

## บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาวัสดุประกอบ

### 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาวัสดุ

P. Paramasivm และคณะ (2006) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยมะพร้าวมาเป็นส่วนประกอบของอาคารเสริมในส่วนของซีเมนต์ คอนกรีต ซึ่งพบว่าเส้นใยเป็นตัวเติมที่เป็นฉนวนแทนการใช้แอสเบสตอส (Asbestos)

Sulaimen และคณะ (1983) ได้ทดลองสร้างบ้านราคาถูกลง ซึ่งส่วนประกอบของอาคารนั้นมีการใช้เกล็ด และปูนขาวผสมกันเป็นซีเมนต์ ในการทำเป็นอิฐ บล็อกและผนัง โดยสร้างหลังคา ก่อน อันประกอบไปด้วยฐานและแผ่นกระเบื้อง ใช้เกล็ดแทนซีเมนต์พอร์ทแลนด์ (Portland Cement) ประมาณ 30% สำหรับพื้นและกรอบประตูและอาคารใช้ซีเมนต์ซอล (Soil Cement) โดยพื้นที่ส่วนที่เป็นแผ่นจะใช้กากแร่ ซีเมนต์พอร์ทแลนด์ และปูนขาวผสมกัน

Khedari และคณะ (2001) ได้ศึกษาการนำความร้อน ค่าการรับแรงอัด และความหนาแน่นของอิฐมวลเบาที่ทำจากเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยทุเรียนผสมกับทรายและซีเมนต์ ผสมกันผลิตเป็นวัสดุก่อสร้าง ผลการทดลองพบว่าการเพิ่มเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยทุเรียนเข้าไปในส่วนจะช่วยลดค่าการนำความร้อนลง โดยความยาวที่เหมาะสมของเส้นใยคือ 2 มิลลิเมตร และมีอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ ปริมาณเส้นใยมะพร้าวเป็นร้อยละ 20 ของปริมาณซีเมนต์ (โดยน้ำหนัก) ซึ่งจะได้ค่าการนำความร้อน  $0.2543 \text{ W/m.K}$ . ค่าการรับแรงอัด  $24.52 \text{ kg/cm}^2$  (บ่มน้ำที่ 9 วัน) และมีค่าความหนาแน่นที่  $958.8 \text{ kg/m}^3$  และสำหรับอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับเส้นใยทุเรียน คือ ปริมาณเส้นใยทุเรียนเป็นร้อยละ 10 ของปริมาณซีเมนต์ (โดยน้ำหนัก) ซึ่งจะได้ค่าการนำความร้อน  $0.3506 \text{ W/m.K}$ . ค่าการรับแรงอัด  $33.6 \text{ kg/cm}^2$  (ระยะเวลาบ่มน้ำ 9 วัน บ่มอากาศอีก 12 วัน) และค่าความหนาแน่น  $1456 \text{ kg/m}^3$

Pranee และคณะ (2006) ได้ผลิตแผ่นบอร์ดชนิดใหม่ที่มีค่าการนำความร้อนต่ำจากส่วนผสมของเยื่อกระดาษที่เป็นของเสียจากโรงงานผลิตกระดาษทิชชูและเปลือกข้าวโพด โดยใช้โฟม Polystyrene ประกอบเป็นชั้นๆ ผลการทดลองพบว่าแผ่นบอร์ดนี้มีค่าความหนาแน่นที่ต่ำและมีค่าการนำความร้อนต่ำลงเมื่อเพิ่มปริมาณเยื่อกระดาษและเปลือกข้าวโพดเพิ่มขึ้น การปรับปรุงการรับแรงทางกลและการต้านทานต่อขยายตัวสามารถทำได้โดยการเคลือบพื้นผิวที่แผ่นและมีค่าของ Polystyrene 15% (w/v)

วิชาญ (2548) ได้ศึกษาพัฒนา การผลิตแผ่นซีเมนต์เยื่อกระดาษอัดขึ้นรูป ด้วยส่วนผสมของซีเมนต์ผสมเยื่อกระดาษเอกสาร โดยเสริมด้วย ปอแก้ว ปอแก้ว ไม้ไผ่ ผลการทดลองพบว่า เส้นใยจาก

เยื่อกระดาษผ่านการแช่น้ำเป็นเวลา 14-30 วันที่สัดส่วนซีเมนต์ และเยื่อกระดาษ 1:1.5 เหมาะที่จะนำมาทำแผ่นซีเมนต์ และพบว่าการใช้เส้นใยธรรมชาติทำให้กำลังคัดและความเหนียวของแผ่นซีเมนต์ผสมเยื่อกระดาษนี้เพิ่มขึ้น

## 2.2 ความเป็นมาของกระดาษ

ประวัติของกระดาษเริ่มเมื่อประมาณ 5,000 ปีแล้วมา ชาวอียิปต์โบราณได้คิดค้นวิธีการทำกระดาษขึ้นจากต้นกกชนิดหนึ่งซึ่งมีชื่อเรียกว่า “ไซเปอร์ส ปาไปรัส (Cyperus papyrus)” ต้นกกชนิดนี้ขึ้นตามริมฝั่งแม่น้ำไนล์มีความสูง 2 ถึง 3 เมตร โดยประมาณ ชาวอียิปต์นำต้นกกมาตัดให้ได้ขนาดตามขนาดกระดาษที่ต้องการ เสร็จแล้วลอกเปลือกออก วางเป็นแนวสานขัดเข้าด้วยกันแล้วจึงนำไปแช่ในน้ำจืด ทบให้ส่วนที่สานกันอยู่ให้แบนเป็นแผ่นติดกัน ตากให้แห้ง สุดท้ายใช้หินขัดผิวให้เรียบ แล้วนำมาใช้เขียนหนังสือหรือภาพต่างๆ กระดาษที่ได้นี้ถูกเรียกตามชื่อต้นกกว่า “ปาไปรัส (Papyrus)”

เนื่องจากต้นกกชนิดนี้เจริญเติบโตขึ้นได้ในสภาพภูมิอากาศแถบแม่น้ำไนล์ การผลิตกระดาษปาไปรัสจึงถูกจำกัดอยู่ในย่านนี้

ในยุคสมัยของกรีกและโรมัน ได้มีการนำหนังสัตว์ที่เรียกว่า “พาร์ชเมนต์ (parchment)” มาใช้ในการจารึกหนังสือนอกเหนือจากการใช้กระดาษปาไปรัสซึ่งนำเข้าจากอียิปต์ที่มีราคาสูงและเกิดการขาดแคลนอันมีสาเหตุมาจากต้นกกที่ใช้ทำกระดาษมีจำกัด กรรมวิธีการทำพาร์ชเมนต์เริ่มจากการนำหนังสัตว์เช่น หนังวัว หนังแกะ หรือหนังแพะมาแช่ในน้ำประมาณ 1 วันเพื่อขจัดเลือดและสิ่งสกปรกออก จากนั้น นำหนังสัตว์ที่ได้ไปแช่ในอ่างที่เป็นสารละลายประเภทด่างไม่ต่ำกว่า 1 สัปดาห์เพื่อขจัดขนออก นำหนังสัตว์ดังกล่าวไปขึงให้ตึงกับกรอบไม้ ผึ่งให้แห้ง ใช้มีดขูดขนที่ยังหลงเหลืออยู่ให้หลุดออกและเป็นการทำให้ผิวเรียบ มีความหนาที่สม่ำเสมอ หนังสัตว์ซึ่งมีส่วนประกอบของคอลลาเจน (Collagen) เป็นส่วนใหญ่จะมีลักษณะคล้ายขาว เมื่อเวลาแห้งจึงทำให้หนังสัตว์คงรูปเป็นแผ่นอยู่ได้และสามารถนำไปใช้งานต่อไป พาร์ชเมนต์ที่มีคุณภาพดีมีชื่อเรียกว่า “เวลลัม (vellum)” ซึ่งจะมีผิวที่เรียบ ทนทาน เหมาะสำหรับการใช้เขียน ต่อมาได้มีการพัฒนาพาร์ชเมนต์ให้เหมาะกับการใช้เขียนมากขึ้น โดยคิดค้นให้พาร์ชเมนต์ที่มีความขาวขึ้น เรียบขึ้น ตลอดจนสามารถรับหมึกได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังมีการย้อมให้พาร์ชเมนต์มีสีต่าง ๆ ด้วยเช่น สีนํ้าเงิน เขียว แดง ส้ม

ผู้ที่มีส่วนสำคัญในการคิดค้นการทำกระดาษจนเป็นที่นิยมและเป็นหลักในการพัฒนาจนถึงปัจจุบันกลับเป็นชาวจีน ประมาณปี ค.ศ. 105 ชาวจีน ผู้หนึ่งซึ่งชื่อว่า ไ้หลุน ได้นำเศษผ้าจี๊วเก่า เศษไม้มาต้มกับน้ำและทุบจนเปื่อยอยู่ในน้ำเป็นเยื่อกระดาษ นำน้ำเยื่อดังกล่าวมาเทลงบนตะแกรงผ้าแล้วเกลี่ยให้ทั่ว ส่วนของน้ำจะซึมผ่านตะแกรงเหลือแต่เยื่อกระดาษที่ยังเปียกอยู่ เมื่อนำไปตากแดดให้แห้งก็สามารถลอกและนำมาใช้เขียนได้ ต่อมาไ้หลุนได้คิดค้นวิธีการทำกระดาษให้ดีขึ้น โดยใช้ตะแกรง

จุ่มลงในอ่างที่มีน้ำเยื่ออยู่แล้วค่อย ๆ ซ้อนเอาเยื่อกระดาษขึ้นมาก่อนจะนำไปตากแห้งและใช้งาน วิธีนี้ทำให้กระดาษที่ได้มีความหนาสม่ำเสมอขึ้น กระดาษที่ได้จากการทำด้วยวิธีของใจหลุนจะมีความเหนียวขึ้นกว่าวิธีของชาวอียิปต์เนื่องจากการเรียงตัวของเส้นใยต่าง ๆ ไม่เป็นระเบียบ การใช้กระดาษที่ผลิตโดยวิธีดังกล่าวเริ่มแพร่หลายขึ้นในประเทศจีน หลังจากนั้นก็ถูกเผยแพร่ต่อไปยังเกาหลี ญี่ปุ่น เอเชียกลาง อาหรับ และไปยังยุโรป มีการตั้งโรงผลิตกระดาษตามเมืองใหญ่ ๆ หลายแห่ง สำหรับที่อาหรับการทำกระดาษจะทำจากเศษผ้าเก่าเป็นวัตถุดิบเสียส่วนใหญ่เนื่องจากขาดแคลนเยื่อไม้ ประกอบกับเครื่องมือที่ใช้ทำกระดาษไม่ค่อยดีนัก กระดาษที่ได้จึงถูกปรับปรุงโดยนำไปเคลือบด้วยแป้ง ทำให้กระดาษของชาวอาหรับมีสีขาวและเหมาะกับการใช้ขีดเขียนได้ดีขึ้น กระดาษของชาวอาหรับจะถูกนำไปจำหน่ายในยุโรปซึ่งมีความต้องการเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ กรรมวิธีการผลิตกระดาษในยุคนี้มักถูกเก็บเป็นความลับไม่เป็นที่เปิดเผย



a.กระดาษปาปรัส b.กระดาษที่ทำจากผ้า c.เปลือกของต้นหม่อน d.แผ่นกระดาษในอดีต

ภาพที่ 2.1 แสดงความเป็นมาของกระดาษ (ที่มา: <http://kon-mee-class.blogspot.com>)

ในคริสต์ศตวรรษที่ 13 ชาวอิตาลีได้พัฒนาการผลิตกระดาษให้ดีกว่าที่ทำจากอาหรับโดยเน้นพัฒนาเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิต ประเทศอื่น ๆ ในยุโรปก็มีการพัฒนารวมวิธีการผลิตกระดาษเรื่อยมาจนมีการนำเครื่องจักรมาช่วยในการผลิต

ค.ศ.105 ชาวจีนรู้จักทำกระดาษจากเปลือกใน (Inner Bark) ของต้นหม่อน (Mulberry) กรรมวิธีการผลิตซับซ้อนกว่าวิธีของอียิปต์โดยเริ่มจากการนำต้นหม่อนมาต้มลอกเอาเปลือก ในและเนื้อออกมา นำไปแช่ในน้ำค้าง (100 กรัม) นำไปตากแดดและล้างให้สะอาดก่อนนำไปต้ม (8 วัน 8 คืน) นำมาทุบตีบคให้ละเอียด แล้วนำเยื่อไปผสมกับน้ำแล้วใช้ตะแกรงซ้อนขึ้นมา นำไปตากแดดจะได้แผ่นกระดาษ หลักการนี้คล้ายคลึงกับการทำกระดาษสาในปัจจุบัน

ค.ศ.751 เกิดสงครามระหว่างจีนกับอาหรับชาวอาหรับจึงนำวิธีการผลิตกระดาษของจีนไปใช้และเผยแพร่ไปสู่ประเทศสเปน อิตาลี เนเธอร์แลนด์ เบลเยียม เยอรมัน และฝรั่งเศสและเข้าสู่ประเทศอังกฤษในช่วงศตวรรษที่ 12 – 13 และมีวิวัฒนาการมาโดยลำดับ  
โดยในปี

ค.ศ. 1490 ได้มีการตั้งโรงงานผลิตกระดาษด้วยเครื่องจักรขึ้นที่เมือง เฮอร์ฟอร์ดไชร์ (Herdordshire) ประเทศอังกฤษ

ค.ศ.1609 เริ่มมีการผลิตกระดาษหนังสือพิมพ์และบทบาทของอุตสาหกรรมกระดาษในยุโรปทวีความสำคัญมากขึ้นตามลำดับ

ในปี ค.ศ. 1798 ชาวฝรั่งเศส ชื่อ เอ็ม ดิโดต์ (M. Didot) ได้ประดิษฐ์เครื่องจักรผลิตกระดาษแบบอัตโนมัติเครื่องแรก

ค.ศ.1799 นาย นิโคลาส หลุยส์ โรแบร์ (Nicholas LouisRobert) ได้ประดิษฐ์เครื่องจักรสำหรับการผลิตกระดาษออกมาเป็นม้วน

ค.ศ.1799–1803 พี่น้องตระกูลโฟร์ดรีนียร์ (Fourdrinier) ได้ประดิษฐ์เครื่องโรยเยื่อกระดาษแบบต่อเนื่อง ซึ่งต่อมาได้เรียกเครื่องโรยเยื่อกระดาษนี้ว่า “ Fourdrinier ” และใช้กันมาจนถึงปัจจุบัน

ค.ศ.1817 นาย จอห์น ดิกกินสัน (John Dickenson) ได้ประดิษฐ์เครื่องโรยเยื่อทรงกระบอก (Cylinder Type Machine)

ค.ศ.1867–1882 ชาวอเมริกันค้นพบวิธีการสกัดเยื่อกระดาษโดยการใช้กรดซัลฟิวรัสซึ่งเป็นพื้นฐานของวิธีการสกัดเยื่อกระดาษโดยวิธีทางเคมีที่ใช้กันในปัจจุบัน

ประวัติการใช้กระดาษในสยามไม่ปรากฏหลักฐานชัดเจน แต่วัสดุที่มีลักษณะอย่างกระดาษนั้น เรามีกระดาษที่เรียกว่า สมุดไทย ผลิตจากเยื่อไม้ทุบละเอียด ต้มจนเปื่อย ใส่แป้งเพื่อให้เนื้อกระดาษเหนียว แล้วนำไปกรองในกระบะเล็กๆ ทิ้งไว้จนแห้ง แล้วลอกออกมาเป็นแผ่น พับทบไปมาจนตลอดความยาว จึงได้เป็นเล่มสมุด เรียกว่า สมุดไทยขาว หากต้องการ สมุดไทยดำ ก็จะผสมผงถ่านในขั้นตอนการผลิตในทางภาคเหนือของไทย มีการผลิตกระดาษด้วยวิธีการคล้ายคลึงกัน เรียกว่า กระดาษสา เมื่อนำมาทำเป็นสมุดใช้เขียน เรียกว่า ปับสา คำว่า กระดาษ ในภาษาไทยไม่ปรากฏที่มาอย่างแน่ชัด มีผู้สันนิษฐานว่าน่าจะทับศัพท์มาจากภาษาโปรตุเกสว่า kratus แต่ความจริงแล้ว คำว่า กระดาษ ในภาษาโปรตุเกส ใช้ว่า papel ส่วนที่ใกล้เคียงภาษาไทยมากที่สุด น่าจะเป็นคำศัพท์ในภาษามลายู คือ kertas หมายถึง กระดาษ เช่นกัน

### 2.3 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกระดาษ

1. ไม้ เป็นแหล่งวัตถุดิบที่สำคัญที่สุดในอุตสาหกรรมกระดาษเราแบ่งไม้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของเส้นใย (Fiber) - ไม้เนื้ออ่อน (Soft Wood) จะเป็นไม้ที่มีเส้นใยยาว ( ประมาณ 3 – 4 มม . ) ส่วนใหญ่เป็นไม้ประเภทสน (Cone – Bearing Tree) - ไม้เนื้อแข็ง (Hard Wood) จะ

เป็นไม้ที่มีเส้นใยสั้น ( ประมาณ 1 – 1.5 มม . ) ส่วนใหญ่เป็นไม้ผลัดใบในฤดูใบไม้ร่วง  
(Deciduous Tree)

2. ไม้ล้มลุก ที่สำคัญเช่น ปอ ป่าน ลิ้นิน ฟ้ายและไผ่ เป็นต้น
3. ชานอ้อยเป็นวัตถุดิบสำคัญของอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษในประเทศไทย
4. ฟางข้าว
5. กระดาษใช้แล้ว

## 2.4 ชนิดของกระดาษ (Type of paper)

จากความแตกต่างของกรรมวิธีในการผลิตกระดาษความแตกต่างของเยื่อกระดาษสารเคมีตลอดจนเครื่องจักรในการผลิตจะมีผลทำให้ลักษณะของกระดาษมีความแตกต่างกันตามวัสดุพื้นฐานในการผลิตผู้พิมพ์จำเป็นต้องศึกษาถึงประเภทและชื่อเรียกของกระดาษเพื่อประโยชน์ในการเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงานพิมพ์ตลอดจนสามารถสื่อความหมายกับผู้อื่น โดยตรงตามวัตถุประสงค์ของการพิมพ์กระดาษจะมีลักษณะและชื่อเรียกต่างกัันดังนี้ (กำธร สติกรกุล,2515:298-300)

1. กระดาษบรูฟ (newsprint) เป็นกระดาษที่ทำจากเยื่อไม้ป่น จึงทำให้มีราคาถูก คุณภาพต่ำถ้าเก็บไว้นานจะกรอบและแดงใช้พิมพ์หนังสือราคาถูกและหนังสือพิมพ์
2. กระดาษปอนด์ (bond paper) เป็นกระดาษที่มีคุณภาพสูง เยื่อกระดาษทำจากเศษผ้าผสม ด้วยสารเคมี Sulfite ฟอกให้ขาวเป็นพิเศษ เป็นกระดาษใช้พิมพ์งานที่มีค่าเช่นประกาศนียบัตรหรือกระดาษเขียนจดหมาย
3. กระดาษฟอกขาวหรือกระดาษปอนด์ขาว (Wood Free Paper) เป็นกระดาษที่ทำจากเยื่อเคมีฟอกขาวผลิตเป็นกระดาษเพื่อใช้เขียนหรือพิมพ์ ใช้ทำสมุด และพิมพ์หนังสือโดยทั่วไป
4. กระดาษเหนียวหรือกระดาษสีน้ำตาลห่อของ (Kraft paper) ทำจากเยื่อ Sulphateผสมสีน้ำตาลมีความเหนียวมากใช้ทำกระดาษห่อของหรือบรรจุภัณฑ์
5. กระดาษปก (Cover Paper) เป็นกระดาษปอนด์ทำให้หนาเป็นพิเศษ มีความเหนียวทนทานเพื่อใช้ทำปกหนังสือ
6. กระดาษวาดเขียน (Drawing Paper) เป็นกระดาษปอนด์ขาว แต่ทำให้เนื้อกระดาษสามารถรับสีได้ง่ายและมีผิวเหมาะแก่การเขียนภาพระบายสี ดูกดหมึกดูดีไว้โดยง่าย
7. กระดาษอาร์ต (Arts, Coat paper) เป็นกระดาษที่ได้มีการเคลือบผิวหน้าด้วยวัสดุบางอย่างให้มีผิวเรียบมันเพื่อใช้พิมพ์ภาพที่มีรายละเอียด
8. กระดาษกล่อง (Box board) เป็นกระดาษที่ด้านหลังทำจากเยื่อเคมี มีลักษณะเป็นกระดาษปอนด์ขาว แต่ด้านหลังทำจากเยื่อไม้ป่น หรืออาจเป็นเยื่อกระดาษเก่าซึ่งจะมีสีคล้ำกระดาษชนิดนี้จะผลิตจากเครื่องจักรชนิด Cylinder machine หลายๆชั้น

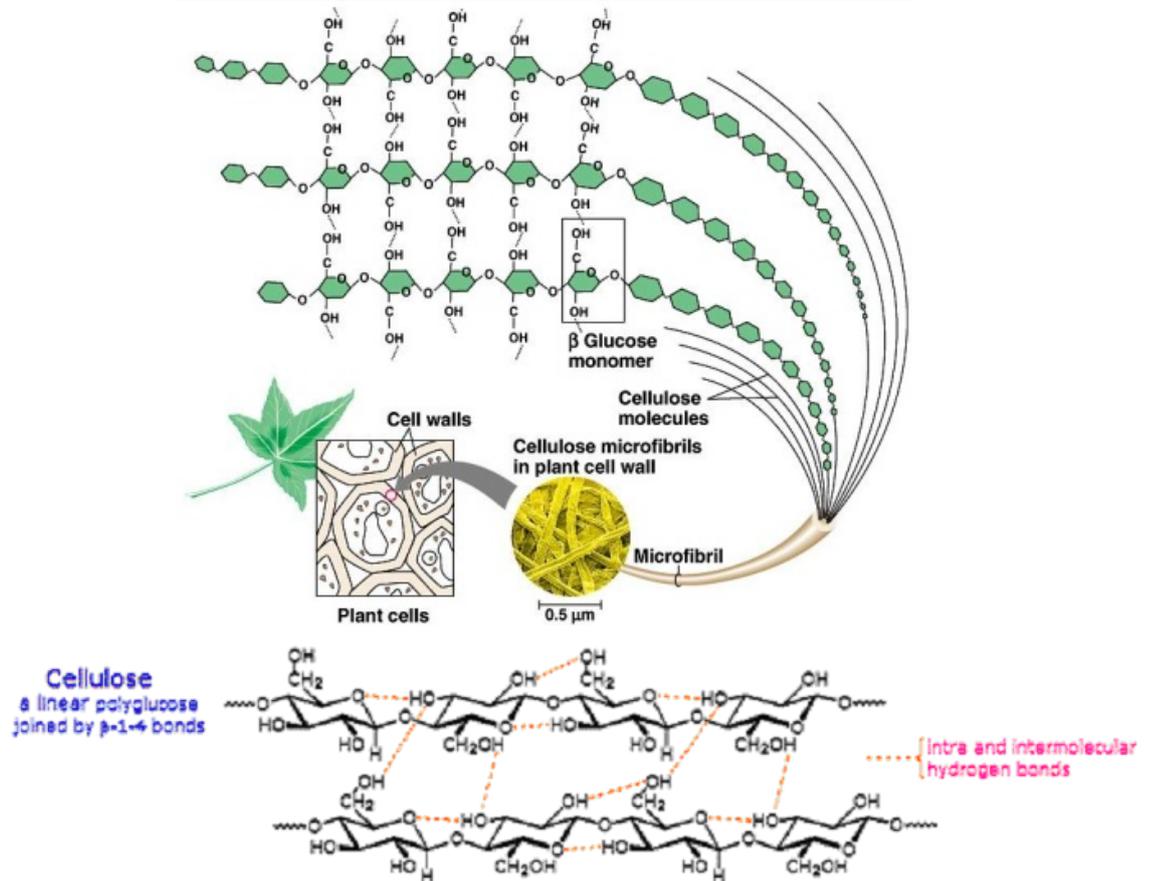
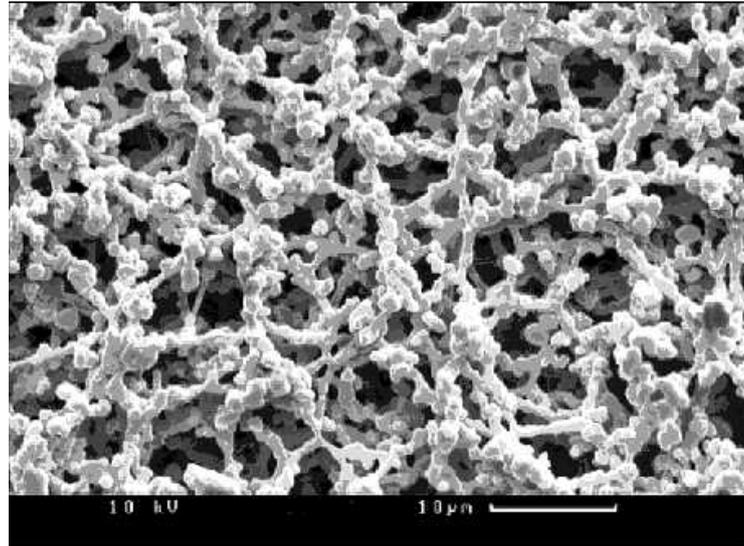
9. กระดาษโปสเตอร์ (Poster paper) เป็นกระดาษปอนด์ที่ขัดมันเรียบหน้าเดียวส่วนอีกหน้าหนึ่งจะปล่อยให้หยาบไว้
10. กระดาษแข็ง (Hard board) เป็นกระดาษที่ใช้ทำปกแข็งด้านในของหนังสือเมื่อใช้งานจะต้องมีกระดาษหรือวัสดุอื่นหุ้มจึงเป็นกระดาษที่ไม่ต้องฟอกขาว ทำจากเยื่อไม้ป่นหรือเยื่อกระดาษเก่าเนื้อกระดาษจะดูสีคล้ำ และผิวไม่เรียบ
11. กระดาษพาทม์นัท (Parchment paper) เป็นกระดาษทำเลียนแบบแผ่นหนังฟอกเยื่อกระดาษใช้เศษผ้าเป็นกระดาษที่ใช้กับงานพิมพ์ที่มีความสำคัญนอกจากนี้ยังอาจแบ่งชนิดของกระดาษตามลักษณะผิวของกระดาษโดยแบ่งออกเป็น 2 ชนิด (วันชัย ศิริชนะ, 2529:552-554)

## 2.5 องค์ประกอบของกระดาษ

เส้นใยของกระดาษนั้นมีโครงสร้างเป็น Cellulose ที่เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ (Natural Polymer) ชนิดหนึ่งจากการศึกษาสมบัติเบื้องต้นเส้นใยของกระดาษมีสมบัติ ดังตารางที่ 1 ลักษณะของเส้นใยกระดาษเป็นเส้นใยสั้นที่มีขนาดเล็กลงแสดงในรูปที่ 1 ลักษณะของเส้นใยในกระดาษมีความแตกต่างกันที่เห็นได้คือ เส้นใยกระดาษเอกสารมีลักษณะแบน ผิวขรุขระเป็นขุย เส้นใยของกระดาษหนังสือพิมพ์มีลักษณะกลม ผิวขรุขระ เส้นใยกระดาษลังมีลักษณะแบนราบ ผิวขรุขระเป็นขุยเล็กจำนวนมาก ส่วนกระดาษทุกชนิดคละกันมีลักษณะและผิวคละกันตามชนิดของเส้นใย

ตารางที่ 2.1 สมบัติของเส้นใยกระดาษ

ชนิดของเส้นใย	ความกว้างเส้นใย (มม.)	ความยาวเส้นใย (มม.)	ความถ่วงจำเพาะ	ปริมาณความชื้น (%)	การดูดซึมน้ำ (%)
กระดาษเอกสาร	10-40	1-8 <sup>2</sup>	1.32	10.67	271.63
กระดาษหนังสือพิมพ์	20-50	3-10 <sup>2</sup>	1.20	10.13	193.04
กระดาษถ่ายเอกสาร	20-60	2-8 <sup>2</sup>	1.50	8.79	144.32



ภาพที่ 2.2แสดง โครงสร้างโมเลกุลของ Cellulose

กระดาษเป็นแผ่นวัสดุซึ่งได้จากการนำวัสดุหลายๆชนิดมาผสมให้เข้ากันดีแล้วนำไปทำเป็นแผ่นวัสดุที่ไม่ใช่เป็นสวนผสมเหล่านี้ได้แก่เส้นใยสั้นเส้นใยยาวและสารเคมีวัสดุที่ใช้ผสมเหล่านี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ

ส่วนที่เป็นองค์ประกอบหลักของกระดาษได้แก่ส่วนที่เป็นเส้นใย (Fibrous material) ซึ่งเป็นโครงสร้างของแผ่นกระดาษและ

ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยซึ่งเป็นสารเติมแต่งใช้เติมผสมลงไปในส่วนเส้นใยเพื่อปรับปรุงสมบัติกระดาษให้ได้ตามวัตถุประสงค์การใช้งาน

ในกระดาษโดยทั่วไปจะมีส่วนเส้นใยผสมอยู่ในปริมาณร้อยละ 70-95 ของน้ำหนักกระดาษ ประมาณส่วนเส้นใยจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษที่ต้องการผลิตส่วนเส้นใยนี้จะได้จากพืชชนิดต่างๆเช่น ไม้เนื้ออ่อน ไม้เนื้อแข็งและพืชล้มลุกส่วนเส้นใยหรือที่เรียกทั่วไปว่าเยื่อเยื่อที่ใช้ทำกระดาษส่วนมากจะเป็นเยื่อผสมของเยื่อไยขาวและเยื่อไยสั้น [9]

เยื่อไยขาวได้จากไม้เนื้ออ่อน (soft wood) ซึ่งเป็นไม้ที่ขึ้นบริเวณที่สูงอากาศเย็นโตช้าใบมีลักษณะแคบเรียวยาว (needle) เส้นใยมีลักษณะหยาบมีความแข็งแรงสูงมีความยาวประมาณ 3 มิลลิเมตรกว้างประมาณ 20-40 ไมครอน (1 ไมครอนเท่ากับ 0.001 มิลลิเมตร) ไม้ในกลุ่มนี้ได้แก่สน(Pine)และสปรูซ(Spruce) เป็นต้น

เยื่อไยสั้นได้จากไม้เนื้อแข็ง(Hardwood) ซึ่งเป็นไม้ที่ขึ้นในบริเวณเขตร้อนโตเร็วใบมีลักษณะกว้าง(Leaf) เส้นใยมีลักษณะเล็กละเอียดความแข็งแรงต่ำมีความยาวประมาณ 1 มิลลิเมตร กว้างประมาณ 10-20 ไมครอนไม้ในกลุ่มนี้ได้แก่ยูคาลิปตัส (Eucalyptus) กระดินเทพา (Acacia) เบิร์ช (Birch)และแอสเพน (Aspen) เป็นต้น

ในประเทศไทยไม่มีแหล่งวัตถุดิบประเภทไม้เนื้ออ่อนเนื่องจากภูมิประเทศไม่อำนวย แต่สำหรับไม้เนื้อแข็งมีการปลูกสวนป่ายูคาลิปตัสกันมากในบริเวณภาคตะวันออกและทางตอนใต้ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษเส้นใยของยูคาลิปตัสนั้นได้รับการยอมรับว่าเหมาะสมที่สุดในการนำมาผลิตเป็นกระดาษพิมพ์เขียน

องค์ประกอบหลักของกระดาษที่ใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือส่วนที่เป็นเส้นใยและส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย

## 2.5.1 ส่วนที่เป็นเส้นเยื่อ/ใย

### 1. เยื่อไยสั้นเคมีฟอก(Leaf Bleached Kraft Pulp: LBKP)

เส้นใยสั้นผลิตจากไม้เนื้อแข็งเมืองร้อนเช่น AA ผลิตเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัสมีความยาวประมาณ 1-1.5 มิลลิเมตรคุณสมบัติเด่นของเยื่อไยสั้นคือช่วยให้เนื้อกระดาษแน่นสม่ำเสมอเรียบและมีความทึบแสงดีเนื่องจากเยื่อไยสั้นมีขนาดเล็กสามารถแทรกตัวตามร่องช่องว่างของเยื่อไยขาวได้แต่มีข้อเสียคือไม่สร้างความแข็งแรงให้กับกระดาษทำให้กระดาษขาดง่าย

## 2. เยื่อใยยาวเคมีฟอก(Needle Bleached Kraft Pulp: NBKP)

เส้นใยยาวเป็นเยื่อที่ผลิตจากไม้อ่อนจำพวกสนโรงงานผลิตกระดาษในประเทศไทยไม่มีการผลิตเนื้อเยื่อใยยาวจึงต้องนำเข้าจากต่างประเทศเส้นใยยาวมีความยาวประมาณ 3-3.5 มิลลิเมตรซึ่งจะทำให้มีความสามารถในการยึดเกี่ยวกันสูงทำให้กระดาษมีความแข็งแรงดีขึ้นทนต่อแรงดึงแรงฉีกขาดทำให้การเดินเครื่องดีขึ้นแต่ถ้าใส่เป็นส่วนผสมในเนื้อกระดาษมากจะเกิดทำให้ Formation ของกระดาษไม่ดีเกิด Flocculation กล่าวคือเป็นกระจุกของเส้นใยเยื่อที่จับตัวเป็นกลุ่มก้อนจะเกิดเมื่อการกระจายตัวของเยื่อไม่ดีเมื่อมองทะลุแผ่นกระดาษผ่านแสงจะเห็นเหมือนก้อนเมฆเป็นหย่อมๆ ในเนื้อกระดาษเป็นจำนวนมากและทำให้ผิวกระดาษไม่เรียบนอกจากนี้ยังมีเศษกระดาษหมุนเวียน (Broke) จากส่วนต่างๆ ของสายการผลิต รวมทั้ง recovered fiber ด้วย

### 2.5.2 ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย

ส่วนมากเป็นสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษซึ่งมีหลายชนิดที่ AA ใช้และได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องสารเคมีเหล่านี้เติมลงไปเพื่อปรับปรุงสมบัติกระดาษให้ได้ตามวัตถุประสงค์การใช้งาน

#### 1. ตัวเติม(filler)

สารเติมแต่งชนิดนี้จะเป็นผงแร่สีขาวใส่ลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติด้านทัศนศาสตร์และปรับปรุงสมบัติด้านการพิมพ์ของกระดาษนอกจากนี้ยังใส่ลงไปเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตกระดาษอีกด้วยเพราะตัวเติมส่วนมากจะมีราคาถูกเมื่อเทียบกับเส้นใยผงแร่ที่ใช้เป็นตัวเติมลงในกระดาษจะต้องมีขนาดเล็กละเอียดตัวเติมที่ดีควรมีขนาดประมาณ 1-10 ไมครอนผงแร่ที่มีขนาดเล็กนี้เมื่อเติมลงไปจะช่วยเพิ่มเนื้อที่ผิวภายในกระดาษโดยเพิ่มพื้นที่ผิวระหว่างผงระหว่างผงแร่กับอากาศและผงแร่กับเส้นใยทำให้เพิ่มค่าการกระเจิงแสง (light scattering) ของกระดาษทำให้กระดาษมีค่าความขาวสว่างเพิ่มขึ้นและเนื่องจากมีขนาดเล็กกว่าเส้นใยมากเมื่อใส่ลงไปจะทำให้กระดาษมีผิวเรียบขึ้นผงแร่ที่ใช้เป็นตัวเติมในกระดาษได้แก่ดินขาว (kaolin clay) ไททาเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide, TiO<sub>2</sub>) และแคลเซียมคาร์บอเนต(calcium carbonate, CaCO<sub>3</sub>) ผงแร่เมื่อใส่ลงไปจะช่วยปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของกระดาษให้ดีขึ้นดังนี้คือทำให้ผิวกระดาษเรียบขึ้นเพิ่มความขาวสว่างและความทึบแสงของกระดาษทำให้กระดาษมีการดูดซับหมึกได้ดีขึ้นและลดต้นทุนการผลิตกระดาษแต่การเติมผงแร่ลงไปก็มีส่วนลดสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษลงด้วยผงแร่แต่ละชนิดมีลักษณะรูปร่างขนาดและดัชนีการหักเหของแสงต่างกันสำหรับตัวเติม(filler) เช่นที่บริษัทดับเบิลเอใช้คือ PCC (Precipitated CaCO<sub>3</sub>) เป็นหินปูนจากธรรมชาติที่นำสังเคราะห์โดยบริษัท Specialty Minerals Inc. เป็นผู้ผลิตให้

## 2. สารต้านการซึมน้ำ(sizing-agent)

สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารเคมีที่ใส่ลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติด้านการต้านทานการซึมน้ำของกระดาษทำให้กระดาษต้านทานการเปียกน้ำได้ดีขึ้นเนื่องจากกระดาษทำจากเส้นใยเซลลูโลสซึ่งมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้สูงกระดาษที่ไม่ได้ใส่สารต้านการซึมน้ำจึงเปียกน้ำและดูดซับน้ำได้ง่ายเช่นกระดาษชำระและกระดาษซับ (blotting paper) การเติมสารต้านการซึมน้ำลงไปจะช่วยลดพื้นที่ผิวของการติดครวระหว่างเส้นใยและโมเลกุลของน้ำทำให้ลดอัตราการซึมน้ำเข้าสู่เนื้อกระดาษเมื่อกระดาษโดนน้ำจะไม่เปียกหรือซับน้ำในทันทีทันใดการเติมสารต้านการซึมน้ำแบ่งเป็น 3 ระดับมีชื่อเรียกกระดาษที่เติมสารต้านการซึมน้ำแต่ละระดับดังนี้

2.2 กระดาษที่ไม่ใส่สารต้านการซึมน้ำเลย (water-leaf) เช่นกระดาษชำระ

2.2.กระดาษที่ใส่สารต้านการซึมน้ำเล็กน้อยมีระดับการซึมน้ำปานกลาง (slack-sized)เช่นกระดาษพิมพ์และเขียน

2.3 กระดาษที่ใส่สารต้านการซึมน้ำในปริมาณสูงมากมีระดับด้านการซึมน้ำสูง (hardsized)กระดาษทำด้วยกระดาษทำถ่องนมสารต้านการซึมน้ำที่ใช้ในการทำกระดาษได้แก่สารส้มและชันสน (alum/rosinsize) ไขผึ้ง (wax) ยางมะตอย (asphalt) อัลคิลคีทีน ไคเมอร์ (alkyl ketene dimmer, AKD) ที่ AA ใช้อัลคิลนิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์ (alkenyl succinic anhydride, ASA)

## 3. สารเพิ่มความเหนียว

สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษ โดยเฉพาะความต้านแรงดึงและความต้านแรงคั้นทะลุนอกจากนี้ยังช่วยลดการหลุดลอกของเส้นใยที่ผิวกระดาษและเพิ่มพันธะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นกระดาษแข็งซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญมากเพราะถ้าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นต่ำจะทำให้เกิดการแยกชั้นของกระดาษแข็งในระหว่างการพิมพ์ได้สารเพิ่มความเหนียวที่ใช้ได้แก่แป้งธรรมชาติ (native starch) แป้งปรุงแต่ง (modified starch) ปรับให้เป็นประจุบวกกัมและพอลิอะคริลเอไมด์ (polyacrylamide) แป้งเป็นสารเพิ่มความเหนียวที่รู้จักกันดีและมีใช้มานานแล้วแต่ในปัจจุบันนิยมใช้แป้งประจุบวกและพอลิอะคริลเอไมด์มากกว่าเนื่องจากสารเหล่านี้มีประจุบวกจึงสามารถจับกันได้ดีกับเส้นใยซึ่งมีประจุลบทำให้เพิ่มพันธะระหว่างเส้นใยในกระดาษ ส่งผลให้กระดาษมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นสำหรับ AA ใช้ wet-end starch และ size-press starch โดย wet-end starch นี้จะมีประจุบวกมากเติมลงใน mixing chest เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดาษ ส่วน size-press starch มีประจุบวกน้อยกว่าเป็นแป้งแปรรูปที่ใช้เคลือบผิวกระดาษเพื่อปรับปรุงให้ผิวกระดาษมีความเรียบเพิ่มขึ้น (smoothness) มีความมันวาวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (glossiness) เพิ่มความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษ (surface strength) เพิ่มความคงตัวของกระดาษ (stiffness) ลดฝุ่นละอองบนผิวกระดาษ (dusting) และมีความต้านทานการซึมน้ำเพิ่มมากขึ้นแป้งแปรรูปประเภทออกซิไดซ์ (oxidized starch)

#### 4. สารฟอกขาว(optical brightening agent: OBA)

หรือสารเพิ่มความขาวสว่างสารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารสีข้อมประเภทเรืองแสง (fluorescent dye) เมื่อเติมลงไปจะช่วยให้กระดาษมีความขาวสว่าง (brightness) เพิ่มมากขึ้น โดยปกติจะเติมที่ machine chest หรือหน้า fan pump

#### 5. สารสีข้อม(dyes)

สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารเคมีที่ใส่ลงไปในการทำกระดาษโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาโทนสีของกระดาษให้คงที่และชดเชยกับสีของลิกนินซึ่งมีสีเหลือง โดยปกติถ้ากระดาษสัมผัสกับความร้อนหรือแสงอาทิตย์ลิกนินที่หลงเหลืออยู่ในเนื้อกระดาษจะส่งสีของตัวเองออกมาทำให้กระดาษมีสีเหลือง สารสีข้อมยังใช้แต่งสีกระดาษขาวให้ได้ระดับคล้ำสีที่ต้องการหรือเพื่อให้ดูขาวขึ้นซึ่งเรียกว่าสีแต่ง (tinting dye) โดยใช้สีแต่งในปริมาณน้อยๆเติมในส่วนผสมของน้ำเยื่อที่ใส่แต่งนี้อาจเป็นสีอะไรก็ได้แต่ในกระดาษขาวจะใช้สีม่วงหรือสีน้ำเงิน

#### 6. สารควบคุมจุลชีวะ(microbiological control agent หรือbiocide)

เป็นสารที่ช่วยควบคุมการเจริญเติบโตของจุลชีวะจำพวกเชื้อราหรือแบคทีเรียในระบบเพื่อป้องกันการเกิดเมือกจุลินทรีย์(filler) ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้กระดาษสกปรกและทำให้กระดาษขาดในระหว่างการผลิตได้ง่าย

#### 7. สารเพิ่มการตกค้าง(retention aid)

เป็นสารเคมีที่เพื่อช่วยให้เยื่อและ filler จับตัวกันและคงอยู่ในเนื้อกระดาษให้มากที่สุดในช่วงการระบายน้ำบนตะแกรงลวดเดินแผ่นซึ่งสารเคมีประเภทนี้จะทำหน้าที่คล้ายกาวช่วยยึดเหนี่ยวทั้งเยื่อและอนุภาคเล็กๆของ filler เข้าด้วยกันสารเพิ่มการตกค้าง เช่นที่บริษัทดับเบิลเอใช้ 2 ชนิดคือ Cationic polymer และ Anionic clay

### 2.6การบริโภคและการรีไซเคิลกระดาษ

จากรายงานของ สมาคมอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษแห่งประเทศไทย คนไทยเราใช้กระดาษกันปีละ 3.5 ล้านตัน หรือเฉลี่ย คนละ 56 กิโลกรัมต่อปีเมื่อเทียบกับประเทศที่บริโภคกระดาษมากที่สุดในโลกอย่างสหรัฐอเมริกาที่สูงถึง 312 กิโลกรัมต่อคนต่อปี หรือประเทศพัฒนาแล้วอย่าง ญี่ปุ่นที่บริโภคกระดาษ 250 กิโลกรัมต่อคนต่อปี ในปี 2550 เราได้บริโภคกระดาษพิมพ์เขียนไปแล้วถึง 964,000 ตัน เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 13% ต่อปี

อัตราการนำกระดาษใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ (recover rate) ของไทยในปี 2549 มีอัตราค่อนข้างสูง คือ ร้อยละ 49 เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 4.3 จากปี 2548 โดยมีปริมาณการบริโภคกระดาษที่ผลิตจากเยื่อรีไซเคิลทั้งสิ้น 2.8 ล้านตันซึ่งได้จากการเก็บรวบรวมกระดาษใช้แล้วจากแหล่งต่างๆ ภายในประเทศ ได้แก่สถานประกอบการผลิต สำนักงาน ห้างสรรพสินค้า คริวเรือน ร้านค้าต่างๆ เป็นจำนวน 1.7 ล้านตัน ที่เหลือเป็นการนำเข้ากระดาษใช้แล้วจากต่างประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกาญี่ปุ่น และสิงคโปร์โดยส่วนใหญ่เป็นกระดาษใช้แล้วประเภทกล่องลูกฟูกเก่าถึงเกือบร้อยละ 70 กระดาษหนังสือพิมพ์เก่าร้อยละ 10 ที่เหลือร้อยละ 20 เป็นกระดาษใช้แล้วประเภทอื่นๆ (ตารางที่ 3-31 รูปที่ 3-16 และรูปที่ 3-17) ทั้งนี้ประมาณการว่าการบริโภคกระดาษใช้แล้วจะมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ อันเป็นผลเนื่องมาจากกระแสการให้ความสำคัญในเรื่องของการรักษาสิ่งแวดล้อมประกอบกับราคาของเชื้อเพลิงและพลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ และการขยายกำลังการผลิตของผู้ประกอบการทำให้ภาคการผลิตจำเป็นต้องมีการใช้เยื่อประเภทรีไซเคิลเพิ่มมากขึ้นและนำไปสู่การบริโภคกระดาษประเภทนี้ (recovered paper) สูงขึ้นตามไปด้วย

เยื่อกระดาษสามารถผ่านกระบวนการรีไซเคิลได้สูงสุด 4-6 ครั้งเท่านั้น เมื่อผ่านกระบวนการรีไซเคิล เยื่อกระดาษจะสั้นลงเรื่อย ๆ ดังนั้นในการผลิตกระดาษทางโรงงานรีไซเคิลต้องเติมเยื่อใหม่ลงไปด้วย เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดาษรีไซเคิลที่ผลิตออกมา ในการรับซื้อกระดาษของร้านรับซื้อเพื่อนำไปรีไซเคิลนั้น จะแบ่งกระดาษออกเป็นประเภท ๆ ได้แก่ กระดาษปอนด์ขาว-ดำ กระดาษแข็งสีน้ำตาล กระดาษหนังสือเล่ม กระดาษสมุด กระดาษหนังสือพิมพ์และกระดาษคอมพิวเตอร์ กระดาษแต่ละประเภทจะมีราคาซื้อ-ขายไม่เท่ากัน ขึ้นกับชนิดและคุณภาพ กระดาษคอมพิวเตอร์ กระดาษขาวดำและกระดาษสมุด จะมีราคาแพง รองลงมา ได้แก่ กระดาษกล่องสีน้ำตาล กระดาษหนังสือพิมพ์ กระดาษบางประเภทร้านรับซื้อของเก่าจะไม่รับซื้อ เช่น กระดาษที่เคลือบด้วยพลาสติก กระดาษห่อของขั้วญ กระดาษเคลือบไข เป็นต้น ว่ากันว่าการผลิตกระดาษ 1 ตันต้องตัดต้นไม้ถึง 17 ตัน และใช้พลังงานในการผลิตถึง 4,100 กิโลวัตต์ ซึ่งพอเพียงต่อการใช้กระแสไฟฟ้าในบ้านขนาดกลางถึง 6 เดือน

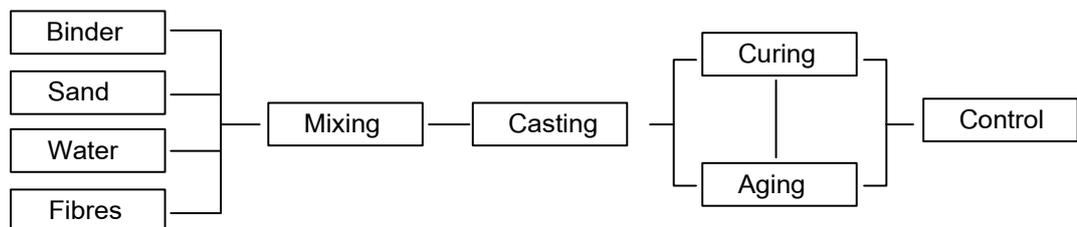
การศึกษาพบว่าถ้าในประเทศไทยมีการใช้กระดาษประมาณ 34 กิโลกรัมต่อคนต่อปี หรือ 2 ล้านตันต่อปี และมีอัตราการใช้เพิ่มขึ้นปีละ 15% กระบวนการผลิตกระดาษ 1 ตันจะต้องใช้ทรัพยากร ดังนี้ ต้นไม้ 17 ตัน กระแสไฟฟ้า 1,000 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง น้ำมันเตา 300 ลิตร น้ำสะอาด 100 ตัน และคลอรีน 5 กิโลกรัม

ตารางที่ 2.2ราคาซื้อขายกระดาษเหลือใช้

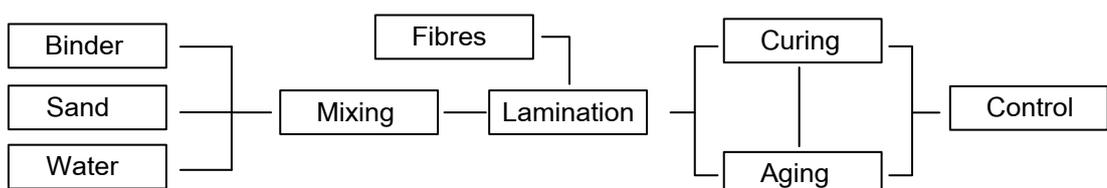
รายการ	ราคาในกม. (บาท/กก.)	ราคารนอกเขต กม. (บาท/กก.)
กระดาษขาว	6.0-6.5	$\geq 6.0-6.5$
กล่องกระดาษ	4.0-4.5	$\geq 4.0-4.5$
กระดาษหนังสือพิมพ์	4.5	$\geq 4.85$
เศษกระดาษ	2.3	$\geq 1.9$
กล่องน้ำหวานมกล่องกระดาษ	10	$\geq 10$

## 2.7เทคโนโลยีการผลิตวัสดุประกอบเส้นใยและเยื่อ

การนำเส้นใยธรรมชาติมาเป็นส่วนประกอบในวัสดุก่อสร้างสามารถนำมาใช้ได้ 2 วิธี ได้แก่ เส้นใยธรรมชาติที่นำมาใช้โดยไม่ตัด นำมาวางเป็นชั้นๆ ระหว่าง ตัวประสานและเส้นใยธรรมชาติที่มีการตัดแล้วนำมาผสมกับตัวประสาน ดังแสดงในภาพที่ 2.3



(ก) เส้นใยที่ตัด



(ข) เส้นใยยาว

ภาพที่ 2.3กระบวนการผลิตวัสดุผสมที่มีเส้นใยธรรมชาติเป็นองค์ประกอบ