

กระดาษรีไซเคิล (Recycling Paper)

รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์

ธีระชัย รัตนโรจน์มงคล

บทนำ

กระดาษถูกผลิตขึ้นมาเพื่อตอบสนองความต้องการใช้งานของมนุษย์ในหลายรูปแบบนับตั้งแต่ใช้เป็นวัสดุพิมพ์เพื่อการสื่อสารโฆษณา ใช้เป็นวัสดุในการทำกล่องบรรจุสินค้าทั้งเพื่อการขายปลีกและขนส่ง ใช้เป็นวัสดุในการทำกระดาษอัด ตลอดจนใช้งานพิเศษเฉพาะอย่าง เช่น กระดาษฉนวน กระดาษนิรภัย กระดาษก่อสร้างและอื่น ๆ ในแต่ละปีได้มีการผลิตกระดาษออกมาเป็นจำนวนมากมายมหาศาล และมีอัตราการผลิตเพิ่มขึ้นทุกปี สำหรับประเทศไทยมีรายงานของสมาคมอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ ปี 2541 ใต้รายงานเกี่ยวกับปริมาณการใช้กระดาษโดยรวมของคนไทย

เฉลี่ยคนละ 47.2 กิโลกรัมต่อปี และประมาณการว่าในปี 2544 จะมีปริมาณการใช้เพิ่มขึ้นเป็น 60.0 กิโลกรัมต่อปี

อุตสาหกรรมกระดาษเป็นอุตสาหกรรมที่ต้องใช้ทรัพยากรสูงมากทั้งด้านพืชผลทางการเกษตร น้ำ และพลังงาน ยกตัวอย่างเช่น ในกระบวนการผลิตกระดาษเพื่อการพิมพ์ 1 ตัน ต้องใช้ต้นไม้ประมาณ 2.2 ตันหรือเทียบได้กับการใช้ไม้ยูคาลิปตัสอายุ 5 ปี จำนวน 17 ตัน กระแสไฟฟ้า 1,000 กิโลวัตต์ชั่วโมง ใช้น้ำมัน 300 ลิตร ใช้น้ำ 20 ลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้การใช้คลอรีนในการฟอกเยื่อเพื่อทำเป็นกระดาษจะปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อม ดังนั้นหากสามารถนำเศษกระดาษที่ใช้แล้ว

หมุนเวียนกลับมาผลิตเป็นเยื่อเวียนทำใหม่ (secondary or recycled pulp) จะก่อให้เกิดประโยชน์ดังนี้

- ลดการใช้ทรัพยากรไม้
- ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ถึงร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับการผลิตกระดาษจากเยื่อเชิงกล
- ลดการใช้น้ำลง เพราะการใช้เยื่อเวียนทำใหม่ใช้น้ำน้อยกว่า
- ลดปริมาณขยะ
- ลดการเสียดุลทางการค้าเพราะสามารถลดการนำเข้าเยื่อจากต่างประเทศ

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการทำกระดาษจากเยื่อประเภทต่างๆ

	เยื่อเคมีหรือกึ่งเคมี (Virgin Pulp)	เยื่อเชิงกล (Mechanical Pulp)	เยื่อเวียนทำใหม่ (Recycled Pulp)
การใช้ไม้, กิโลกรัมไม้ต่อตันกระดาษ	1,666-2,325	1,02,-1,111	1,100
การใช้พลังงาน, GJ ต่อตันกระดาษ	34.6-53.4	29.1-36.8	13-16.8
การใช้น้ำ, ลูกบาศก์เมตรต่อตันกระดาษ	20-400	5-30	5-16.5
น้ำเสีย; COD, กิโลกรัมต่อตันกระดาษ	20-290	2.7-90	0.8-5
AOX, กิโลกรัมต่อตันกระดาษ	0-10	< 10	0.012-0.2

ที่มา : เอกสารของสหภาพยุโรปจากการวิจัยต่างๆ ในปี 2527-2534

หมายเหตุ 1. GJ = กิโลจูล หรือ 10^9 จูล 2. COD = Chemical Oxygen Demand 3. AOX = Adsorbable Organic Halogen

1. กระบวนการผลิตกระดาษรีไซเคิล (recycling process)

โดยทั่วไปแม้ว่ากระดาษสามารถนำกลับมาเวียนทำใหม่ได้ แต่เนื่องจากกระดาษแต่ละชนิดจะถูกผลิตขึ้นมาโดยมีวัตถุประสงค์การใช้งานที่แตกต่างกันทำให้สมบัติของกระดาษซึ่งรวมถึงองค์ประกอบและโครงสร้างของกระดาษแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันออกไป จากลักษณะการใช้งานเฉพาะอย่างนี้เองที่ทำให้การนำเศษกระดาษใช้แล้วแต่ละชนิดกลับมาเวียนทำใหม่ต้องผ่านกระบวนการเวียนทำใหม่ (recycling process) ที่มีวิธีการที่แตกต่างกันออกไป แม้บางครั้งจะเป็นกระดาษชนิดเดียวกัน อาทิเช่น กระดาษพิมพ์ใช้แล้ว

ซึ่งจะมีหมึกพิมพ์เกาะติดบนผิวกระดาษ การนำกลับมาเวียนทำใหม่ต้องผ่านกระบวนการแยกหมึกพิมพ์ออก ซึ่งจะมีวิธีการที่แตกต่างกันออกไปตามฐานหมึก (ink base) ที่ใช้ เยื่อเวียนทำใหม่ที่ได้จะมีคุณภาพดีเพียงใดขึ้นอยู่กับว่าจะสามารถแยกหมึกออกจากเส้นใยได้อย่างหมดจดหรือไม่ ซึ่งนอกเหนือจากชนิดของกระดาษชนิดของหมึกพิมพ์แล้วยังขึ้นกับชนิดของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการแยกหมึกอีกด้วย

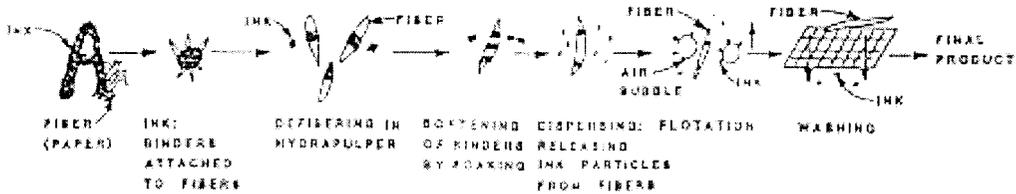
กระบวนการผลิตกระดาษรีไซเคิลจากกระดาษพิมพ์ที่ใช้แล้วโดยทั่วไปจะประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ที่มีการใช้เทคโนโลยีในแต่ละขั้นตอนที่แตกต่างกันออกไป ดังนี้

1.1 การกระจายเยื่อ (pulping หรือ

repulping)

- 1.2 การคัดแยกขนาด (screening)
- 1.3 การลอยหมึกพิมพ์ (flotation)
- 1.4 การทำความสะอาด (cleaning)
- 1.5 การล้างเยื่อ (washing)
- 1.6 การกระจายหมึก (dispersion)
- 1.7 การฟอกเยื่อ (bleaching)

การเลือกใช้ขั้นตอนใดก่อนและหลังจะขึ้นกับการออกแบบระบบของแต่ละโรงงาน โดยทั่วไปแล้ว ขั้นตอนที่ 1-2 จะเรียงเป็นลำดับแรก ส่วนขั้นตอนที่ 3-6 อาจจะมีลำดับที่แตกต่างกันไป การผลิตกระดาษรีไซเคิลสามารถแสดงกลไกการทำงานของแต่ละขั้นตอนเพื่อให้เข้าใจง่าย ดังภาพที่ 1



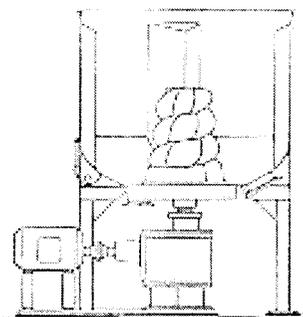
ภาพที่ 1 แสดงขั้นตอนในการผลิตกระดาษรีไซเคิล (Recycling process)
ที่มา : Recycling paper., TAPPI Press 1990., vol 1 : p. 409)

1.1 การกระจายเยื่อ (pulping หรือ repulping) เป็นขั้นตอนเริ่มแรกที่ทำให้เศษกระดาษ ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นวัสดุกลายเป็นเยื่อกระดาษ โดยการใส่เศษกระดาษลงในเครื่องกระจายเยื่อความชื้นสูง หรือที่เรียกว่าพัลพ์เพอร์ (Pulper) เครื่องกระจายที่ใช้อาจเป็นแบบระบบลูกเดียว (batch system) หรือระบบต่อเนื่อง (continuous system) ก็ได้

แต่โดยทั่วไปจะนิยมใช้แบบระบบลูกเดียวมากกว่า แล้วเติมน้ำและสารเคมีลงไปปรับสภาวะให้ได้ตามที่กำหนด โดยทั่วไปจะนิยมใช้สภาวะ ดังนี้

ความชื้นของน้ำเยื่อ, ร้อยละ	8-16
อุณหภูมิ, องศาเซลเซียส	55-70
ความเป็นกรด-ด่าง	9-11
เวลาที่ใช้ในการกระจายเยื่อ, นาที	15-45

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่องกระจายเยื่อให้มีประสิทธิภาพในการผลิตได้สูงขึ้น โดยสามารถกระจายเยื่อได้ที่มีความชื้นสูงถึงร้อยละ 16 ทั้งนี้เพื่อเป็นการ ประหยัดพลังงานและเพิ่มปริมาณการผลิตเยื่อในแต่ละครั้งอีกด้วย ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงเครื่องกระจายเยื่อความชื้นสูง (High consistency batch pulper)
ที่มา : Recycling paper., TAPPI Press 1990., vol 1 : p. 403

เศษกระดาษจะถูกตีให้กระจายตัวแยกออกจากกันเป็นเส้นใยเดี่ยวหรือกลุ่มของเส้นใย และอนุภาคของหมึกพิมพ์จะแขวนลอยอยู่ในน้ำเยื่อ จุดประสงค์หลักของการกระจายเยื่อมีอยู่ 2 ประการ คือ

- เพื่อทำให้อนุภาคของหมึกพิมพ์หลุดจากเส้นใยและมิขนาดของอนุภาคที่เหมาะสมในการกำจัด
- เพื่อป้องกันการกลับปดัดกันใหม่ของอนุภาคหมึกพิมพ์กับเส้นใย

ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการกระจายเยื่อ ได้แก่ ความชื้นของน้ำเยื่อ อุณหภูมิที่ใช้ เวลาที่ใช้ ชนิดของสารเคมี ความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ คุณภาพของเศษกระดาษ สารเคมีที่เติมลงไปเพื่อช่วยในการทำ

ปฏิกิริยาในขั้นตอนนี้ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โซเดียมซัลเฟต สารคีเลตติ้ง (chelating agent) และสารลดแรงตึงผิว (surfactant) สารเคมีแต่ละตัวมีหน้าที่เฉพาะแตกต่างกันไป

1.2 การคัดแยกขนาด (screening) เป็นการแยกสิ่งสกปรกหรือเศษวัสดุที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่โดยใช้ตะแกรงหยาบและละเอียด (coarse and fine screen) ตะแกรงหยาบใช้สำหรับแยกสิ่งสกปรกที่มีขนาดใหญ่ที่มีรูปร่างลักษณะเป็นลูกบาศก์หรือเป็นแผ่น เช่น แผ่นกระดาษ โลหะ แก้ว ทราย รูเปิดของตะแกรงจะมีลักษณะเป็นรูกลม ขนาดของรูเปิดที่นิยมใช้ทั่วไปสำหรับเชื้อเวียนทำใหม่จะมี

ขนาดประมาณ 1.3-2.0 มิลลิเมตร ตะแกรงละเอียดใช้สำหรับแยกสิ่งสกปรกที่มีรูปร่างแบนยาวคล้ายๆ เส้นผม เช่น แผ่นพลาสติก กาวและสารที่ใช้เคลือบกระดาษ รูเปิดจะมีลักษณะเป็นช่องยาว (slot) ความกว้างของรูเปิดประมาณ 0.25-0.46 มิลลิเมตร

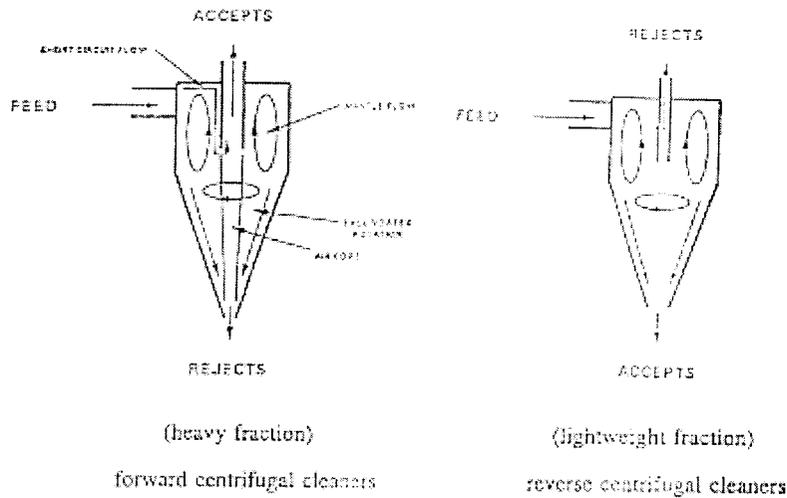
ตะแกรงที่ใช้คัดแยกขนาดในโรงงานส่วนใหญ่จะเป็นแบบ ตะแกรงอัด (pressure screen)

ขนาดและรูปร่างของอนุภาคสิ่งสกปรกแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิดด้วยกัน คือ

1. 3 มิติ (large cubical)
2. 2 มิติ (platelet or flake)
3. 1 มิติ (shive or splinter)

4. ไม่มีมิติ (small cubical)

1.3 การทำความสะอาด (cleaning) เป็นขั้นตอนการแยกสิ่งสกปรกที่มีขนาดเล็กประมาณ 100-1000 ไมโครเมตร โดยอาศัยความต่างจำเพาะของสิ่งสกปรกที่แตกต่างกัน สำหรับสิ่งสกปรกที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1.0 เช่น ทราย โลหะ ถูกแยกออกโดยเครื่องทำความสะอาดแบบฟอเวด (forward centrifugal cleaners) ส่วนสิ่งสกปรกที่มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1.0 เช่น ไขมัน พาราฟิน พลาสติกจะถูกแยกออกโดยเครื่องทำความสะอาดแบบรีเวิร์ส (reverse centrifugal cleaners) ดังภาพที่ 3

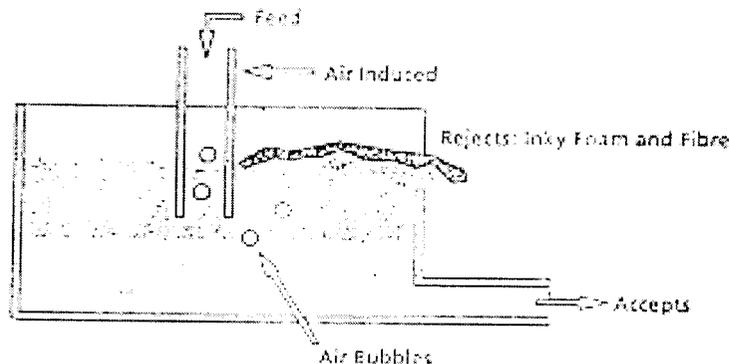


ภาพที่ 3 เครื่องทำความสะอาดแบบฟอเวดและแบบรีเวิร์ส ที่มา : Recycling., TAPPI Press 1993 : p. 53

1.4 การลอยหมึกพิมพ์ (flotation) เป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูงมากในการแยกหมึกพิมพ์ออกจากเส้นใย วิธีนี้จะใช้หลักการโดยการให้อากาศเข้าไปแยกอนุภาคของหมึกพิมพ์ออกจากน้ำเยื่อ ซึ่งต้องใช้กลไก

ทางเคมีและทางเชิงกลร่วมกัน วิธีการนี้ใช้ได้ดีกับการแยกอนุภาคของหมึกพิมพ์ที่มีขนาด 10-100 ไมโครเมตร โดยใส่สารเคมีที่เรียกว่า คอลเล็คเตอร์ (collector) เพื่อทำให้อนุภาคของหมึกพิมพ์อยู่ในสภาวะที่ไม่ชอบน้ำ

(hydrophobic particle) การลอยหมึกพิมพ์นี้จะทำในเครื่องแยกหมึกพิมพ์แบบลอยตัวหรือโฟลเทชันเซลล์ (flotation cell) ลักษณะการทำงานของเครื่อง ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงลักษณะการทำงานของเครื่องแยกหมึกแบบลอยตัวหรือโฟลเทชัน ที่มา : Secondary Fiber Recycling., TAPPI Press 1993 : p. 141

ภายในตัวเครื่องจะมีกลไกทางเชิงกลสำหรับสร้างฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมาก การลอยหมึกพิมพ์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนด้วยกัน คือ

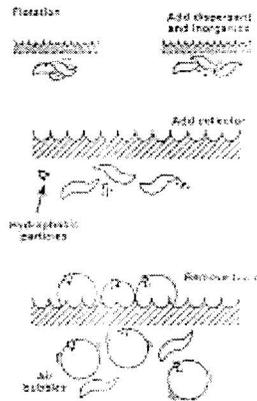
ขั้นตอนแรก เป็นการชนกันของอนุภาค

หมึกกับฟองอากาศ

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการเกาะยึดติดกันของอนุภาคหมึกกับฟองอากาศ

ขั้นตอนที่ 3 เป็นการแยกฟองหมึกออกจากเยื่อ ในขั้นตอนนี้อุณหภูมิของหมึกพิมพ์ที่

ถูกทำให้อยู่ในสภาพที่ไม่ชอบน้ำจะไปเกาะติดกับฟองอากาศและลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ พร้อมกับฟองอากาศกลายเป็นฟองหมึกลอยอยู่บนขอบตั่ง ซึ่งสามารถปาดทิ้งออกได้ง่าย แสดงกลไกในการลอยหมึกพิมพ์ ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงกลไกในการลอยหมึกพิมพ์

ที่มา : Recycling., TAPPI Press 1993 : p. 81

ประสิทธิภาพในการลอยหมึกพิมพ์จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 4 ประการด้วยกัน คือ

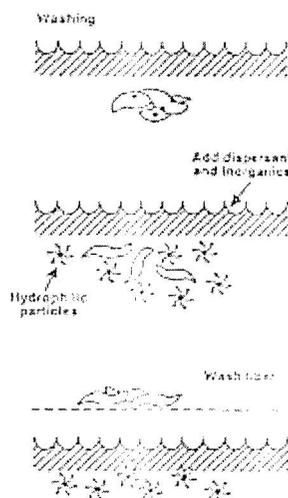
1. สมบัติของอนุภาคหมึกพิมพ์ (properties of ink particles) ซึ่งได้แก่ ขนาด จำนวน และความหนาแน่นของอนุภาคของหมึกพิมพ์
2. สมบัติของฟองอากาศ (properties of air bubble) ซึ่งได้แก่ ขนาดและจำนวนของฟองอากาศและชนิดของก๊าซที่ใช้ รวมทั้งความสามารถในการกระจายและการละลายของก๊าซที่ใช้
3. การผสมให้เข้ากัน (mixing) ได้แก่ ระยะเวลาในการผสม ความเข้มข้นในการผสม
4. สภาวะการลอยหมึก (flotation system) ได้แก่ ความชื้นของน้ำเยื่อ อุณหภูมิ สารเคมีที่ใช้ สภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำ

เยื่อและอื่นๆ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการลอยหมึกจะนิยมทำที่ความชื้นของน้ำเยื่อประมาณร้อยละ 1.0-1.5

เทคโนโลยีการลอยหมึกนี้จะมีการสูญเสียเส้นใยน้อยกว่าเทคโนโลยีการแยกหมึกพิมพ์ในขั้นตอนการคัดแยกขนาดและขั้นตอนการทำความสะอาด

1.5 การล้างเยื่อ (washing) เป็นการแยกอนุภาคของสิ่งสกปรกที่แขวนลอยอยู่กับเส้นใยในน้ำเยื่อให้หลุดลอดผ่านตะแกรงไปกับน้ำโดยอาศัยแรงไฮโดรลิก อนุภาคของสิ่งสกปรกเหล่านี้ได้แก่ อนุภาคของหมึกพิมพ์ สารเติมแต่ง และเส้นใยฝอย (fines) การแยกในขั้นตอนนี้ต้องทำให้อนุภาคหมึกพิมพ์อยู่ในสภาพที่ชอบน้ำก่อน (hydrophilic particle) โดยใช้สาร

ลดแรงตึงผิว (surfactant) และสารช่วยในการกระจายตัว (dispersant) สารเคมีที่ช่วยในการแยกหมึกพิมพ์ออกจากเส้นใยควรเติมลงไปในช่วงตอนการตีเยื่อเพื่อช่วยในการกระจายตัวของหมึกพิมพ์ออกจากเส้นใย และป้องกันไม่ให้หมึกพิมพ์กลับไปติดที่เส้นใยอีกครั้งหนึ่ง สารเคมีที่ใช้ อาทิเช่น สารซักฟอก ระบบนี้สามารถแยกอนุภาคสิ่งสกปรกที่มีขนาดประมาณ 10 ไมโครเมตร โดยเฉพาะอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 5.0 ไมโครเมตร จะถูกแยกออกไปได้ดีที่สุด แต่อนุภาคของสิ่งสกปรกที่มีขนาดใหญ่เกินไปมีแนวโน้มที่ติดอยู่ในร่างแหของเส้นใยในขณะที่ทำการล้างเยื่อ ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงกลไกการล้างหมึกพิมพ์

ที่มา : Recycling., TAPPI Press 1993 : p. 79

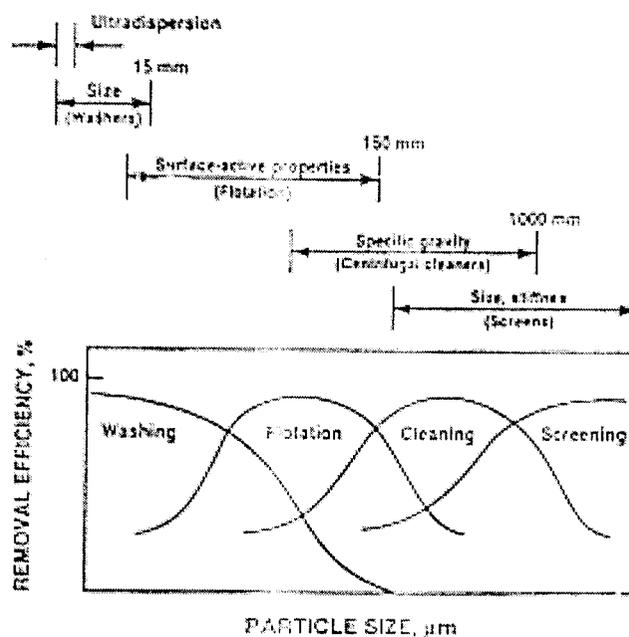


ตารางที่ 2 แสดงขนาดของอนุภาค

China clay		1-2 μm
Kaolin		0.3-5 μm
Titanium dioxide		0.2-0.5 μm
Printing ink after pulping		10-15 μm
Fine	< Wire 50 (1.12 mm wire mesh)	< 120 μm
Short fibers	> Wire 50 < Wire 16	120-400 μm
Long fibers	> Wire 16	> 40 μm
Wire mesh		~ 200 μm

ที่มา : Recycled Paper Technology., TAPPI Press 199 : p. 85

ประสิทธิภาพในการแยกของขั้นตอนการล้างจะขึ้นกับขนาดของอนุภาคของสิ่งสกปรกเป็นสำคัญ



ภาพที่ 7 แสดงประสิทธิภาพในการแยกต่อขนาดของอนุภาค

ที่มา : Recycling., TAPPI Press 1993 : p. 80

(อ่านต่อฉบับหน้า)