บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

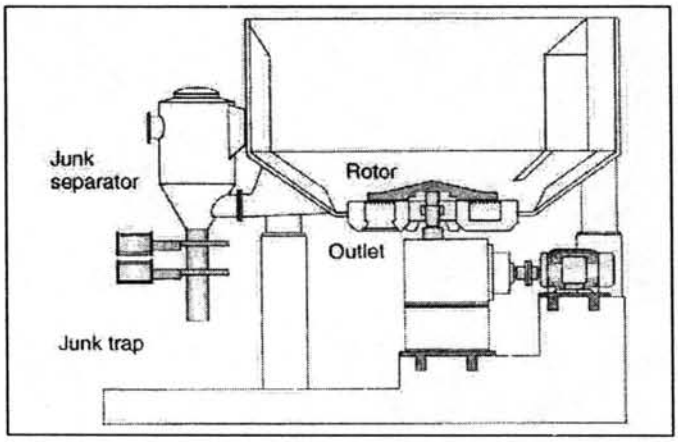
ทฤษฎี

1. กระบวนการดึงหมึกออกจากกระดาษ (Deinking process)

กระบวนการดึงหมึกออกประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ ประมาณ 9 ขั้นตอน โดยการเลือกใช้ขั้นตอนต่างๆ รวมถึงการเรียงลำดับของขั้นตอนนั้น อาจจะแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระดาษที่จะนำมาเวียนใช้ใหม่และผลผลิตสุดท้ายที่ต้องการเป็นสำคัญ ขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการดึงหมึกออกมีดังนี้ คือ

1.1 <u>การตีกระจายเยื่อ (Pulping or repulping)</u>

เป็นขั้นตอนที่นำกระดาษมาตีกระจายเป็นเยื่อโดยการใช้เครื่องตีกระจายเยื่อ (Pulper) (ภาพที่ 1) การตีกระจายเยื่อเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากในกระบวนการดึงหมึกออกเพราะเป็นขั้นตอนที่หมึกมีการแยกตัวจากผิวหน้ากระดาษโดยอาศัยแรงกลและสารเคมี รวมถึงเป็นขั้นตอนที่ขนาดของหมึกถูกควบคุมมากที่สุด การเติมสารเคมีในกระบวนการดึงหมึกออกส่วนมากจะทำในขั้นตอนนี้ โดยตัวอย่างสารเคมีที่ใช้ ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) โซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) และสารลดแรงตึงผิว (Surfactants) เป็นต้น ในการตีกระจายเยื่อนิยมใช้ค่า pH ที่เป็นเบส เพื่อเพิ่มการพองตัวของเส้นใย ทำให้การเสียดทานระหว่างเส้นใยดีขึ้น ส่งผลให้หมึกสามารถหลุดออกจากผิวหน้าของเส้นใยได้มากขึ้น



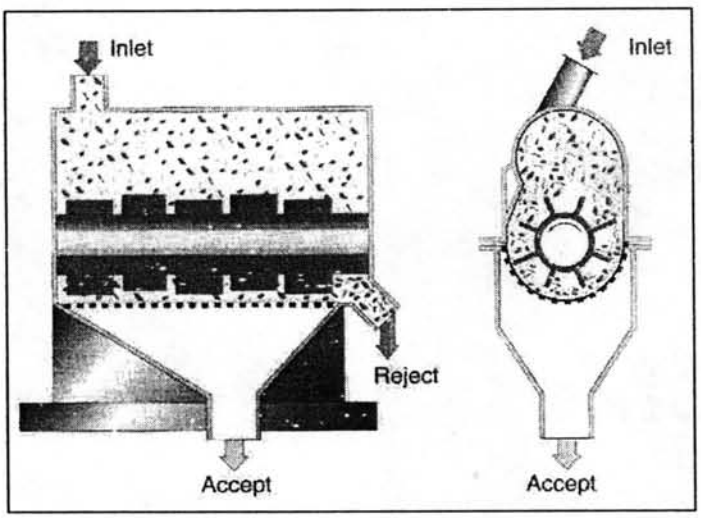
ภาพที่ 1 เครื่องตีกระจายเยื่อ (1)

1.2 <u>การล้างเยื่อ (Pre-washing)</u>

เป็นขั้นตอนที่กำจัดน้ำออกจากเยื่อหลังจากผ่านขั้นตอนการตีกระจายเยื่อแล้ว เพื่อทำให้ค่าความเข้มข้นของเยื่อ (Consistency) เพิ่มสูงขึ้นและเพื่อเวียนนำน้ำที่ขจัดออกมาแล้วกลับไปใช้ใหม่

1.3 <u>การกรองเยื่อ (Screening)</u>

เป็นการใช้สกรีนทั้งแบบหยาบและละเอียด (ภาพที่ 2) ในการขจัดสิ่งแปลกปลอมขนาดใหญ่ เช่น ลวดเย็บกระดาษ คลิปหนีบกระดาษ รวมถึงสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ ซึ่งอาจจะทำความเสียหายให้เกิดกับเครื่องมือที่ใช้ในขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 2 เครื่องทำความสะอาดเยื่อแบบสกรีน (1)

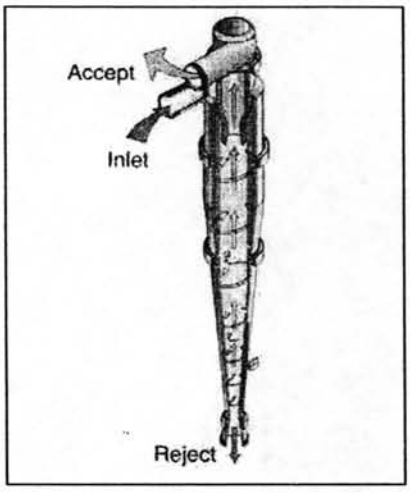
1.4 <u>การทำความสะอาดเยื่อแบบ Reverse cleaning</u>

เป็นการกำจัดสิ่งแปลกปลอมขนาดเล็ก ซึ่งการใช้สกรีนไม่สามารถกำจัดได้ โดยสิ่งแปลกปลอมนั้นจะมีค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ต่ำกว่า 1

1.5 <u>การทำความสะอาดเยื่อแบบ Forward cleaning</u>

เป็นการกำจัดสิ่งแปลกปลอมขนาดเล็ก ซึ่งการใช้สกรีนไม่สามารถกำจัดได้ โดยสิ่งแปลกปลอมนั้นจะมีค่าถ่วงจำเพาะสูงกว่า 1

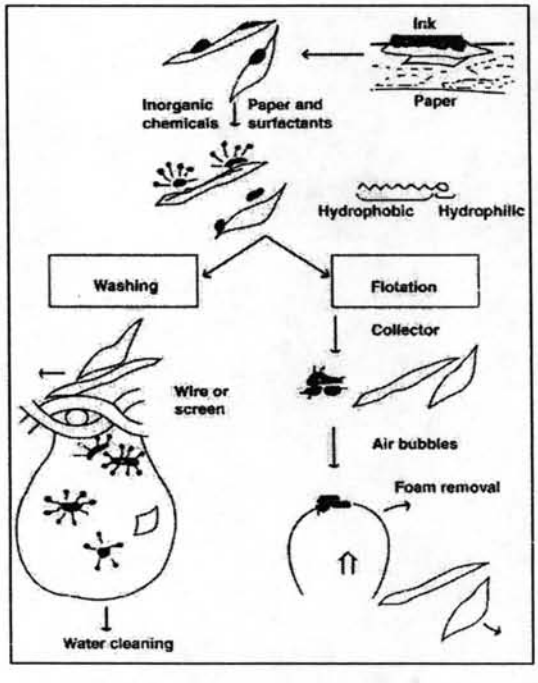
การทำความสะอาดเยื่อทั้ง 2 แบบในข้อที่ 1.4 และ 1.5 จะเป็นการใช้เครื่อง Centrifugal cleaner (ภาพที่ 3) ซึ่งจะอาศัยการเหวี่ยงด้วยแรงหนีศูนย์กลางในการกำจัดสิ่งแปลกปลอมออกไป



ภาพที่ 3 เครื่องทำความสะอาดเยื่อแบบ Centrifugal cleaner (1)

1.6 <u>การดึงหมึกพิมพ์ (Deinking)</u>

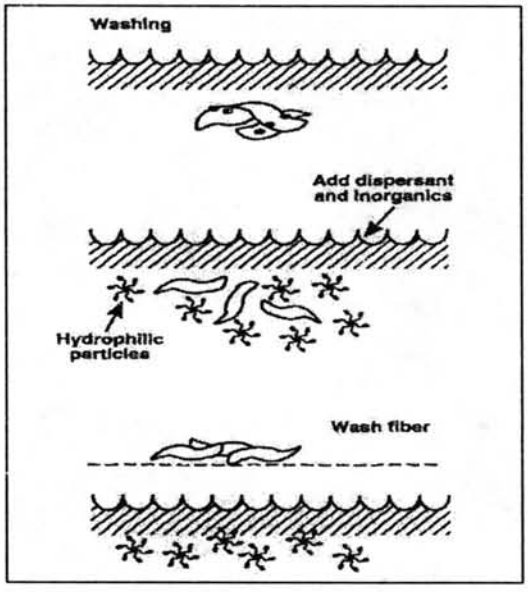
เป็นขั้นตอนการกำจัดหมึกพิมพ์ออกจากเส้นใย (ภาพที่ 4) เพื่อให้ได้เส้นใยที่มีคุณภาพดี มีความขาวสว่างสูงขึ้นก่อนที่จะนำกลับมาใช้ผลิตเป็นกระดาษใหม่ โดยทั่วไปแล้ววิธีการดึงหมึกออกจากกระดาษจะแบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ การล้างและการลอยฟองอากาศ



ภาพที่ 4 การดึงหมึกออกโดยวิธีการล้างและวิธีการลอยฟองอากาศ (1)

1.6.1 *การดึงหมึกออกโดยวิธีการล้าง (Washing or wash deinking)*

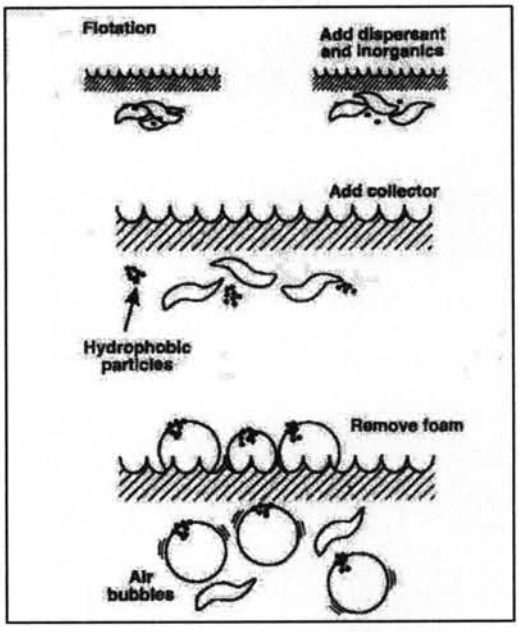
เป็นขั้นตอนที่กำจัดหมึกออกจากเยื่อกระดาษโดยจะผ่านการล้างหลายๆ รอบจนได้เยื่อที่สะอาด วิธีนี้จะมีการใช้สารเคมี ที่เรียกว่า Dispersants เพื่อทำให้อนุภาคหมึกที่มีขนาดเล็กมีการกระจายตัวและมีความชอบน้ำ (Hydrophilic) สูง จะได้สามารถลอดผ่านแผ่นสกรีนออกมากับน้ำได้ การดึงหมึกออกโดยวิธีการล้างนี้จะเหมาะกับอนุภาคที่มีขนาดต่ำกว่า 10 ไมครอน (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 การดึงหมึกออกโดยวิธีการล้าง (2)

1.6.2 *การดึงหมึกออกโดยวิธีการลอยฟองอากาศ (Flotation deinking)*

เป็นวิธีที่นิยมใช้เนื่องจากใช้ปริมาณน้ำในกระบวนการน้อยกว่าวิธีการล้างและหมึกที่กำจัดออกสามารถนำไปจัดการต่อได้ง่าย การดึงหมึกออกโดยวิธีนี้เหมาะกับหมึกประเภทที่แห้งตัวด้วยรังสียูวีและด้วยความร้อน รวมถึงหมึกโทนเนอร์ ซึ่งไม่สามารถขจัดออกได้ง่ายด้วยวิธีการล้าง การดึงหมึกออกโดยวิธีนี้จะมีการใช้สารเคมีที่เรียกว่า Collectors เพื่อทำให้หมึกมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) และมาเกาะรวมตัวเป็นกลุ่มก้อน จากนั้นอนุภาคของหมึกจะไปเกาะติดกับฟองอากาศและลอยขึ้นสู่ผิวหน้าของเครื่องลอยฟองอากาศ (Flotation cell) เพื่อถูกกำจัดออกต่อไป (ภาพที่ 6) ขนาดอนุภาคของหมึกที่เหมาะสมคือ 10-100 ไมครอน



ภาพที่ 6 การดึงหมึกออกโดยวิธีการลอยฟองอากาศ (2)

1.7 การกระจายหมึก (Dispersion)

วิธีนี้จะไม่ได้กำจัดหมึกออกอย่างแท้จริง แต่เป็นการทำให้อนุภาคของหมึกเล็กลงจนไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ส่งผลให้ค่าความขาวสว่างของเยื่อโดยรวมลดลงแต่ไม่สามารถมองเห็นอนุภาคของหมึกได้ วิธีนี้จะเหมาะกับหมึกยูวีและหมึกโทนเนอร์

1.8 การฟอกเยื่อ (Bleaching)

หลังจากการดึงหมึกออกแล้ว เยื่อที่ได้ส่วนมากจะนำมาผ่านการฟอกเยื่อเพื่อเพิ่มความขาวสว่างให้สูงขึ้น

1.9 การเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ (Water recirculation)

เป็นขั้นตอนสุดท้ายที่นำน้ำที่ผ่านการใช้งานในกระบวนการดึงหมึกออกมาปรับสมบัติต่างๆ เช่น ค่า pH เพื่อให้มีค่าที่เหมาะสม ก่อนจะเวียนนำกลับไปใช้ใหม่ในกระบวนการดึงหมึกออกอีกครั้ง

2. สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการดึงหมึกออก (Deinking chemicals)

สารเคมีที่เลือกใช้นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษที่จะนำมารีไซเคิล ชนิดของหมึกพิมพ์ ระบบที่ใช้ในการพิมพ์ ขั้นตอนของกระบวนการดึงหมึกออก และคุณภาพของเยื่อรีไซเคิลที่ต้องการ โดยส่วนของหมึกพิมพ์ที่สารเคมีจะเข้าไปทำปฏิกิริยาด้วยนั้น คือส่วนที่เป็นตัวยึด (Binder) ไม่ใช่ส่วนที่เป็นสารสี (Pigment) (3)

2.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH)

จะใส่ในขั้นตอน Repulping หรือ Bleaching เพื่อให้ไปทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสกับตัวยึดของหมึกหลายๆ ชนิด และปรับค่า pH ในขั้นตอนการตีกระจายเยื่อให้มีค่าเป็นเบส เพื่อเส้นใยจะได้พองตัวรับน้ำได้มากและมีความหยุ่นตัว ทำให้ขจัดหมึกออกได้ดีขึ้นด้วยการใช้แรงเสียดทาน อีกทั้งยังเป็นการใส่เพื่อป้องกันการรวมตัวของอนุภาคหมึกที่มีขนาดเล็กซึ่งทำให้ดึงหมึกออกได้ยากโดยวิธีการล้าง และเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการฟอกเยื่อแบบไอโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อย่างไรก็ตามการใส่ NaOH ลงไปในกระดาษที่ทำมาจากเยื่อไม้บดจะทำให้เยื่อสุดท้ายที่ได้จากการรีไซเคิลมีสีเหลืองและคล้ำ เรียกปฏิกิริยานี้ว่า "Alkali Darkening"

2.2 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide; H_2O_2)

จะใส่ในขั้นตอน Repulping หรือBleaching โดย H_2O_2 เป็นสารฟอกเยื่อซึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับลิกนินทำให้เยื่อมีค่าความขาวสว่างเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยในการทำลายอัลคิดเรซิน (alkyd resin) ซึ่งเป็นตัวยึดที่พบมากในหมึกออฟเซต รวมถึงทำปฏิกิริยากับ NaOH ทำให้เกิด OOH- (Perhydroxyl ion) ซึ่งเป็นสารฟอกเยื่อที่แท้จริง (True bleaching agent) ตามสมการที่ 1 (4)

$$H_2O_2 + NaOH \longrightarrow HOO^- + Na^+ + H_2O \qquad (1)$$

pH = 10-11.5, อุณหภูมิ = 40-80 °c

จากการศึกษาพบว่า ไอโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายตัวได้ง่ายในสภาวะที่มีโลหะหนักจำพวกแมงกานีส (Mn), ทองแดง (Cu) และเหล็ก (Fe) เป็นต้น สภาวะที่มีเอ็นไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา รวมทั้งสภาวะที่มีค่า pH และอุณหภูมิสูง การสลายตัวของไอโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถป้องกันได้โดยการใส่สารที่เรียกว่า "Stabilizing agent" เช่น คีเลติง (Chelating) และโซเดียมซิลิเกตโดยที่สาร Stabilizing agent นี้จะไม่ได้ไปทำให้ไอโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงสภาพแต่จะไปทำให้สภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการคงสภาพของไอโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

2.3 สารจับโลหะหนัก (Chelating agents หรือ Chelants)

จะใส่ในขั้นตอน Repulping หรือ Bleaching เพื่อไปทำปฏิกิริยากับโลหะหนัก โดยจะจับโลหะหนักไว้ ก่อนที่โลหะหนักจะไปเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ชนิดของสารจับโลหะหนักที่นิยมใช้กันในกระบวนการดึงหมึกออกได้แก่ DTPA (Diethylenetriaminepentacetic acid) และ EDTA (Ethylenediaminetetracetic acid) โดย DTPA ซึ่งมีโครงสร้าง 5 แขน จับโลหะหนักได้ดีและแข็งแรงกว่า EDTA ที่มีโครงสร้าง 4 แขน

การจับกับโลหะหนักจะเรียงลำดับดังต่อไปนี้ (เรียงจากง่ายไปยาก) $Ni^{2+} > Cu^{2+} > Co^{2+} > Fe^{2+} > Mn^{2+} > Pb^{2+} > Zn^{2+} > Fe^{2+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > Al^{3+}$

2.4 โซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate; Na_2SiO_3)

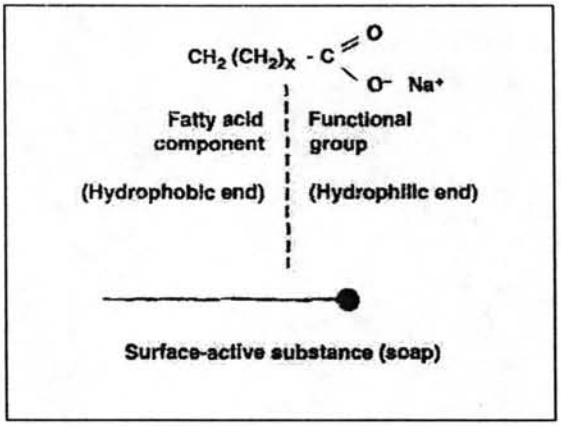
จะใส่ในขั้นตอน Repulping หรือ Bleaching จะไปจับกับโลหะโดยเกิดเป็นคอลลอยด์กับโลหะ และยังช่วยในการดึงหมึกออกโดยทำให้หมึกกระจายตัวมากขึ้น ทั้งยังช่วยป้องกันปัญหาหมึกกลับมาเกาะติดที่เส้นใยอีก โซเดียมซิลิเกตเป็นสารเคมีที่ใช้ได้ดีกับเยื่อไม้บด เพราะทำให้เกิดความเหลืองน้อย และยังทำหน้าที่เป็น pH buffer อีกด้วย

2.5 สารทำให้เกิดการเกาะกลุ่ม (Agglomerating chemicals)

จะใส่ในขั้นตอนของการทำ Repulping, Screening หรือ Cleaning ซึ่งสารทำให้เกิดการเกาะกลุ่ม เป็นสารเคมีที่ใช้สำหรับหมึกพวกโทนเนอร์ซึ่งมีขนาดใหญ่และมีโครงสร้างของรูปร่างเป็นแบบแผ่นแบน ซึ่งหมึกเหล่านี้อาจมีขนาดใหญ่เกินไปที่จะนำมาขจัดออกโดยวิธีการล้างหรือลอยฟองอากาศ ดังนั้นจึงพยายามทำให้ขนาดของหมึกใหญ่ขึ้นโดยการใช้สารเคมีนี้มาทำให้หมึกรวมตัวเป็นกลุ่มก้อน จากนั้นหมึกจะถูกกำจัดออกไปโดยวิธีการ Screen หรือ Forward cleaning ต่อไป

2.6 สารลดแรงตึงผิว (Surfactants)

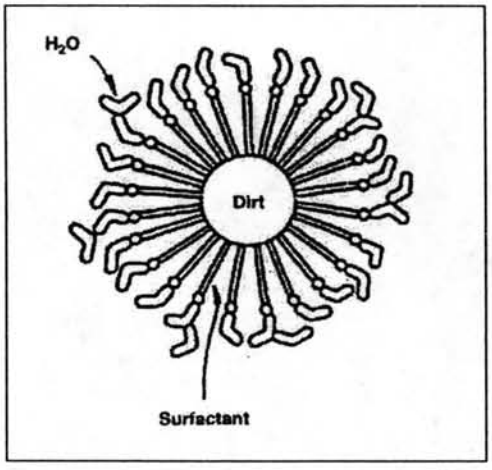
จะใส่ในขั้นตอน Repulping, Flotation หรือ Washing โดยทั่วไปแล้วสารลดแรงตึงผิวเป็นคำรวมที่ใช้ครอบคลุมตั้งแต่ Dispersants, Collectors, Wetting agents, และ Displectors เป็นต้น สารลดแรงตึงผิวจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic part) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic part) โดยส่วนที่เป็น Hydrophobic part จะประกอบด้วย C และ H ซึ่งเป็นได้ทั้งเส้นตรง หรือเป็นกิ่ง รวมถึงสามารถเป็นแบบอิ่มตัว และแบบไม่อิ่มตัว (ภาพที่ 7) ในขณะที่ส่วนที่เป็น Hydrophilic ทำให้สามารถแบ่งประเภทของสารลดแรงตึงผิวออกเป็น Non-ionic และ Ionic surfactants โดย Ionic surfactants สามารถแบ่งย่อยออกได้เป็นประจุบวก (Cationic) ประจุลบ (Anionic) และ มีทั้งประจุบวกและประจุลบอยู่ด้วยกัน(Amphoteric) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วนิยมใช้ Non-ionic surfactants มากกว่า เนื่องจากสามารถทำงานได้ดี เป็นอิสระจากค่า pH และความกระด้างของน้ำ (Water hardness) การจัดชนิดของสารลดแรงตึงผิวอีกวิธีหนึ่งที่นิยมคือการใช้ค่า HLB value ซึ่งค่าอัตราส่วนระหว่างเปอร์เซนต์น้ำหนักของส่วนโครงสร้างที่เป็น Hydrophilic ต่อที่เป็นส่วนโครงสร้าง Hydrophobic ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่นิยมใช้อยู่ที่ร้อยละ 0.2 - 2.0 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้และวิธีการดึงหมึกออกเป็นสำคัญ



ภาพที่ 7 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว (2)

2.7 Dispersants

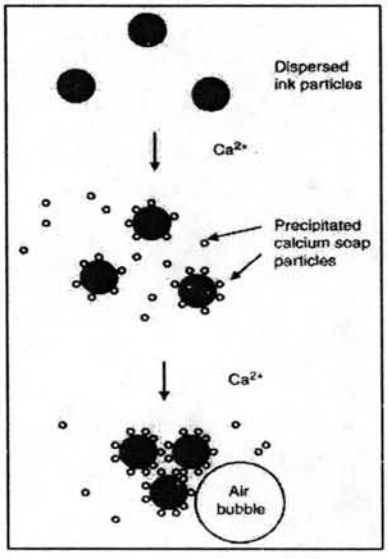
เป็นสารที่ใส่ในขั้นตอน Repulping หรือ Washing เพื่อช่วยในการกำจัดหมึกพิมพ์ด้วยวิธีการล้าง โดย Dispersants ไปช่วยทำให้หมึกกระจายตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ (ไม่มาเกาะกลุ่มกัน) และทำให้มีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) ด้วยการฟอร์มตัวเป็น "Micelle" (ภาพที่ 8) โดยเมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวลงไปแล้วส่วนที่เป็น Hydrophilic ของสารลดแรงตึงผิวจะหันเข้าหาน้ำ ในขณะส่วนที่เป็น Hydrophobic จะหันเข้าหาหมึกหรือคราบสกปรก



ภาพที่ 8 Micelle (4)

2.8 Collectors

เป็นสารเคมีที่ใส่ในขั้นตอน Repulping หรือ Flotation เพื่อช่วยในกระบวนการดึงหมึกออกแบบการลอยฟองอากาศ โดยอนุภาคของหมึกพิมพ์จะสัมผัสกับ Collector และเริ่มเกาะกลุ่มกันเป็นก้อนอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น จากนั้นกลุ่มของอนุภาคหมึกจะไปสัมผัสกับฟองอากาศต่อ และถูกกำจัดออกไปตรงบริเวณผิวหน้าของเครื่องลอยฟองอากาศ (ภาพที่ 9) นอกจากนั้น Collector ยังช่วยปรับแรงตึงผิวของฟองอากาศ ให้มีความแข็งแรงมากพอที่จะสามารถพาอนุภาคของหมึกลอยขึ้นสู่ผิวหน้าของเครื่องลอยฟองอากาศเพื่อกำจัดต่อไป



ภาพที่ 9 การทำงานของ Collector (1)

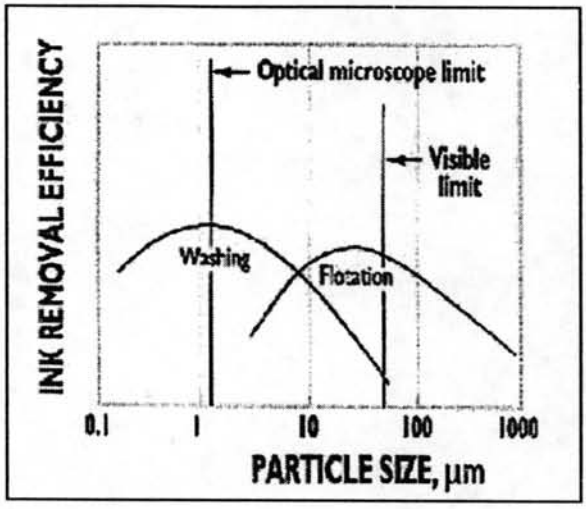
2.9 Displectors

ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในกระบวนการดึงหมึกออกแบบลูกผสม คือ สามารถใช้ได้กับวิธีการล้างและการลอยฟองอากาศ ซึ่งจะให้แรงยึดเกาะต่อฟองอากาศได้ดีในกรณีของการลอยฟองอากาศ และในขณะเดียวกันก็มีสมบัติเป็น Hydrophilic มากพอที่จะไม่ทำให้อนุภาคของหมึกกลับมาติดกับเส้นใยอีก รวมทั้งทนต่อสภาพน้ำกระด้างและไม่ก่อให้เกิดปัญหาการเกิดตะกรัน (Scaling) Displector เป็นสารสังเคราะห์ที่มีสภาพเป็นของเหลวและมักจะมีกลุ่ม Alkoxylated fatty acid derivatives อยู่ด้วย

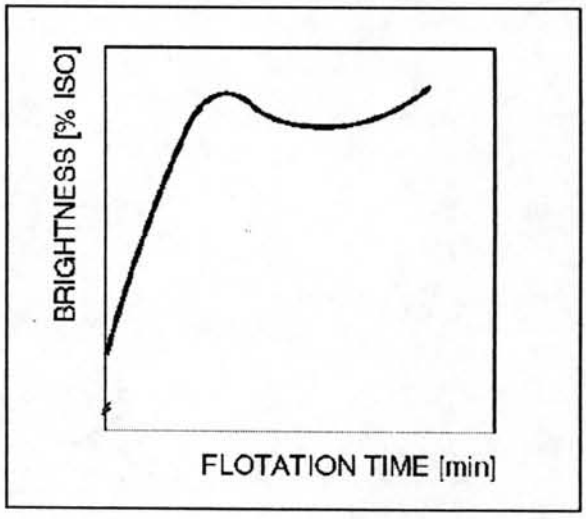
3. กระบวนการดึงหมึกออกด้วยวิธีลอยฟองอากาศ (Flotation deinking)

การดึงหมึกออกด้วยวิธีนี้เกิดขึ้นโดยการทำให้อนุภาคของหมึกไปเกาะติดกับฟองอากาศและลอยขึ้นสู่ผิวหน้าของเครื่องลอยฟองอากาศเพื่อถูกกำจัดต่อไป โดยในกระบวนการ

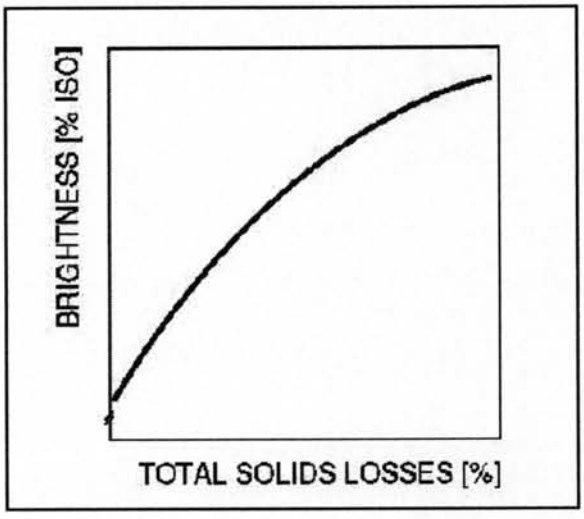
จะใส่สารลดแรงตึงผิวเข้าไปเพื่อทำให้หมึกมีสมบัติไม่ชอบน้ำ และมาเกาะรวมตัวเป็นกลุ่มก้อน ขนาดอนุภาคของหมึกที่เหมาะสมในการลอยฟองอากาศ คือ 10-100 ไมโครเมตร (ภาพที่ 10) ปริมาณผลผลิตและค่าความขาวสว่างของเยื่อที่ได้หลังจากการดึงหมึกออกมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ใช้ในการลอยฟองอากาศดังปรากฏในภาพที่ 11 และ 12 กล่าวคือ ค่าความขาวสว่างมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อใช้เวลาในการลอยฟองอากาศนานขึ้น หากแต่ปริมาณผลผลิตที่ได้จะลดต่ำลง



ภาพที่ 10 อิทธิพลของขนาดอนุภาคหมึกที่มีต่อประสิทธิภาพของการดึงหมึกออกด้วยวิธีการล้างและวิธีลอยฟองอากาศ (5)



ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างความขาวสว่างของเยื่อและเวลาที่ใช้ในการลอยฟองอากาศ (5)



ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างความขาวสว่างของเยื่อและปริมาณผลผลิตที่ได้ (5)

3.1 เคมีของการลอยฟองอากาศ (Flotation chemistry)

เครื่องลอยฟองอากาศ (Flotation cell) เป็นหัวใจของการผลิตเยื่อกระดาษรีไซเคิล เนื่องจากเป็นส่วนที่ทำการขจัดหมึกออกอย่างแท้จริง การขจัดหมึกออกโดยวิธีการลอยฟองอากาศประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้คือ

1. การแยกอนุภาคของหมึกออกจากเส้นใย (เกิดขึ้นในขั้นตอนการตีกระจายเยื่อ)

2. การรวมตัวกันเป็นกลุมก้อนของอนุภาคหมึกโดยใช้สารเคมี (เกิดขึ้นในขั้นตอนการตีกระจายเยื่อหรือการลอยฟองอากาศ)

3. การที่กลุ่มก้อนของอนุภาคหมึกไปเกาะติดอยู่กับฟองอากาศ จากนั้นก็ลอยขึ้นสู่ผิวหน้าของเครื่องลอยฟองอากาศเพื่อถูกขจัดต่อไป

การขจัดหมึกออกโดยวิธีการลอยฟองอากาศจะสมบูรณ์ได้ก็ต่อเมื่อ

1. อนุภาคของหมึกต้องมีการชนกับฟองอากาศ

2. การชนกันจะต้องทำให้ชั้นฟิลม์ของน้ำที่อยู่ระหว่างผิวหน้าที่อยู่ระหว่างหมึกกับฟองอากาศหมดไป

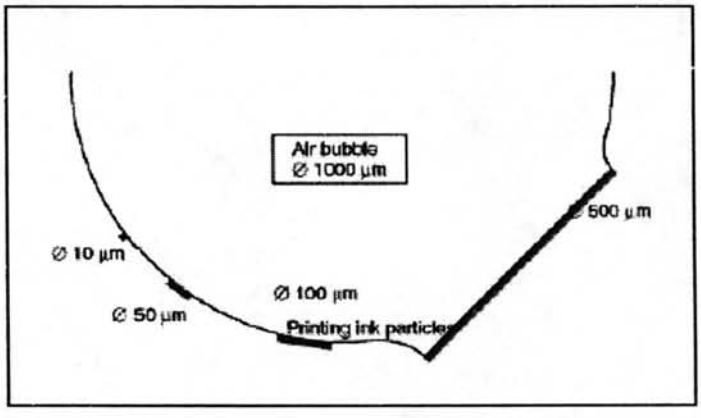
3. อนุภาคของหมึกกับฟองอากาศจะต้องไม่ผลักกัน เพื่อทำให้เกิดข้อ 2. ขึ้นได้

4. อนุภาคของหมึกจะต้องเป็น Hydrophobic เพื่อที่จะได้ยึดติดกับฟองอากาศได้

5. การที่ฟองอากาศและอนุภาคของหมึกที่เกาะติดอยู่จะลอยสู่ผิวหน้าของเครื่องลอยฟองอากาศได้นั้น ฟองอากาศต้องมีความแข็งแรงมากพอจะสามารถเอาชนะแรงที่กระทำต่อมัน อันได้แก่ แรงดึงดูดของโลก (Gravity force) และ Viscous drag ซึ่งพยายามจะแยกอนุภาคของหมึกและฟองอากาศออกจากกัน

3.2 <u>ปัจจัยที่มีผลต่อการดึงหมึกออกโดยวิธีลอยฟองอากาศ</u>

การยึดติดกันของฟองอากาศกับอนุภาคหมึกขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ปริมาณ ขนาด รวมทั้งรูปร่างของอนุภาคหมึกและฟองอากาศ ซึ่งทั้งหมดจะต้องมีความสัมพันธ์กัน ถ้ามีจำนวนของอนุภาคหมึกและฟองอากาศมาก โอกาสที่จะเกิดการชนกันก็จะมีมากขึ้น โดยที่ฟองอากาศขนาดเล็กจะสามารถยึดติดกับอนุภาคหมึกที่มีขนาดเล็กได้ดี ในขณะที่ฟองอากาศขนาดใหญ่จะสามารถยึดติดกับอนุภาคของหมึกทั้งที่มีขนาดใหญ่และขนาดเล็กได้ (ภาพที่ 13) แต่อย่างไรก็ตามในระบบที่ใช้ฟองอากาศขนาดใหญ่ก็จะมีพื้นที่ผิวในการชนกับอนุภาคหมึกน้อยกว่าในระบบที่ใช้ฟองอากาศขนาดเล็ก ดังนั้นในการดึงหมึกออกถ้าต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคหมึกที่มีขนาดเล็กออกไปก็จะต้องใช้ฟองอากาศที่มีขนาดเล็ก (5)

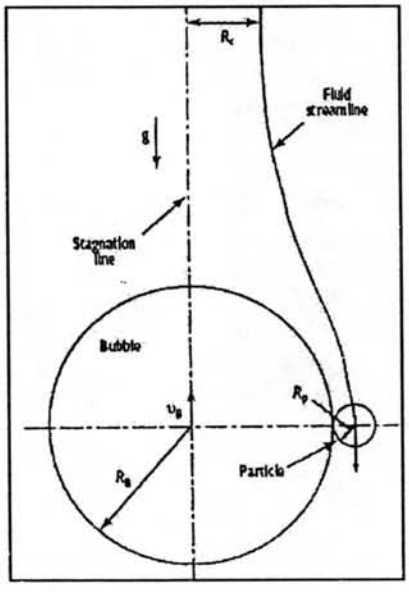


ภาพที่ 13 การยึดติดระหว่างอนุภาคหมึกและฟองอากาศที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มม. (5)

3.2.1 *ความสำคัญของขนาดอนุภาค*

ถ้าอนุภาคของหมึกมีขนาดใหญ่เกินไปเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของฟองอากาศ สภาพปั่นป่วน (Turbulence) ที่สูงภายในเครื่องลอยฟองอากาศจะไปทำให้อนุภาคของหมึกหลุดออกมาจากฟองอากาศ ก่อนที่จะลอยขึ้นไปสู่ผิวหน้าของเครื่องลอยฟองอากาศ แต่ถ้าอนุภาคของหมึกมีขนาดเล็กเกินไปเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของฟองอากาศ ความน่าจะเป็นในการชนกันระหว่างอนุภาคของหมึกและฟองอากาศจะลดน้อยลง เนื่องจากอนุภาคของหมึกมีแนวโน้มที่

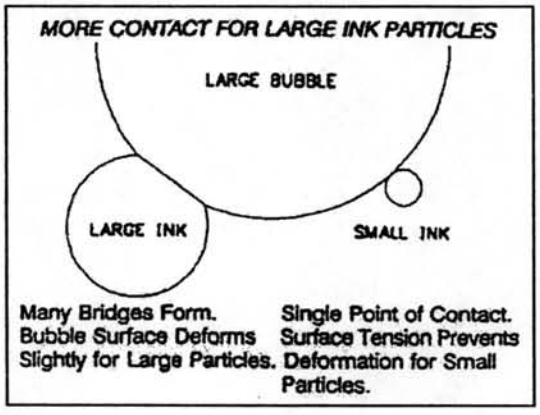
จะไหลไปตามแนว Streamlines (ภาพที่ 14) ที่อยู่รอบฟองอากาศมากกว่าที่จะไปชนกับฟองอากาศโดยตรง (6)



ภาพที่ 14 การไหลของอนุภาคของหมึกตามแนว Streamlines (6)

3.2.2 *ความสำคัญของขนาดของฟองอากาศ*

การควบคุมขนาดของฟองอากาศให้เหมาะสมเป็นหัวใจของเครื่องลอยฟองอากาศโดยฟองอากาศที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 0.3 มม. จะมีแรงพยุงตัว (Bouyancy) มากพอที่จะสามารถดันตัวเองผ่านเครือข่ายเส้นใย (Fiber network) ขึ้นไปสู่ผิวหน้าเครื่องลอยฟองอากาศได้ รวมทั้งสามารถยึดติดกับอนุภาคหมึกที่มีขนาดใหญ่ได้ดี เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอนุภาคของหมึกได้มาก (ภาพที่ 15) ส่วนฟองอากาศที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 0.1 มม. จะมีแนวโน้มที่เกาะติดกับเส้นใยทำให้เส้นใยถูกกำจัดออกไปที่ผิวหน้าของเครื่องลอยฟองอากาศ นอกจากนี้ฟองอากาศที่มีขนาดเล็กเกินไปจะถูกกักตัวด้วยเครือข่ายเส้นใยและมีโอกาสที่จะลอยขึ้นสู่ผิวหน้าของเครื่อง Flotation cell ได้น้อย เนื่องจากแรงพยุงตัวน้อย อย่างไรก็ตามหากฟองอากาศนั้นสามารถผ่านเครือข่ายเส้นใยลอยขึ้นมาได้ ฟองอากาศนั้นก็จะพาเอาเส้นใย (Fiber) และเส้นใยสั้นๆ (Fines) ลอยขึ้นมาด้วย ตามทฤษฎีแล้วขนาดที่เหมาะสมคือ ขนาดของฟองอากาศ : ขนาดของอนุภาคหมึก เท่ากับ 5:1 (7)



ภาพที่ 15 อิทธิพลของขนาดฟองอากาศต่อประสิทธิภาพการดึงหมึกพิมพ์ออก (8)

3.2.3 *ความสำคัญของการผสม (Mixing)*

การที่ฟองอากาศกับอนุภาคหมึกจะมาเกาะติดกันได้นั้นขึ้นอยู่กับการผสมเป็นสำคัญ การผสมทำให้อัตราการชนกันระหว่างอนุภาคของหมึกกับฟองอากาศเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามความเร็วและความแรงของการผสมที่ใช้ต้องเหมาะสม เพราะหากเร็วหรือแรงเกินไปจะทำให้ฟองอากาศกับอนุภาคของหมึกแยกจากกันได้ และจะทำให้ฟองอากาศแตก รวมไปถึงอนุภาคหมึกที่เกาะติดกันอยู่เกิดการกระจายตัวได้

4. การย้อนกลับไปติดที่เส้นใยของหมึก (Ink redeposition) ในขั้นตอนการตีกระจายเยื่อ

การย้อนกลับไปติดที่เส้นใยของหมึกมีผลทำให้คุณภาพของเยื่อที่ได้ลดลงกล่าวคือมีค่าความขาวสว่างลดลงและปริมาณหมึกที่เหลืออยู่เพิ่มมากขึ้น จากงานวิจัยของ Ben และคณะ (9) ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของตัวแปรในขั้นตอนการตีกระจายเยื่อที่มีผลต่อการย้อนกลับของหมึกไปติดที่เส้นใย ซึ่งตัวแปรได้แก่ ความเข้มข้นของเยื่อ ความเร็วในการตีกระจายเยื่อ เวลาในการตีกระจายเยื่อ เวลาในการเก็บเยื่อ และพลังงานที่ใช้ในการตีกระจายเยื่อ (Specific energy) ในการทดลองนี้ใช้เยื่อเชิงกลและหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟี รวมถึงมีการใช้สารเคมี ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมซิลิเกต DTPA และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในขั้นตอนการตีกระจายเยื่อ หลังจากการตีกระจายเยื่อจะแบ่งเยื่อส่วนหนึ่งไปผ่านกระบวนการล้างแบบ Hyperwashing (การล้างเยื่อด้วยน้ำหลายๆ รอบจนกระทั่งน้ำที่ออกมาจากเยื่อใส) เพื่อหาปริมาณหมึกที่ยังเหลือค้างอยู่ทั้งบริเวณผิวหน้าและในเส้นใย ซึ่งการล้างแบบ Hyperwashing จะสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับการติดของอนุภาคหมึกและการย้อนกลับของหมึกไปติดที่เส้นใยได้อย่างแท้จริง โดยหากปริมาณหมึกที่เหลืออยู่หลังจากผ่านการล้างมีค่าสูง แสดงว่าเกิดการย้อนกลับของหมึกไปติดที่เส้นใยสูงและจำนวนหมึกที่ติดอยู่มีมาก จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีและใช้

เวลาในการตีกระจายเยื่อมากขึ้นปริมาณหมึกที่เหลืออยู่มีค่าสูงขึ้น รวมทั้งถ้ามีการใช้ความเข้มข้นของเยื่อสูง ความเร็วในการตีกระจายเยื่อสูง จะยิ่งทำให้เกิดปัญหาการย้อนกลับของหมึกไปฝังตัวอยู่ในเส้นใยมากขึ้น กล่าวคือ ส่งผลทำให้อนุภาคของหมึกมีขนาดเล็กลงมากจนกระทั่งมีโอกาสย้อนกลับไปติดที่เส้นใย ซึ่งที่บริเวณผิวหน้าของเส้นใยจะมีหมึกเกาะอยู่น้อย โดยหมึกมักจะฝังตัวอยู่บริเวณผิวที่ขรุขระของช่องว่างตรงกลางของเส้นใยมากกว่า

5. การถูกกักอยู่ในเครือข่ายฟองอากาศของเส้นใย (Physical entrapment) ในขั้นตอนการลอยฟองอากาศ

Eckert และคณะ (10) ได้ทำการทดลองโดยตั้งสมมติฐานว่าความยาวของเส้นใยน่าจะมีผลต่อการแยกเส้นใยมากกว่าเคมีของเส้นใย โดยเส้นใยยาวจะถูกกักเก็บอยู่ในเครือข่ายของฟองอากาศ ได้ดีกว่าเส้นใยสั้น ในการทดลองใช้เยื่อเชิงกล ที่มีค่าเฉลี่ยของความยาวของเส้นใยต่างกัน โดยมีการใช้น้ำมันดินซึ่งทำหน้าที่เช่นเดียวกับสารลดแรงตึงผิวที่ไปช่วยในการลอยฟองอากาศ และมีการใช้ความเข้มข้นของเยื่อต่าง ๆ กัน เมื่อทำการลอยฟองอากาศแล้วทำการชั่งน้ำหนักและคำนวณปริมาณของเยื่อที่แยกมากับฟองอากาศ รวมทั้งสุ่มตัวอย่างของเยื่อเริ่มต้นก่อนการลอยฟองอากาศ และเยื่อที่ถูกแยกออกไปกับฟองอากาศ รวมทั้งเยื่อที่เหลืออยู่ในเครื่องลอยฟองอากาศ เพื่อนำมาทำการวัดค่าความยาวเฉลี่ยของเส้นใย (Average fiber length) จากผลการทดลองพบว่า ความยาวเฉลี่ยของเส้นใยที่อยู่ในเครื่องหลังจากที่ทำการลอยฟองอากาศแล้วมีค่าลดลง แสดงว่าเส้นใยยาวได้ถูกแยกออกไปกับฟองอากาศเป็นส่วนใหญ่ส่งผลให้ความยาวเฉลี่ยของเส้นใยที่เหลืออยู่น้อยลง ในส่วนอิทธิพลของความเข้มข้นของเยื่อพบว่า ยิ่งมีความเข้มข้นสูง เส้นใยจับตัวเป็นกลุ่มก้อนและมีการสร้างเครือข่ายเส้นใย (Fiber network) ที่มีความแข็งแรงสูง กระทั่งอิทธิพลของการผสมในเครื่องลอยฟองอากาศก็ไม่สามารถทำลายเครือข่ายของเส้นใยนี้ได้ ทำให้เส้นใยยาวไม่มีความอิสระเพียงพอที่จะถูกแยกออกมากับฟองอากาศได้สะดวกเหมือนกับในกรณีที่เยื่อมีความเข้มข้นต่ำ Eckert และคณะได้อธิบายกลไกที่เกิดขึ้นว่าเส้นใยยาวจะถูกกักเก็บอยู่ในเครือข่ายของฟองอากาศมากกว่าเส้นใยสั้น เพราะว่าเส้นใยสั้นมีโอกาสที่จะแยกตัวออกจากเครือข่ายฟองอากาศกลับลงมาสู่เครื่องลอยฟองอากาศมากกว่า ในขณะที่เส้นใยยาวไม่สามารถแยกตัวกลับมาได้ เนื่องจากติดอยู่กลางระหว่างเส้นทางที่คดงอไปมาในเครือข่ายฟองอากาศ หรือเรียกว่า เกิด Mechanical or Physical entrapment ของเส้นใยยาวในเครือข่ายฟองอากาศมากกว่า นอกจากนี้ Eckert และคณะได้ทำการศึกษาถึงตัวแปรอื่นๆ ที่มีผลต่อกระบวนการแยกเส้นใย พบว่าการใช้ฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้เยื่อที่ถูกแยกออกมากับฟองอากาศมีขนาดของความยาวเส้นใยมากขึ้น ขณะเดียวกันอัตราการไหลของฟองอากาศยิ่งสูงขึ้น ทำให้ขนาดของเส้นใยที่ถูกแยก

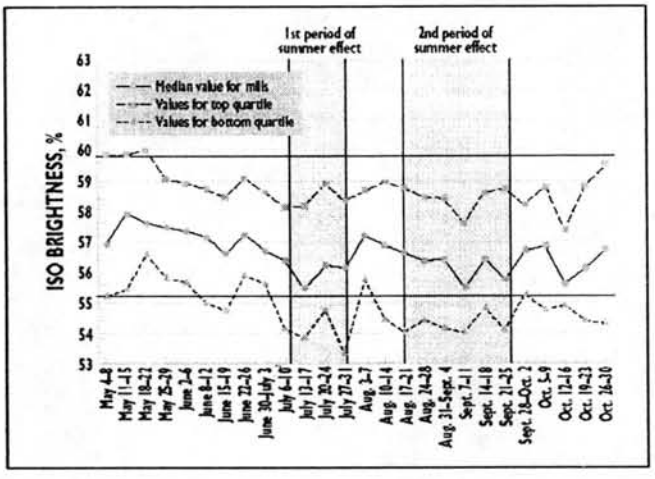
มากับฟองอากาศมีความยาวมากขึ้น อย่างไรก็ตามอิทธิพลของอัตราการไหลของฟองอากาศมีผลต่อการแยกเส้นใยน้อยกว่าขนาดของฟองอากาศ

6. การเก็บกระดาษ (Aging of paper)

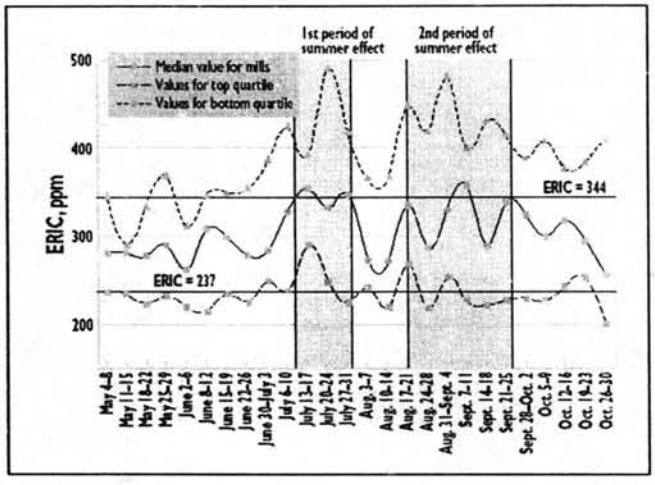
สภาวะของการเก็บกระดาษมีผลต่อประสิทธิภาพการดึงหมึกออกจากกระดาษ โดยอาจทำให้ประสิทธิภาพในการดึงหมึกออกเพิ่มขึ้นหรือลดลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ สภาพความชื้น ระยะเวลาในการเก็บ สภาพการเก็บ และชนิดของหมึกพิมพ์ที่ใช้ เป็นต้น

Ciampa (11) ทำการศึกษาเกี่ยวกับระยะเวลาในการเก็บกระดาษที่ผ่านการพิมพ์ด้วยหมึกเฟล็กโซกราฟีฐานน้ำก่อนนำไปดึงหมึกออกพบว่า ระยะเวลาในการเก็บนานขึ้น ทำให้หมึกมีการกระจายตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ น้อยลง ส่งผลให้ขนาดของหมึกพิมพ์เฟล็กโซกราฟีฐานน้ำซึ่งปกติแล้วมีขนาดเล็กเกินกว่าที่จะถูกกำจัดออกด้วยวิธีลอยฟองอากาศ มีขนาดใหญ่ขึ้นจนสามารถนำไปขจัดหมึกพิมพ์ออกด้วยวิธีการลอยฟองอากาศได้ ทำให้การดึงหมึกออกด้วยวิธีการลอยฟองอากาศในกรณีที่ใช้ระยะเวลาในการเก็บนาน มีประสิทธิภาพสูงกว่าที่ใช้ระยะเวลาในการเก็บสั้น ส่วนในกรณีของหมึกออฟเซตฐานน้ำมันพบว่า การเก็บกระดาษนานขึ้นทำให้การดึงหมึกออกทำได้ยากขึ้นเนื่องจากหมึกมีระยะการแห้งตัวนานขึ้น ส่งผลให้หมึกยึดติดแน่นมากขึ้นกับเส้นใย (1)

จากงานวิจัยของ Haynes (12) ซึ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบจากการเก็บกระดาษในช่วงฤดูร้อน (Summer effect) ต่อการหลุดของหมึก (Ink detachment) ในกระบวนการดึงหมึกออกจากกระดาษที่ผ่านการพิมพ์ด้วยหมึกออฟเซต โดยได้มีการทดลองในห้องทดลองซึ่งเก็บกระดาษในภาวะที่มีอุณหภูมิสูงเพื่อเลียนแบบการเกิดผลกระทบจากฤดูร้อนเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากโครงการ "Free Ink" ซึ่งเป็นการใช้ตัวอย่างเยื่อที่ทำการดึงหมึกออกแล้วจากโรงงานที่ผลิตเยื่อกระดาษรีไซเคิล 33 แห่ง ในการศึกษานี้มีการกำหนดตัวแปรต่างๆในการตีกระจายเยื่อคือ ปริมาณด่างที่ใช้ (Alkaline charge) อัตราส่วนของโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ เวลาในการตีกระจายเยื่อ อุณหภูมิที่ใช้ในการตีกระจายเยื่อ ชนิดของสารลดแรงตึงผิว และปริมาณของสารเคมีที่ใช้ (Dosage of deinking chemicals) เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปทำการแก้ไขปรับปรุงกระบวนการดึงหมึกออกในช่วงสภาวะฤดูร้อน จากการเปรียบเทียบข้อมูลพบว่าความร้อนเป็นปัจจัยที่ทำให้การยึดติดของหมึกกับเส้นใย (Ink attachment) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การดึงหมึกออกทำได้ยากขึ้นและปริมาณหมึก (Ink content) ที่เหลืออยู่หลังจากการดึงหมึกออกเพิ่มขึ้นด้วย จากการทดลองสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นในช่วงฤดูร้อนทำให้ค่าความขาวสว่างของเยื่อที่ผ่านการดึงหมึกออกแล้วลดลง (ภาพที่ 16) และมีปริมาณหมึกที่เหลืออยู่เพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 17) สภาวะที่ดีที่สุดในการดึงหมึกออกหลังจากมีการเก็บกระดาษคือ เพิ่มอุณหภูมิและลดเวลาในขั้นตอนการตีกระจายเยื่อ รวมทั้งเพิ่มสภาพความเป็นเบสและปริมาณสารเคมีที่ใช้ให้มากขึ้น



ภาพที่ 16 ค่าความขาวสว่างของเยื่อจากกระดาษที่เก็บไว้ในช่วงต่างๆ ของปี (12)



ภาพที่ 17 ค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ของเยื่อในกระดาษที่เก็บไว้ในช่วงต่างๆ ของปี (12)

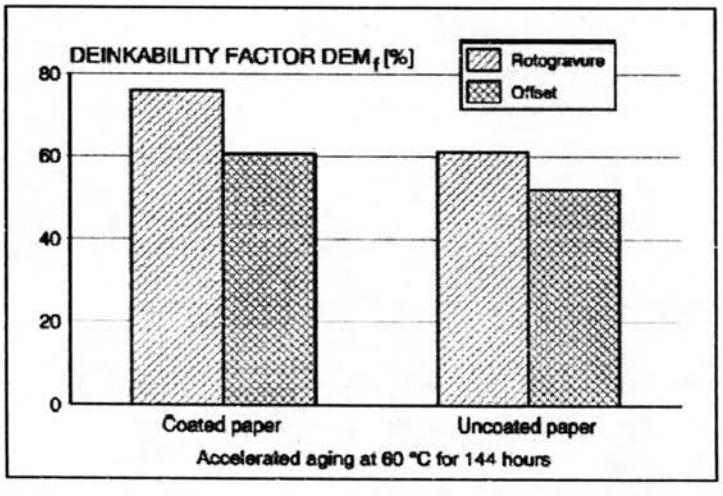
7. ความสามารถในการดึงหมึกพิมพ์ออก (Deinkability)

กระบวนการดึงหมึกพิมพ์ออกต้องคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายอย่าง เช่น ชนิดของกระดาษ ชนิดของหมึกพิมพ์ และกระบวนการในการพิมพ์ ซึ่งกระดาษบางประเภทสามารถดึงหมึกออกได้ง่าย ในขณะที่บางประเภทจะมีปัญหามากในการดึงหมึกออก การดึงหมึกพิมพ์ออกมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ สมบัติของหมึกพิมพ์และสภาพผิวหน้าของกระดาษ กล่าวคือ หมึกแต่ละชนิดมีการแห้งตัวด้วยวิธีที่แตกต่างกัน ความสามารถในการดึงหมึกออกจึงต่างกัน (ตารางที่ 1) นอกจากนี้การพิมพ์บนสภาพผิวหน้าของกระดาษที่แตกต่างกันย่อมส่งผลให้

ความสามารถในการดึงหมึกออกไม่เหมือนกัน อาทิเช่น หมึกที่พิมพ์บนกระดาษเคลือบผิวจะสามารถดึงออกได้ง่ายกว่าหมึกที่พิมพ์บนกระดาษที่ไม่มีการเคลือบผิว (ภาพที่ 18)

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดึงหมึกพิมพ์ออก กลไกการแห้งตัวและกระบวนการในการพิมพ์ (13)

ระบบพิมพ์	กลไกการแห้งตัว	ความสามารถในการดึงหมึกออก
ออฟเซตสำหรับพิมพ์หนังสือพิมพ์ เล็ตเตอร์เพรส ออฟเซตป้อนแผ่น ออฟเซตแห้งตัวด้วยความร้อน	การดูดซึม (และออกซิเดชั่น) การดูดซึมและออกซิเดชั่น การดูดซึม, การระเหย และออกซิเดชั่น	ดึงหมึกออกดีถ้าไม่มีการเก็บหลังจากการเก็บการหลุดออกของหมึกไม่ดีทำให้เกิดปื้นหมึกและจุดหมึก
กราวัวร์	การระเหย	ดึงหมึกออกดี แต่มีแนวโน้มที่เยื่อจะมีสี ซึ่งเกิดจากสีย้อม
เฟล็กโซกราฟี	การระเหย	สำหรับหมึกฐานน้ำ การดึงหมึกออกไม่ดี ถ้าค่า pH ในระบบเป็นเบส
เครื่องพิมพ์เลเซอร์และเครื่องถ่ายเอกสาร (UV และ IR)	แห้งตัวด้วยการฉายรังสี	หมึกโทนเนอร์หลุดออกยากและเกิดจุดหมึกมาก



ภาพที่ 18 ความสามารถในการดึงหมึกพิมพ์ออกของกระดาษเคลือบผิวและไม่เคลือบผิว (5)

8. เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินคุณภาพของเยื่อกระดาษ

8.1 ค่าสภาพระบายได้ (Freeness)

เป็นค่าการทดสอบสมบัติในการให้น้ำไหลผ่านได้ของเยื่อ ค่าสภาพระบายได้ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดคือ Canadian standard freeness (มาตราฐาน TAPPI T-227) (14) ซึ่งเดิมมีจุดประสงค์เพื่อใช้ในการควบคุมการบดเยื่อไม้บดเท่านั้น โดยเยื่อที่มีขนาดสั้นๆ จะให้ค่าสภาพระบายได้ที่ต่ำกว่าเยื่อใยยาวในปริมาณที่เท่ากัน ผลของค่าสภาพระบายได้จะรายงานเป็นค่ามิลลิลิตร (ml)

8.2 การทำแผ่นทดสอบ (Handsheet)

ในการทดลองจะนำเยื่อที่ได้ทั้งก่อนและหลังดึงหมึกออกไปทำเป็นแผ่นทดสอบตามมาตรฐาน ISO-5269/2 (15) โดยแผ่นทดสอบมีน้ำหนัก 75 กรัม/ตารางเมตร จากนั้นนำแผ่นทดสอบที่ได้ไปวัดค่าความขาวสว่างและค่าปริมาณหมึกพิมพ์ที่เหลืออยู่

8.3 ค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ (Yield)

เป็นปริมาณผลผลิตที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการดึงหมึกออกแล้ว คำนวณได้จากปริมาณน้ำเยื่อทั้งหมดที่ใส่ในเครื่องลอยฟองอากาศและปริมาณน้ำเยื่อที่ถูกกำจัดออกมาจากกระบวนการลอยฟองอากาศ

8.4 ความขาวสว่าง (Brightness)

ความขาวสว่างในอุตสาหกรรมกระดาษจะเป็นการวัดค่าการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่นของแสงสีน้ำเงิน (475 นาโนเมตร) (16) เปรียบเทียบกับแผ่นกระจายแสงที่ให้การสะท้อนแสงอย่างสมบูรณ์ (Perfect reflecting diffuser) ตามมาตราฐาน ISO 2469-1977 ความขาวสว่างเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับการกระเจิงแสง (Light scattering) ของเยื่อกระดาษเท่านั้น ฉะนั้นค่าความขาวสว่างจึงเป็นค่าที่มีประโยชน์เฉพาะในการระบุสมบัติการฟอกเยื่อหรือสมบัติในการดึงหมึกออกเท่านั้น การวัดความขาวสว่างยังขึ้นกับอุปกรณ์ที่ใช้ซึ่งมีหลากหลาย ขึ้นอยู่กับการออกแบบลักษณะเชิงเรขาคณิตของระบบแสง (Optical geometry) เป็นสำคัญ อุปกรณ์วัดความขาวสว่างที่ใช้กันอย่างแพร่หลายได้แก่ Technidyne, Elrepho, G.E. และ Photovolt เป็นต้น

ส่วนสาเหตุที่เลือกใช้ช่วงแสงสีน้ำเงินในการวัดค่าความขาวสว่างนั้น เป็นเพราะตามนุษย์และทางด้านจิตวิทยานั้นชอบสีน้ำเงินมากกว่าสีอื่นๆ เมื่อสิ่งของเริ่มเก่ามักมีสีเหลืองปนในสีเดิม ดังนั้นสีน้ำเงินที่เป็นสีคู่ตรงข้ามของสีเหลืองที่แสดงถึงความใหม่จึงเป็นที่นิยมใช้กันมาก โดยทั่วไปแล้วกระดาษที่ไม่ได้ฟอกสี (Unbleached paper) จะมีสีเหลืองถึงสีน้ำตาล และการฟอกกระดาษก็คือการเพิ่มสีน้ำเงินให้กับกระดาษนั่นเอง อย่างไรก็ตามเมื่อเก็บรักษากระดาษเป็นเวลานาน จะเกิดการเสื่อมสภาพความขาวสว่างของเยื่อ (Brightness reversion) โดยอาจเกิดจากปัจจัยในตัวเยื่อเองและปัจจัยด้านกายภาพภายนอก เช่น ความชื้นและความร้อน เป็นต้น

8.5 ค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ (ERIC-Effective Residual Ink Concentration)

เป็นการวัดค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ (ตามมาตราฐาน TAPPI T 567 pm-97) (17) โดยการใช้ทฤษฎี Kubelka-Munk (18) ค่าที่ได้มาจากการวัดค่าการสะท้อนแสงในช่วงอินฟาเรด (IR) ที่ความยาวคลื่น 950 นาโนเมตร ซึ่งสัมประสิทธิการดูดกลืนแสงของหมึกจะมากกว่าสัมประสิทธิการดูดกลืนแสงของเส้นใยและองค์ประกอบอื่นๆ

ในการวัดค่าการสะท้อนแสงของแผ่นทดสอบ จะทำการวัดค่า R_∞ และ R_o โดย

R_∞ คือค่าการสะท้อนแสงของกระดาษแผ่นที่ทดสอบรองด้านหลังด้วยกระดาษชนิดเดียวกันหลาย ๆ แผ่น

R_o คือค่าการสะท้อนแสงของกระดาษแผ่นที่ทดสอบรองด้านหลังด้วยวัตถุสีดำ

เมื่อได้ค่าการสะท้อนแสงของกระดาษมาแล้ว จะนำค่าที่ได้นี้ไปคำนวณหาสัมประสิทธิ์การกระเจิงแสงโดยใช้สมการที่ 2

$$s = [\,1000/(w\,(\,1/R_\infty - R_o))]\,\ln\{(1-R_o\,R_\infty)\,/\,(1-\,R_o\,/\,R_\infty)] \qquad (2)$$

โดย w คือน้ำหนักมาตราฐานของกระดาษ (กรัม/ ม^2)

เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงแสงออกมา จะนำค่าที่ได้ไปใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงโดยใช้สมการที่ 3

$$k = s\,[(1-R_\infty)^2 / 2\,R_\infty\,] \qquad (3)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงที่ได้จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ซึ่งคำนวณจากสมการที่ 4

$$ERIC = (k_{sheet} / k_{ink})\ 10^6 \qquad (4)$$

k_{sheet} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของเยื่อหรือกระดาษที่มีหมึกรวมอยู่ด้วย

k_{ink} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของหมึก

วารสารปริทรรศน์

Carrasco และคณะ (19) ได้ทำการวิจัยถึงอิทธิพลของความเข้มข้นของเยื่อ ความเร็วในการกวนและอัตราการไหลของฟองอากาศในการดึงหมึกออกจากกระดาษเคลือบผิวที่พิมพ์ด้วยระบบออฟเซตคุณภาพสูง (Dinking of High-Quality Offset Paper: Influence of Consistency, Agitation Speed, and Air Flow Rate in the Flotation Stage) โดยดูผลของตัวแปรดังกล่าวที่มีต่อค่าความสามารถในการดึงหมึกพิมพ์ออก (Deinkability) ซึ่งดูจากค่าความขาวสว่างของแผ่นทดสอบที่ได้จากเยื่อที่ทำการดึงหมึกออกแล้ว จากผลการทดลองพบว่าตัวแปรทั้งสามตัว มีอิทธิพลสำคัญต่อกระบวนการดึงหมึกออกจากกระดาษ โดยตัวแปรที่มีอิทธิพลมากที่สุดคือ ความเข้มข้นของเยื่อและความเร็วในการกวน ในขณะที่อัตราการไหลของฟองอากาศมีอิทธิพลน้อยที่สุด ถ้าเพิ่มภาวะของตัวแปรให้สูงขึ้น ค่าความสามารถในการดึงหมึกพิมพ์ออกจะสูงขึ้น แต่ถ้าสูงมากเกินไปจะทำให้ระบบขาดเสถียรภาพ ค่าที่ได้ก็จะต่ำลง

Carre (13) ทำการวิจัยความยากง่ายของการดึงหมึกพิมพ์ออกที่เกี่ยวข้องกับ สูตรหมึกพิมพ์ กระบวนการพิมพ์และชนิดของกระดาษ (Dinking Difficulties Related to Ink Formulation, Printing Process, and Type of Paper) โดยการหาค่าความสามารถในการดึงหมึกพิมพ์ออกของกระดาษซึ่งผ่านกระบวนการพิมพ์และใช้หมึกพิมพ์ที่แตกต่างกัน พบว่ากระดาษหนังสือพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยหมึกออฟเซตฐานน้ำมันพืช (Vegetable oil-based) จะมีความสามารถในการดึงหมึกพิมพ์ออกต่ำกว่าหมึกฐานน้ำมันแร่ (Mineral oil-based) โดยเปรียบเทียบจากค่าความขาวสว่างและปริมาณหมึกที่เหลืออยู่ เนื่องจากกระบวนการแห้งตัวของหมึกฐานน้ำมันพืช นั้นเร็วกว่าหมึกฐานน้ำมันแร่ และเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางของพันธะคู่ภายในโครงสร้างหมึก การเชื่อมขวางนี้จะมีความแข็งแรง โดยการยึดติดกันระหว่างหมึกกับเส้นใยเหมือนกับอนุภาคของโทนเนอร์ ส่งผลให้การดึงหมึกออกทำได้ยาก

Ciampa (11) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับระยะเวลาในการเก็บกระดาษที่ผ่านการพิมพ์ด้วยหมึกเฟล็กโซกราฟีฐานน้ำก่อนนำไปดึงหมึกออก (The Effects of Repulping Variables on Deinking of Flexographic Ink) จากการศึกษาพบว่ากระดาษที่มีอายุการเก็บนานกว่าส่งผลให้มีการดึงหมึกออกด้วยวิธีลอยฟองอากาศได้ง่ายกว่ากระดาษที่มีอายุในการเก็บน้อยกว่า เนื่องจากขนาดของหมึกพิมพ์เฟล็กโซฐานน้ำปกติแล้วมีขนาดเล็กเกินกว่าที่จะกำจัดออกด้วยวิธีลอยฟองอากาศ มีขนาดใหญ่ขึ้นจนสามารถนำไปขจัดหมึกพิมพ์ออกด้วยวิธีการลอยฟองอากาศได้ ทำให้การดึงหมึกออกด้วยวิธีการลอยฟองอากาศในกรณีที่ใช้ระยะเวลาในการเก็บกระดาษนาน มีประสิทธิภาพสูงกว่าที่ใช้ระยะเวลาในการเก็บกระดาษสั้น

Haynes (12) ได้ทำการวิจัยถึงผลกระทบจากฤดูร้อนต่อการดึงหมึกออกจากกระดาษ (The Impact of the Summer Effect on Ink Detachment and Removal) โดยการรวบรวมข้อมูลและศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของอุณหภูมิในช่วงฤดูร้อนของประเทศในแถบอเมริกาเหนือที่มีผลต่อการดึงหมึกออกจากกระดาษหนังสือพิมพ์ ซึ่งจากการศึกษาและทดลองพบว่า อุณหภูมิที่สูงขึ้นในช่วงฤดูร้อนทำให้ค่าความขาวสว่างของเยื่อที่ผ่านการดึงหมึกออกแล้วลดลง และมีปริมาณหมึกที่เหลืออยู่เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เพราะว่า ความร้อนเป็นปัจจัยที่ทำให้การยึดติดของหมึกกับเส้นใย) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณหมึกที่เหลืออยู่หลังจากการดึงหมึกออกเพิ่มขึ้นด้วย จากผลการทดลองสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นในช่วงฤดูร้อนทำให้ค่าความขาวสว่างของเยื่อที่ผ่านการดึงหมึกออกแล้วลดลง