีคูเบลคา-มังก์ (Kubelka-Munk Theory)

การหาค่าความเข้มสี (color strength, K/S) พิจารณาจากค่าการสะท้อนแสงของชั้นหมึกพิมพ์ที่ทึบแสง (R_∞) ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (K) และสัมประสิทธิ์การกระเจิงแสง (S) ของชั้นหมึกพิมพ์ที่ทึบแสง ดังสมการที่ 2.11 [Nobbs, 1997] โดยคูเบลคา-มังก์เสนอแบบจำลองพิจารณาปริมาณพลังงานแสงเป็นฟลักซ์ออกเป็น 2 ทิศทาง คือ i_x (incident flux) เป็น ฟลักซ์ที่ตกกระทบพื้นผิว มีทิศตั้งลง และ j_x (reflectance energy flux) เป็นพลังงานฟลักซ์ที่สะท้อนจากพื้นผิว มีทิศพุ่งขึ้นในชั้นที่ทึบแสง หาค่าการสะท้อนแสงของชั้นที่ทึบแสง (R_∞) เป็นอัตราส่วนของ j_x ต่อ i_x เมื่อ x เป็นระยะทางจากพื้นผิววัสดุด้านบนถึงด้านล่าง มีค่าเป็น 0 คือ เป็นการตกกระทบและสะท้อนพลังงานฟลักซ์ที่พื้นผิววัสดุทึบแสง

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - R_\infty)^2}{2R_\infty} \quad (2.11)$$

การมองเห็นสีของงานพิมพ์ ขึ้นอยู่กับสมบัติเชิงแสงของหมึกพิมพ์ ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์ และการสะท้อนแสงของวัสดุใช้พิมพ์ หากหมึกพิมพ์เป็นหมึกชนิดโปร่งแสง พิจารณาแสงที่สะท้อนออกจากชั้นหมึกพิมพ์ประกอบด้วยแสงที่กระเจิงจากสารสีของหมึกพิมพ์ แสงที่สะท้อนกลับออกจากชั้นวัสดุรองรับ และแสงที่ส่องผ่านออกจากชั้นหมึกพิมพ์ อธิบายการเดินทางของแสงในชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์ เมื่อแยกชั้นวัสดุรองรับออกดังภาพที่ 2.15 [Nobbs, 1997] คำนวณได้จากสมการที่ 2.12-2.14



ภาพที่ 2.15 การเดินทางของแสงในชั้นหมึกพิมพ์โปร่งแสง

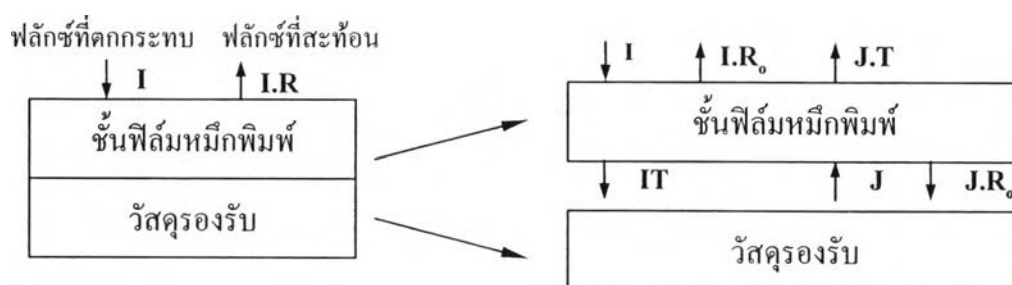
$$R_o = \frac{\text{พลังงานฟลักซ์ที่สะท้อนจากชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์}}{\text{พลังงานฟลักซ์ที่ตกกระทบบนชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์}} \quad (2.12)$$

$$T = \frac{\text{พลังงานฟลักซ์ที่ส่องผ่านชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์}}{\text{พลังงานฟลักซ์ที่ตกกระทบบนชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์}} \quad (2.13)$$

$$A = 1 - R_o - T \quad (2.14)$$

เมื่อ A คือ ค่าของการดูดกลืนแสงของหมึกพิมพ์

เมื่อพิจารณาการเดินทางของแสงเมื่อมีวัสดุรองรับมาเกี่ยวข้อง การเดินทางของแสงแสดงได้ดังภาพที่ 2.16 [Nobbs, 1997]



ภาพที่ 2.16 การเดินทางของแสงในชั้นหมึกพิมพ์เมื่อแยกกันอยู่อิสระกับชั้นวัสดุรองรับ

- เมื่อ I ฟลักซ์ที่ตกกระทบพื้นผิวบนสุด
- $I.R_o$ ฟลักซ์ I ที่สะท้อนจากชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์
- $I.T$ ฟลักซ์ I ที่ผ่านชั้นหมึกพิมพ์

J พลังค์สะท้อนกลับจากวัสดุพิมพ์และตกกระทบพื้นผิวด้านล่างของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์

JR_0 พลังค์ที่สะท้อนจากผิวด้านล่างของชั้นฟิล์มของหมึกพิมพ์

JT พลังค์ที่ผ่านชั้นหมึกพิมพ์จากด้านล่างสู่ผิวหน้า

จากภาพที่ 2.16 ค่าการสะท้อนแสงของชั้นหมึกพิมพ์บนวัสดุรองรับสามารถหาได้จากสมการที่ 2.15-2.16

$$R_g = \frac{\text{พลังงานพลังค์ที่สะท้อนจากชั้นของวัสดุรองรับ}}{\text{พลังงานพลังค์ที่ตกกระทบบนชั้นของวัสดุรองรับ}} \quad (2.15)$$

$$R = \frac{\text{พลังงานพลังค์ที่สะท้อนโดยระบบ}}{\text{พลังงานพลังค์ที่ตกกระทบบนระบบ}} \quad (2.16)$$

จากคำจำกัดความของ R จะได้สมการที่ 2.17

$$R = \frac{Rg + JT}{I} \quad (2.17)$$

เมื่อพลังค์ J สัมพันธ์กับ I ผ่าน R_g จะได้สมการที่ 2.18

$$J = R_g (IT + JR_0) \quad (2.18)$$

ปรับสมการใหม่ได้เป็นสมการที่ 2.19

$$J = \frac{ITR_g}{1 - R_g R_0} \quad (2.19)$$

และแทนที่ J ในสมการที่ 2.19 จะได้สมการที่ 2.20

$$R = R_0 + \frac{T^2 R_g}{1 - R_g R_0} \quad (2.20)$$

และสามารถทำสมการให้ง่ายขึ้นโดยการใชตัวแปรใหม่ 2 ตัว คือ α และ β ดังสมการที่ 2.21

$$R = \frac{\alpha R_g + \beta R_\infty}{\alpha + \beta} \quad (2.21)$$

เมื่อ α เป็นฟังก์ชันของการสะท้อนแสงของชั้นฟิล์มที่บดแสง (R_∞) และของการสะท้อนแสงของวัสดุรองรับ (R_g) จะได้สมการที่ 2.22

$$\alpha = \frac{1 - (R_\infty)^2}{1 - R_g R_\infty} \quad (2.22)$$

และ β เป็นฟังก์ชันของค่า K , S และ D ผ่านทางตัวแปร Z ที่จำกัดความในสมการที่ 2.23 และ 2.24

$$\beta = e^{2Z} - 1 \quad (2.23)$$

$$Z = D\sqrt{K(K + 2S)} \quad (2.24)$$

เมื่อ D เป็นความหนาของชั้นฟิล์ม ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ K และ S หาได้จากสมการที่ 2.25-2.27

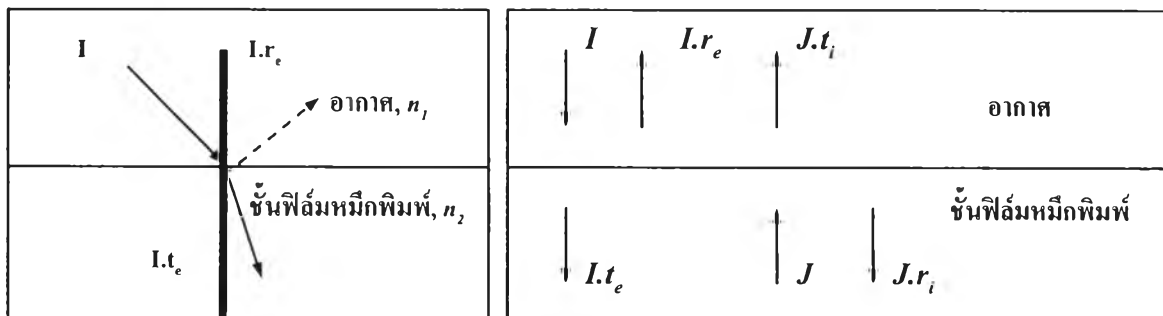
$$Z = \frac{1}{2} \ln(\beta + 1) \quad (2.25)$$

$$K = \frac{Z}{D} \left(\frac{1 - R_\infty}{1 + R_\infty} \right) \quad (2.26)$$

$$S = \frac{Z}{D} \left[\frac{2R_\infty}{1 + R_\infty^2} \right] \quad (2.27)$$

การแก้ไขค่าการสะท้อนแสงบริเวณผิวหน้า (Surface correction reflection)

ทฤษฎีคูเบลคา-มังก์มีข้อจำกัดที่สำคัญหนึ่งประการคือ ไม่นำผลของการสะท้อนแสงบางส่วนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าที่สัมผัสกับอากาศและสัมผัสกับชั้นหมึกพิมพ์ เพื่อให้ได้ค่าการสะท้อนแสงที่ไม่รวมการสะท้อนแสงบริเวณผิวหน้า จึงต้องมีการแก้ค่าการสะท้อนแสงที่วัดได้ (ρ) ดังภาพที่ 2.17



ภาพที่ 2.17 การเดินทางของแสงจากอากาศไปยังชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์

เมื่อ ฟลักซ์ I เป็น ปริมาณพลังงานที่เดินทางมีทิศทางลงสู่พื้นผิวระหว่างอากาศกับสารเคลือบ
 ฟลักซ์ J เป็น ปริมาณพลังงานที่เดินทางมีทิศทางขึ้นสู่พื้นผิวระหว่างสารเคลือบกับอากาศ
 r_e เป็น ส่วนหนึ่งของฟลักซ์ I ที่สะท้อน
 t_e เป็น ส่วนหนึ่งของฟลักซ์ I ที่ส่องผ่าน
 r_i เป็น ส่วนหนึ่งของฟลักซ์ J ที่สะท้อนโดยพื้นผิวระหว่างอากาศกับสารเคลือบ
 t_i เป็น ส่วนหนึ่งของฟลักซ์ J ที่ส่องผ่านโดยพื้นผิวระหว่างอากาศกับสารเคลือบ
 ค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการวัด ρ ของชั้นเป็นอัตราส่วนของพลังงานฟลักซ์ที่สะท้อน
 ทั้งหมดต่อฟลักซ์ทั้งหมดที่ตกกระทบบดงแสดงในสมการที่ 2.28

$$\rho = \frac{(r_e I + t_i J)}{I} \quad (2.28)$$

จากสมการนี้ เราสามารถหาค่าการสะท้อนแสงที่แท้จริงได้ (R)

$$R = \frac{(\rho - r_e)}{(t_e t_i + r_i (\rho - r_e))} \quad (2.29)$$

ทั่วไปวัสดุจำพวกแก้ว และพอลิเมอร์พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์หรือสีทา (paint) มีค่าดัชนีหักเห
 ประมาณ 1.5 มีค่าสัมประสิทธิ์การแก้ไข (correction coefficient) ของฟลักซ์ I และ J [Nobbs, 1997]
 ดังนี้

$$r_e = 0.04 \quad r_i = 0.60 \quad \text{โดยที่ } t_e = 1 - r_e \text{ และ } t_i = 1 - r_i$$

ในทางปฏิบัติ ค่า R_∞ จากชั้นฟิล์มที่บดงของหมึกพิมพ์จริง อาจไม่เหมาะสมกับการใช้
 พยากรณ์ค่า R ของชั้นหมึกพิมพ์ที่โปรงแสง เพราะต้องพิมพ์ชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ให้หนามาก จึงหา
 ค่า R_∞ จากค่าการสะท้อนแสงของชั้นหมึกพิมพ์บนกระดาษขาวและกระดาษดำ ให้ R_w และ R_b เป็น
 ค่าการสะท้อนแสงของชั้นที่มีการพิมพ์หมึกทับบริเวณสีขาวและสีดำของหมึกพิมพ์ ตามลำดับ และ
 $R_{g,w}$ และ $R_{g,b}$ เป็นค่าการสะท้อนแสงของชั้นที่มีการพิมพ์หมึกทับบริเวณสีขาวและสีดำของวัสดุ
 รองรับ แสดงค่า B และ R_∞ ได้ในสมการที่ 2.30 และ 2.31

$$B = \frac{(1 + R_b R_w)(R_{g,w} - R_{g,b}) - (1 + R_{g,b} R_{g,w})(R_w - R_b)}{2(R_b R_{g,w} - R_{g,b} R_w)} \quad (2.30)$$

$$R_\infty = B - \sqrt{B^2 - 1} \quad (2.31)$$

จากค่า R_∞ ในสมการที่ 2.31 สามารถหาค่าความเข้มสี (K/S) ได้จากสมการที่ 2.11

2.2 วารสารปริทัศน์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Espinosa-Jiménez และคณะ [2003] พบว่า ผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวมีค่า zeta-potential เป็นลบ

Jocic และคณะ [1997] นำไคโทซานผสมสารลดแรงตึงผิวชนิดปราศจากประจุปรับสภาพผิวผ้าขนสัตว์ เพื่อแก้ปัญหาแรงยึดติดระหว่างไคโทซานกับผ้าขนสัตว์ที่ต่ำ และการกระจายตัวไคโทซานที่ไม่สม่ำเสมอ พบว่าผ้าขนสัตว์ที่ผ่านการปรับสภาพผิว สามารถเชื่อมด้วยสีชนิดรีแอกทีฟได้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

Walawska และคณะ [2003] ได้ศึกษาผลการปรับสภาพผิวผ้าพอลิเอสเตอร์และผ้าพอลิเอสเตอร์ผสมฝ้ายด้วยไคโทซานต่อสมบัติของผ้าเชื่อมด้วยสีไคเร็กซ์ พบว่า ผ้าพอลิเอสเตอร์ผสมฝ้ายทนต่อการขัดถูขณะแห้งและทนต่อการซักดี แต่ทนต่อการขัดถูขณะเปียกปานกลาง ส่วนผ้าพอลิเอสเตอร์ทนการขัดถูขณะเปียกและขณะแห้ง และการทนการซักต่ำ เมื่อความเข้มข้นสารละลายไคโทซานเพิ่มขึ้น ค่าความแตกต่างสี (color difference) ระหว่างผ้าเชื่อมที่ไม่ปรับสภาพผิวผ้ากับผ้าเชื่อมที่ปรับสภาพผิวผ้าด้วยไคโทซานเพิ่มขึ้น โดยผ้าพอลิเอสเตอร์จะให้ค่าความแตกต่างสีมากกว่าผ้าพอลิเอสเตอร์ผสมฝ้าย

Bahmani และคณะ [2003] ได้ศึกษาการใช้ไคโทซานผสมในส่วนประกอบของหมึกพิมพ์โดยทำหน้าที่เป็นสารยึด และ thickener นำมาพิมพ์และเปรียบเทียบกับหมึกพิมพ์การค้าระบบสกรีน (Alcoprint) บนผ้าพอลิเอสเตอร์ และผ้าพอลิเอสเตอร์ผสมฝ้ายอัตราส่วน 67:33 พบว่าการใช้ไคโทซานผสมในหมึกพิมพ์ และทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที ให้ผลดีด้านการซัก การขัดถู และการทนต่อแสง เมื่อเปรียบเทียบกับหมึกพิมพ์ทางการค้า แต่ข้อด้อยสำคัญของการใช้ไคโทซานผสมในหมึกพิมพ์คือ ทำให้ค่าสีลดลง และเพิ่มความแข็งกระด้างแก่ผ้า

Hakeim และคณะ [2005] ได้ศึกษาการปรับสภาพผิวผ้าฝ้ายด้วยสารละลายไคโทซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่าง ๆ กัน เมื่อพิมพ์ด้วยระบบพิมพ์สกรีน ด้วยหมึกพิมพ์ชนิดสีย้อมธรรมชาติ เคอร์คูมิน (curcumin) วัดค่าความเข้มสีพบว่า ค่าความเข้มสีเพิ่มขึ้น เมื่อน้ำหนักโมเลกุลของไคโทซานเพิ่มขึ้น ให้ผลการทนต่อการขัดถูขณะเปียก และขณะแห้งที่ดี ความแข็งกระด้างของผ้าฝ้ายที่ปรับสภาพผิวผ้าด้วยสารละลายไคโทซานที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำ ๆ จะให้ผลดี

Jocic และคณะ [2005] ได้ศึกษาผลของไคโทซานต่อการดูดซึมสีย้อมแอซิดบนผ้าขนสัตว์ เมื่อเปลี่ยนภาวะของการย้อมคือ อุณหภูมิ pH และภาวะของอิเล็กโทรไลต์ในอ่างย้อม พบว่า การใช้ไคโทซานปรับสภาพผิวผ้าขนสัตว์ทำให้ผ้าดูดซึมสีย้อมมากขึ้น และสีย้อมติดบนผ้าขนสัตว์ดีขึ้น

Yuen และคณะ [2007] ได้ศึกษาการใช้ไคโทซานผสมในสารปรับสภาพผิวผ้าเป็นสารขึ้นและปรับผิวผ้าฝ้ายโดยวิธีแพดดิ้ง พิมพ์ด้วยระบบพิมพ์อิงก์เจ็ต เพื่อเปรียบเทียบผลในเรื่องค่าสี (color yield) การทนต่อการซัก การขัดถู ความคมชัดของงานพิมพ์ และความต้านทานแรงดึง กับชุดที่ปรับสภาพผิวผ้าด้วยสารปรับสภาพผิวผ้าฝ้ายที่ใช้โซเดียม แอลจีเนต (sodium alginate) เป็น

องค์ประกอบ และชุดที่ปรับสภาพผิวผ้าด้วยวิธี two bath ที่ประกอบด้วยอ่างกรดของสารละลายโคโทซาน และอ่างเบสของสารละลายผสม โซเดียมไบคาร์บอเนต (sodium bicarbonate) และยูเรีย พบว่า ผ้าฝ้ายที่ปรับสภาพผิวผ้าที่มีโคโทซานเป็นองค์ประกอบให้ผลดีทางด้านสมบัติการทนต่อการซัก การขัดถู ให้ผลปานกลางในเรื่องความคมชัด แต่ค่าสีน้อยสุด โดยค่าสีที่สูงที่สุดคือผ้าฝ้ายที่ปรับสภาพผิวผ้าด้วยวิธี two bath

Wang และคณะ [2007] ได้ศึกษาอิทธิพลของภาวะการปรับสภาพผ้าพอลิเอสเตอร์ก่อนพิมพ์ด้วยสารปรับสภาพที่มีประจุบวก (cationic pretreatment agent) ต่อคุณภาพผ้าพิมพ์พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทสารสีฐานน้ำ พบว่า ผ้าพอลิเอสเตอร์ที่ปรับสภาพก่อนพิมพ์มีค่าความเข้มสี K/S เพิ่มขึ้นร้อยละ 36 เมื่อเทียบกับผ้าที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ ค่า K/S เพิ่มขึ้นเมื่อความเป็นกรด-เบส (pH) และอุณหภูมิของภาวะการปรับสภาพเพิ่มขึ้น ภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพผ้าพอลิเอสเตอร์ก่อนพิมพ์ด้วยสารปรับสภาพที่มีประจุบวก คือ ความเข้มข้นของสารปรับสภาพ 15 กรัม/ลิตร ที่ pH 11 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที

ต่อมา Hakeim และคณะ [2008] ได้ศึกษาผลของการปรับสภาพผิวผ้าพอลิเอสเตอร์และผ้าอะคริลิกด้วยโคโทซานและโคโทซานดัดแปรสองวิธีต่อค่าความเข้มสีและสมบัติการทนของสี (color fastness) โดยโคโทซานดัดแปรได้จากสองปฏิกิริยา คือ แอซิดไฮโดรไลซิส (acid hydrolysis) ด้วยไฮโดรคลอริก (HCl) และปฏิกิริยาระหว่างโคโทซานกับไดเมทิลแอมิโนเบนซัลดีไฮด์ (dimethylamino benzaldehyde) พบว่า ความเข้มข้นของโคโทซานมีผลต่อค่าความเข้มสี เมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของโคโทซาน ความเข้มสีจะเพิ่มมากขึ้น และโคโทซานที่มีค่าร้อยละไนโตรเจนสูงให้ค่าความเข้มสีสูง ส่วนการดัดแปรโคโทซานทั้งสองวิธีไม่มีผลต่อความเข้มสี และเมื่อใช้สารยึด (binder) หลังจากปรับสภาพผิวผ้าด้วยโคโทซานแล้ว พบว่าให้ความเข้มสีสูงกว่าการปรับสภาพผิวด้วยโคโทซานเพียงชนิดเดียว ส่วนสมบัติการทนของสีเพิ่มขึ้นเมื่อปรับสภาพผิวผ้าด้วยโคโทซานและสารยึด

Leelajariyakul และคณะ [2008] ได้ใช้สารปรับผิวผ้าไหม ซิลก์สตาร์และชันฟิชซ์ เพื่อการรองรับหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทชนิดสารสีให้ขอบเขตสีของผ้าพิมพ์กว้างมากขึ้น ต่อมา Phattanarudee และคณะ [2009] ได้ใช้เทคนิคเดียวกันเพื่อศึกษาการปรับสภาพผิวผ้าไหมด้วยซีรีน (serine) ไกลซีน (glycine) กรดแอสปาทิก (aspartic acid) โคโทซาน และชันฟิชซ์ 555 สำหรับการพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์อิงค์เจ็ทชนิดสารสี พบว่า สารปรับสภาพผิวผ้าชนิดที่เป็นกรดแอมิโนช่วยเพิ่มสมบัติความชอบน้ำแก่ผ้าไหม โคโทซานและชันฟิชซ์ 555 ให้ขอบเขตสีกว้างกว่าผ้าไหมที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวผ้าและผ้าไหมที่ผ่านการปรับสภาพผิวผ้าด้วยกรดแอมิโน