

กระดาษรีไซเคิล

(Recycling Paper)

รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์

ธีรวัชย์ วัตตโนรอน्मงคล

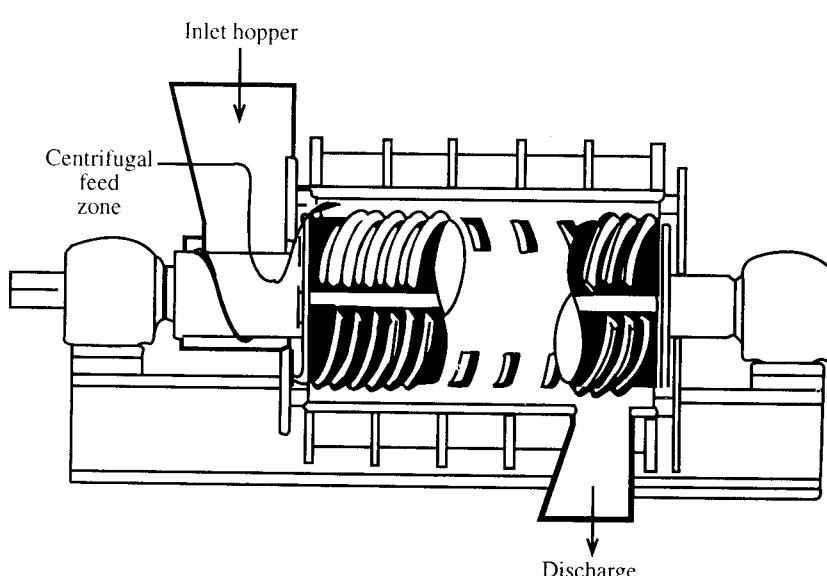
(ต่อจากฉบับที่ 150)

1.6 การกระจายหมึก (dispersion) เป็นขั้นตอนที่ทำให้ขนาดของอนุภาคสิ่งสกปรก เช่น หมึกพิมพ์ ไข หรือวนิช มีขนาดเล็กลง จนไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ในขั้นตอนนี้จะมีการใช้ทั้งพลังงานความร้อนและ พลังงานกลเข้าช่วย เพื่อทำให้ออนุภาคของสิ่งสกปรกอ่อนนุ่มและแตกกระจายตัวผสม เป็นเนื้อเดียวกันได้ดี แต่จะไม่มีการกำจัดอนุภาคของสิ่งสกปรกทั้งไป การที่สิ่งสกปรก

ถูกทำให้มีขนาดเล็กลงไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจะเป็นการช่วยลดจำนวนจุดสกปรกที่ปรากฏผิดกระดายลง ได้เป็นอย่างมาก การกระจายหมึกจะทำที่ความชื้นของน้ำ เยื่อสูงมากถึงร้อยละ 25-30 เครื่องจักรที่ใช้ในการกระจายหมึกมีชื่อเรียกว่าเครื่องดึงแมชชีน (kneading machine) ดังภาพที่ 8 เยื่อจะถูกอัดเข้าไปในเครื่องทำให้เกิดแรงเฉือน (shear force) ซึ่งเกิดจากการเสียดสีกัน

ระหว่างเส้นใยทำให้หมึกพิมพ์หรือสีสกปรกหลุดออกจากเส้นใยและมีขนาดเล็กลง

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาติดตั้งขั้นตอนการกระจายหมึกเพิ่มขึ้นอีกขั้นตอนหนึ่ง ก่อนขั้นตอนการลอกหมึกพิมพ์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกหมึกออกจากเส้นใย โดยเฉพาะการแยกหมึกพิมพ์ออกจากเศษกระดาษที่พิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์บูร์ (UV ink) หรืออิงค์เจ็ท (Ink jet) เป็นต้น



ภาพที่ 8 แสดงเครื่องกระจายหมึกแบบนีดดิ้งแมชชีน (kneading machine)

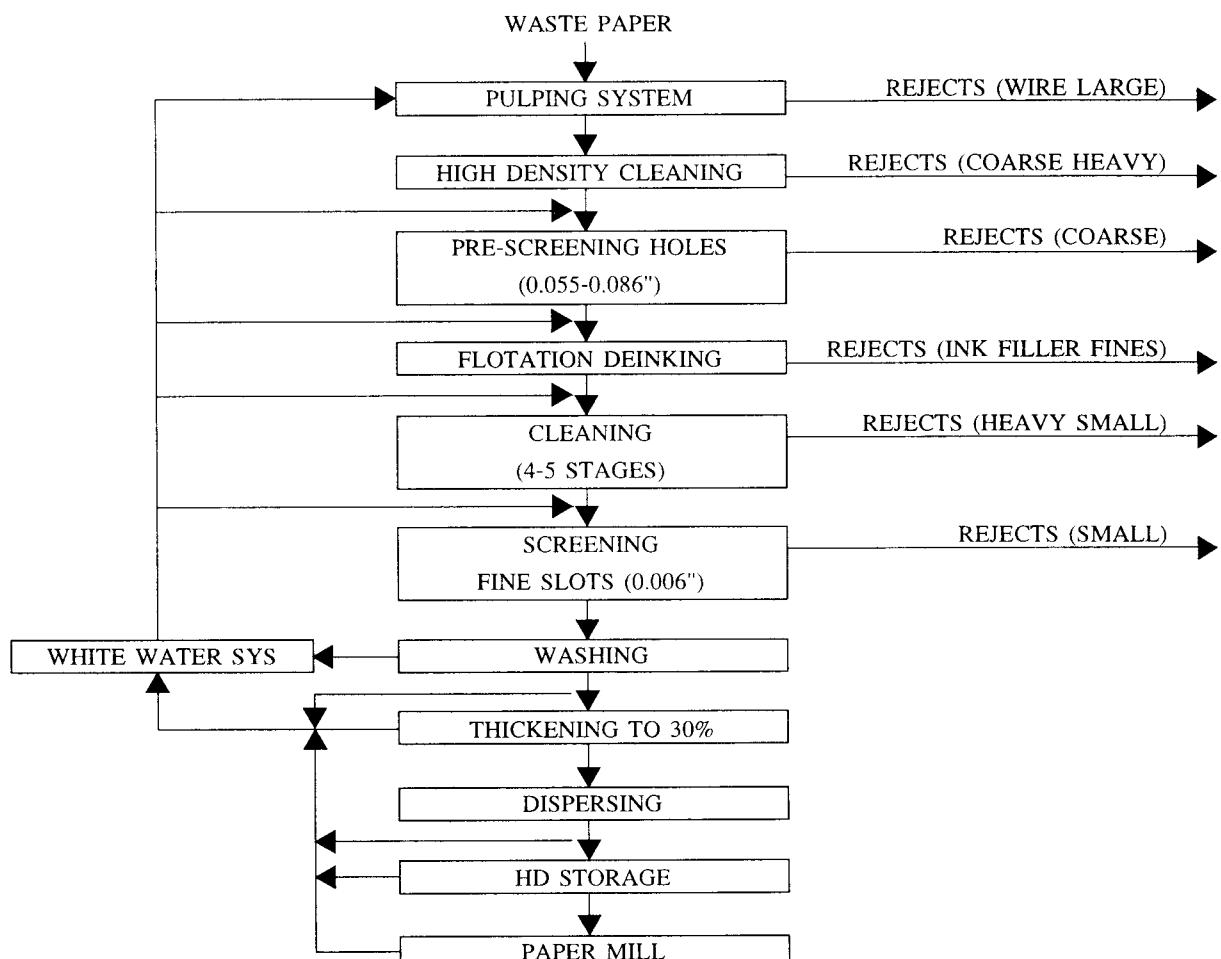
ที่มา : Recycled Paper Technology.,TAPPI Press 1994 : p. 155

1.7 การฟอกเสื้อ (bleaching) เป็นขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการแยกหมึกพิมพ์ออกจากเศษกระดาษก่อนจะจ่ายเข้าสู่เครื่องจักรผลิตกระดาษต่อไป ในการผลิตกระดาษพิมพ์และเขียนเยื่อเวียนทำใหม่ที่ได้จำเป็นต้องผ่านกระบวนการฟอก เพื่อเพิ่มศักยภาพทางด้านทัศนศาสตร์ เช่น ความขาวสว่าง โดยใช้สารเคมีในการฟอก ได้แก่ ไฮโดรเจนเบอร์ออกไซด์ ไฮโดรซัลไฟฟ์ พอร์มาโนเด็นชัลฟินิก แอดสิก (Formamidine Sulfonic Acid : FAS) ออกซิเจน คลอรีน แคลเซียมไออกไซด์ คลอรีนไดออกไซด์ เป็นต้น โดยระบบการฟอกอาจเป็นแบบดังเดิม หรือ แบบปราศจากคลอรีน (Total chlorine free, TCF) หรือแบบปราศจากธาตุคลอรีน (Elemental chlorine free, ECF) จะขึ้นกับชนิดของกระดาษที่โรงงานต้องการผลิต เช่น

โรงงานที่ผลิตกระดาษหนังสือพิมพ์และโรงงานที่ผลิตกระดาษพิมพ์เงิน จะใช้ระบบการฟอกที่แตกต่างกัน

ในปัจจุบันได้มีการรวมขั้นตอนด่างๆ ในกระบวนการแยกหมึกพิมพ์ออกจากเส้นใยเข้าด้วยกันให้อยู่ในรูปของระบบรวม (combination system) เนื่องจากการแยกหมึกพิมพ์ในแต่ละขั้นตอนมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ดังนั้นเราสามารถเลือกใช้ขั้นตอนในการแยกหมึกพิมพ์ออกจากเส้นใยได้ เพื่อให้ได้ระบบการแยกหมึกพิมพ์ที่เหมาะสม อาทิเช่น เลือกใช้ขั้นตอนการลอยหมึกพิมพ์ร่วมกับขั้นตอนการล้างหมึกพิมพ์ เพื่อที่จะได้รับรวมข้อดีของทั้ง 2 ขั้นตอนเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งการออกแบบระบบในการแยกหมึกพิมพ์ออกจากเส้นใยนั้นมีหลายแบบ แล้วแต่ความเหมาะสมขึ้นกับการพัฒนาของแต่ละโรงงาน ดังภาพที่ 9

แสดงถึงระบบในการแยกหมึกออกจากเส้นใย เพื่อทำกระดาษหนังสือพิมพ์ ซึ่งความเหมาะสมของระบบที่เลือกใช้ในการแยกหมึกพิมพ์ออกจากเส้นใยจะขึ้นกับคุณภาพของกระดาษที่ต้องการ โดยจะมีหลักการเบื้องต้นในการออกแบบที่เนื่องอนกันคือต้องนำสิ่งสกปรกและสิ่งปฏิกูลน้ำออกจากเส้นใย เช่น พลาสติก และการที่สันปักหมักสือออกก่อนขั้นตอนต่อไป คือ การตัดตั้งอุปกรณ์ที่จะต้องเป็นไปตามกระบวนการ เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพสูงสุด และขั้นตอนสุดท้าย คือ การใช้สารเคมีให้เหมาะสมตลอดกระบวนการ รวมทั้งควบคุมความเป็นกรด-ด่าง (pH) ให้ถูกต้อง ก่อนส่งไปยังเครื่องจักรผลิตกระดาษต่อไป



ภาพที่ 9 แสดงระบบการแยกหมึกพิมพ์ออกจากเส้นใยเพื่อผลิตกระดาษหนังสือพิมพ์
ที่มา : Secondary Fiber Recycling., TAPPI Press 1993 : p. 265

2. สารเคมีที่ใช้ในการแยกหมึกพิมพ์ (deinking chemicals)

ระบบการแยกหมึกพิมพ์จำเป็นต้องใช้สารเคมีเข้าช่วยในการแยกหมึกพิมพ์ออกจากเศษกระดาษโดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

- เพื่อทำให้ออนุภาคของหมึกพิมพ์กระจาย

ตัวออกจากเส้นใยและป้องกันไม่ให้หมึกพิมพ์กลับเข้าไปคิดกับเส้นใย

- เพื่อจัดหมึกออกจากเส้นใยโดยการลอยหมึก (flootation)

- เพื่อทำให้เยื่อเวียนทำใหม่ (recycled pulp) มีความขาวสว่างเพิ่มขึ้น

- เพื่อทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคที่แวดล้อมอยู่ในน้ำและทำให้น้ำใสสะอาด

(clarification and sludge dewatering)

ชนิดของสารเคมีและการประยุกต์ใช้ในระบบการแยกหมึกพิมพ์ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงสารเคมีที่ใช้ในระบบการแยกหมึกพิมพ์ (deinking system chemicals)

chemical	Pulper	Flootation	Bleaching	Clarification and Sludge Treatment
1. Sodium Hydroxide	x		x	
2. Sodium Silicate	x		x	
3. Chelating Agent	x		x	
4. Surfactants	x	x		
5. Dispersants	x			
6. Detackifiers	x			
7. Agglomerators	x			
8. Flotation. Collectors	x	x		
9. Calcium Chloride	x	x		
10. Hydrogen Peroxide	x		x	
11. Sodium Hydrosulphite			x	
12. Formamidine Sulfonic Acid			x	
13. Sulphuric Acid			x	
14. Alum				x
15. Flocculation Polymers				x

ที่มา : Secondary Fiber Recycling.. TAPPI Press 1993 ; p. 143

2.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ [sodium hydroxide (NaOH)]

โซเดียมไฮดรอกไซด์ใช้ในการปรับสภาพในการแยกหมึกพิมพ์ให้อยู่ในสภาพะที่เป็นด่าง ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 9.5-11.0 เพื่อทำให้เส้นใยอุ่มน้ำได้ดี มีความยืดหยุ่นและพองตัวมากขึ้น โดยที่ความเป็นด่างที่ใช้จะต้องไม่ทำลายเส้นใย และอัตราส่วนที่ใช้ต้องเหมาะสม เพื่อทำให้เกิดความสมดุลของปฏิกิริยา ทำให้สามารถแยกอนุภาคของหมึกพิมพ์ออกจากเส้นใยและแวนลอยอยู่ในน้ำ อีกทั้งยังทำให้สารยึด (binder) ในหมึกพิมพ์ท้าวไป ซึ่งเป็น oil-based vehicle เกิดปฏิกิริยา saponification กลายเป็นสบู่และ

แอลกอฮอล์ นอกเหนือนี้ยังป้องกันการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนของหมึกพิมพ์ที่มีอนุภาคเล็กๆ ซึ่งจะยากต่อการแยกหมึกพิมพ์ออกในขั้นตอนการล้างเยื่อ (washing) ปริมาณที่ใช้อยู่ในช่วงร้อยละ 3-5 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง

2.2 สารลดแรงตึงผิว (surfactants)

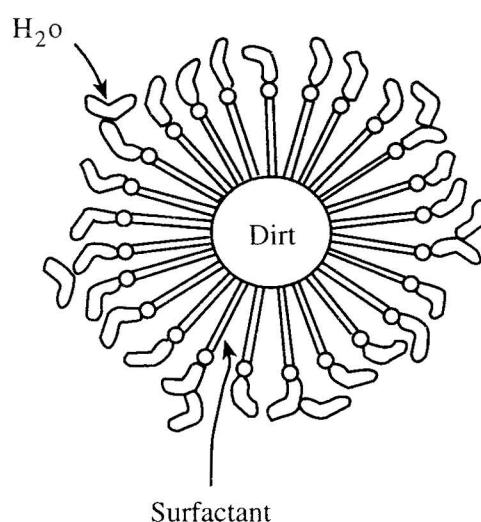
สารลดแรงตึงผิวที่ใช้มีหลายชนิด การเลือกใช้ชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับความต้องการ สารลดแรงตึงผิวนี้รวมไปถึงพูก dispersants, collectors, wetting agents, displocitors, antiredeposition aids และสารอื่นๆ ที่คล้ายๆ กัน สารลดแรงตึงผิวนี้องค์ประกอบอยู่ 2 ส่วน คือส่วนที่ชอนน้ำ (hydrophilic part) มีรูปร่างเป็นทรงกลม ซึ่งเป็นกลุ่มไอออนิก

แบ่งเป็นขั้วบวก (+) ขั้วลบ (-) และมีขั้วขั้วบวกและขั้วลบ (\pm) แล้วแต่ชนิดของสารลดแรงตึงผิว ส่วนที่ไม่ชอนน้ำ (hydrophobic part) ซึ่งเป็นกลุ่มของไฮดรคาร์บอนที่มีสายไข่ดาว ดังภาพที่ 10 หน้าที่โดยทั่วไปของสารลดแรงตึงผิว คือ ทำให้เกิดฟองลดแรงตึงผิวของน้ำ ช่วยให้ผิวเส้นใยเปียกน้ำ ช่วยในการแยกหมึกพิมพ์ออกจากเส้นใยและกระจายตัวออก โดยทันทัวที่ชอนน้ำเข้าหากันและหันขั้วที่ไม่ชอนน้ำเข้าหากัน ซึ่งได้แสดงในรูป "micelle" ดังภาพที่ 11 ปริมาณที่ใช้ในการแยกหมึกพิมพ์ออกจากเส้นใยประมาณร้อยละ 1-2 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง

Hydrophobic Part	Hydrophilic Part	Na^+	Schematic Presentation
$\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_n$	COO^-		
		—○—	Structure A
		○—○—○	Structure B
		—○—	Structure C
Ionic Compounds		Nonionic Compounds	
—○— Anionic Sulfonates Sulfates Carboxylates Phosphates	—+— Cationic Ammonium Pyridinium Imidazolinium Piperidinium Sulfoxonium Compounds etc.	—+— Amphoteric Aminocarbon acids etc.	—N— Nonionic Alkyl Alkylaryl Acyl Acylamid Acylamin polyglycolethers Polyolester Alkanolamides

ภาพที่ 10 แสดงโครงสร้างและชนิดของสารลดแรงตึงผิว (Surfactants)

ที่มา : Secondary Fiber Recycling., TAPPI Press 1993 ; p. 144



ภาพที่ 11 Surfactant micelle

ที่มา : Recycling., TAPPI Press 1993 ; p. 77

2.3 สารช่วยกระจาย (dispersants)
ทำหน้าที่นำอนุภาคของหมึกพิมพ์และสิ่งสกปรกออกจา薛น้ำในขั้นตอนการล้างหมึกเป็นสารลดแรงตึงผิวนิดหนึ่ง เช่น nonylphenol ethoxylate และ linear ethoxylated alcohols โดยทำให้อนุภาค

หมึกพิมพ์บนน้ำมาก ๆ เพื่อให้สามารถหลุดลอดผ่านตะแกรงออกไปพร้อมกับน้ำได้ดี

2.4 สารคอลเลกเตอร์ (synthetic collectors)

สารคอลเลกเตอร์ทำหน้าที่รวมรวมอนุภาคของหมึกพิมพ์ซึ่งหลุดออกจา薛น้ำ

แล้วเข้ามารวมด้วยกันเป็นกลุ่มก้อนเกาะติดกับผิวดองฟองอากาศ ในน้ำจุบันนี้ได้พัฒนาสารเคมีด้านนี้ขึ้นมาโดยการสังเคราะห์ ทำหน้าที่หang เพื่อกระจายและรวมรวมอนุภาคของหมึกพิมพ์ มีชื่อเรียกว่า ดิสเพลคเตอร์ (displetector) เช่น fatty acid akoxylate

2.5 สารฟอก (bleaching agent)

2.5.1 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
(hydrogen peroxide ; H_2O_2)

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ให้เสียใช้ในการ漂白ของกระดาษและกระดาษที่มีสี

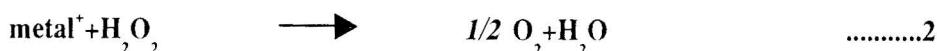
ของหมึกพิมพ์จะคงในสภาพที่เป็นด่าง ปฏิกิริยาของเปอร์ออกไซด์กับโซเดียมไอกโรก

ไฮด์รอกซิลิค แสดงได้ดังสมการ 1



การที่จะทำให้เปอร์ออกไซด์ทำงานได้ดี ต้องทำให้ perhydroxyl ion มีปริมาณมากที่สุด ซึ่งสามารถทำได้โดยการเพิ่มปริมาณของ

โซเดียมไอกโรกไซด์ เพิ่มอุณหภูมิและลด ปริมาณของโซเดียมไอกโรกซิลิค ทำลายเปอร์ออกไซด์ เช่น ปฏิกิริยาของพลาโนโลหะนัก เช่น Mn^{2+} , Cu^{2+} และ Fe^{3+} แสดงได้ดังสมการ 2



จากสมการที่ 2 จะเห็นได้ว่าอ่อนของโลหะนักจะเป็นตัวเร่งให้เปอร์ออกไซด์ เกิดการสลายตัวได้อ่ายาวรวดเร็วถูกลายเป็นออกซิเจนและน้ำ ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการอย่างไรก็ตามสามารถลดปฏิกิริยาห้ามเคลื่อนได้โดยการเติมสาร stabilizing agents เช่น สารคีเลติ้ง และโซเดียมซิลิเกต ซึ่งจะรักษาสภาพให้เปอร์ออกไซด์ทำงานได้ดี

2.5.2 ไฮดร็อกซิไฟเบอร์มามิเดินชัลฟินิกแอดสิต

ในการฟอกแบบรีดักชั่น สารฟอกที่ใช้มี 2 ตัว คือ ไฮดร็อกซิไฟเบอร์ FAS โดยทำหน้าที่กำจัดอนุภาชนะสีหรือหมึกพิมพ์ออกจากเส้นใย

2.6 สารคีเลติ้ง (chelating agents)

สารคีเลติ้งที่ใช้ คือ DTPA (diethylenetriamine penta acetic acid) อยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนซึ่งจะป้อง

กันการสลายตัวของเปอร์ออกไซด์ โดยรวมตัวกับโลหะนัก ปริมาณที่ใช้ขึ้นอยู่กับจำนวนของโลหะนักที่มีอยู่ในน้ำเยื่อ

2.7 โซเดียมซิลิเกต (sodium silicate, Na_2SiO_3)

โซเดียมซิลิเกต หรือ water glass ทำหน้าที่เป็นตัวคงที่สติลิย์ (stabilizing agent) ช่วยทำให้เปอร์ออกไซด์อยู่ตัว ไม่สลายตัวได้ง่าย ช่วยป้องกันการเร่งปฏิกิริยาจากโลหะนัก และยังป้องกันไม่ให้หมึกพิมพ์ข้อนกันไปเกาะที่เส้นใยด้วย

3. การประเมินคุณภาพเยื่อเวียนทำใหม่ (quality of deinked pulp)

เยื่อเวียนทำใหม่ที่ผลิตได้ จะต้องผ่านการตรวจสอบและประเมินคุณภาพของเยื่อว่ามีคุณภาพเทียบเท่าเยื่อใหม่ (virgin pulp) หรือไม่ โดยทดสอบสมบัติต่างๆ ทั้งด้านทัศนศาสตร์

ด้านความแข็งแรงของเส้นใย ว่าจะมีผลอย่างไรต่อสภาพการเดินกระดายคล่อง (runnability) และสมบัติด้านการพิมพ์ (printability) ของกระดาษ

สมบัติที่ประเมิน ได้แก่

- ความยาวเส้นใย (fiber length)
- การอุ้มน้ำของเยื่อ (freeness)
- ความขาวสว่าง (brightness)
- จุดสกปรก (ink specks)
- ปริมาณเถ้า (ash content)
- สิ่งปนเปื้อน (contaminants)
- สมบัติทางเชิงกล (mechanical properties)

- ปริมาณเยื่อเชิงกล (groundwood content)

- ปริมาณสารเพิ่มความเหนียวเมื่อเปียก (wet strength agent)

เอกสารอ้างอิง

Doshi, Mahendra, ed. Recycled paper technology ; an anthology of published papers. Atlanta : TAPPI Press, 1994. p. 85, 155.

Spangenberg, Richard J, ed. Secondary fiber recycling. Atlanta : TAPPI Press, 1993. p. 126, 141, 143-144.

TAPPI Press. Recycling ; a Tappi press resource guide. Atlanta : TAPPI Press, 1993. p. 53, 77, 79-81.

_____. Recycling paper ; from fiber to finished product. vol. 1. Atlanta : TAPPI Press, 1990. p. 403, 409.

สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียว. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทยและสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. ข้อกำหนดของกระดาษฉลากเขียว

(Environmentally Sound Paper) กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2540.