

บทที่ 2 ทฤษฎีสัมพันธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาและค้นคว้าเอกสาร แนวความคิด ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่อง การพัฒนาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทีนของกระดาษกราฟที่มีการดัดแปรด้วยคินเนียวนาโนได้ ทำการค้นคว้าเอกสารดังต่อไปนี้

- 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของไม้
- 2.2 กระบวนการผลิตกระดาษในอุตสาหกรรม
- 2.3 องค์ประกอบของกระดาษ
- 2.4 ลักษณะโครงสร้างและสมบัติของกระดาษกราฟ
- 2.5 ก๊าซเอทีน
- 2.6 คินเนียวนาโน
- 2.7 คุณสมบัติกลองกระดาษลูกฟูก
- 2.8 สารยึดติด
- 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

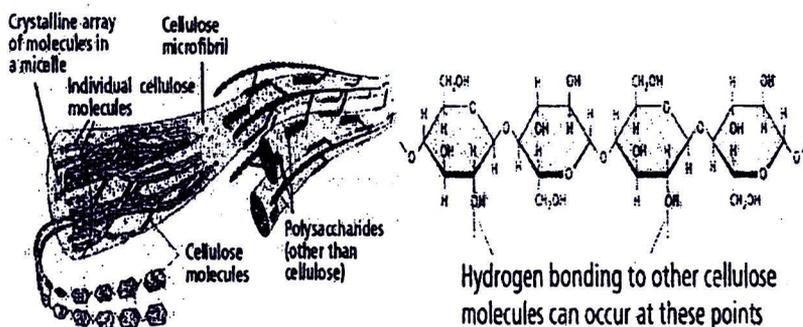
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของไม้ [4]

องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยพืชทั้งไม้เนื้ออ่อน ไม้เนื้อแข็งและพวกที่ไม่ใช่ไม้จะประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ 4 ชนิด ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemi-cellulose) ลิกนิน (lignin) และสารแทรก (extractives) ในปริมาณแตกต่างกัน โดยทั่วไปเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสจะรวมกันเรียกว่า ไฮโลเซลลูโลส ในอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อและกระดาษต้องการวัตถุดิบที่มีไฮโลเซลลูโลสสูงและมีปริมาณลิกนินต่ำ เพราะจะสามารถกำจัดลิกนินออกจากเยื่อได้ง่าย ทำให้เส้นใยแยกออกจากกันได้ดีสำหรับเฮมิเซลลูโลส สามารถวิเคราะห์ได้ในรูปของเพนโตแซนซึ่งจะบอกถึงปริมาณน้ำตาลไซโลสที่เป็นองค์ประกอบหลัก เฮมิเซลลูโลสจะมีมวลโมเลกุลน้อยกว่าเซลลูโลส และถูกไฮโดรไลส์ด้วยกรดได้ง่ายกว่าเซลลูโลส โดยทั่วไปไม้ยืนต้นจะประกอบด้วยเซลลูโลสร้อยละ 2-10 โดยน้ำหนักดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของไม้ใบแคบและไม้ใบกว้างคิดเป็นร้อยละต่อน้ำหนัก

องค์ประกอบทางเคมี , ร้อยละ	ไม้ใบแคบ (softwood)	ไม้ใบกว้าง (hardwood)
เซลลูโลส (cellulose)	~45	~43
เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose)	15-20	15-30
ลิกนิน (lignin)	24-32	17-25
สารแทรก (extractives)	~3.4	~2.0

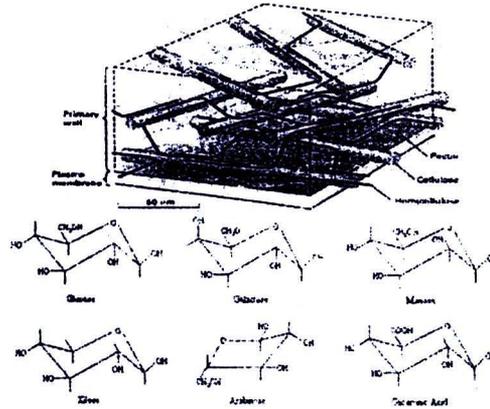
เซลลูโลส เป็นโฮโมโพลิเมอร์ (homopolymer) ของกลูโคสที่จับเกาะกันด้วย 1, 4-glucosidic bond มีลักษณะเป็นเส้นตรงมีความยาวตามธรรมชาติประมาณ 10,000 หน่วย ในระหว่างแฉวมมีการยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจนซึ่งมีขนาดประมาณ 35°A เรียกว่า elementary fibril ซึ่งเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดที่พบตามธรรมชาติดังแสดงในรูปที่ 1 เซลลูโลสมีความเป็นผลึก (crystalline) ประมาณร้อยละ 60-80 มีความทนทานต่อสารเคมีมีเพียงสารเคมีไม่กี่ชนิดที่สามารถละลายเซลลูโลสได้ เช่น กรดซัลฟิวริก ความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 68 กรดเกลือความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 41 ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl₂) , Quaternary ammonium compounds และ complexing agents บางชนิด เช่น CuCO, CuO-ethylene diamine-H₂O เป็นต้น



รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส

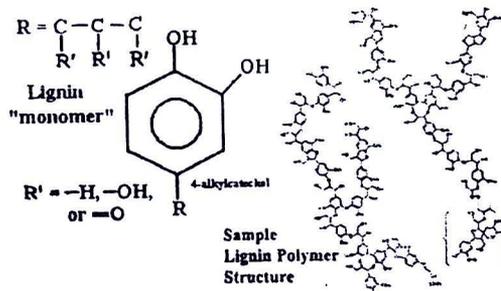
เฮมิเซลลูโลส เป็นเฮเทอโรโพลิเมอร์ (heteropolymer) ของน้ำตาลชนิดต่างๆผสมกัน เช่น กลูโคส (glucose) แมนโนส (mannose) ไซโลส (xylose) และอราบินโนส (Arabinose) ประมาณ 200 หน่วยโดย

เฉลี่ยและมีหมู่กรด เช่น อะเซทิล (acetyl) และยูโรนิก (uronic) จับอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 2 เฮมิเซลลูโลส มีโครงสร้างเป็นอสัณฐาน (amorphous) จึงอุ้มน้ำและพองตัวได้ดี ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญยิ่งในการทำกระดาษ เฮมิเซลลูโลสในไม้ใบกว้างจะเป็นพวกไซแลน (xylan) และในไม้ใบแคบส่วนใหญ่เป็นกลูโคแมนแนน (glucomannan)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลส

ลิกนินประกอบด้วย phenyl units ประมาณ 2,500 หน่วยโดยเฉลี่ยมีโครงสร้างเป็นอสัณฐานที่จับตัวกันเป็นโครงร่างสามมิติด้วยพันธะอีเทอร์และพันธะคาร์บอน ซึ่งส่วนใหญ่เป็น phenyl-Oaryl ether bond ดังแสดงในรูปที่ 3 พบมากในส่วนที่เรียกว่า middle lamella ของพืชทำหน้าที่เป็นการเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยเป็นสารที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) และมีคุณสมบัติเป็นเทอร์มอพลาสติก (thermoplastic) ที่มีอุณหภูมิที่อ่อนตัวประมาณ 120-200°C



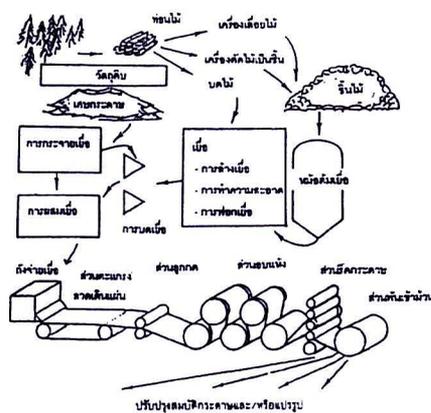
รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของลิกนิน

สารแทรกที่พบโดยทั่วไป ได้แก่ ชันสนหรือยางไม้ เป็นส่วนประกอบในไม้หรือพืชที่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ต่างๆ (organic solvent) เช่น อะซีโตน แอลกอฮอล์ ไดคลอโรมีเทน และคลอโรฟอร์ม เป็นต้น แต่ไม่รวมถึงสารอนินทรีย์ (inorganic materials) ที่อาจจะละลายปะปนออกมาด้วยโดยทั่วไปจะประกอบด้วยสารแทรกที่ละลายน้ำได้ และสารแทรกที่ละลายในตัวละลายอินทรีย์ซึ่งมักจะมีส่วนประกอบของสารระเหยง่าย (volatiles compounds) กรดไขมัน (fatty acids) ไข (waxes) สารพวกอนอและพอลิแซคคาไรด์ตลอดจนสารประกอบอะโรมาติกส์ เช่น แทนนิน เป็นต้น

2.2 กระบวนการผลิตกระดาษในอุตสาหกรรม [5]

กระดาษเป็นแผ่นวัสดุซึ่งได้จากการผสมของวัสดุเส้นใยและสารเติมแต่งต่างๆ การทำกระดาษจะเริ่มตั้งแต่การนำไม้ไปทำเชื้อเพื่อให้ได้เส้นใยออกมาแล้วจึงนำเยื่อที่ได้ไปผสมกับสารเติมแต่งในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อปรับสมบัติกระดาษให้ได้ตรงตามความต้องการใช้งาน แล้วจึงนำไปทำเป็นแผ่นกระดาษโดยใช้เครื่องจักรผลิตกระดาษแล้วจึงนำไปแปรรูปใช้งาน จะเห็นได้ว่าจะจะได้เป็นแผ่นกระดาษที่สามารถใช้งานได้ต้องผ่านกระบวนการผลิต หรือ ขั้นตอนการปฏิบัติการต่างๆ มากมาย ซึ่งแบ่งได้ 5 ขั้นตอนด้วยกัน โดยเรียงลำดับตามขั้นตอนการปฏิบัติจริงภายในโรงงานได้ดังนี้

1. การผลิตเยื่อ (pulping)
2. การเตรียมน้ำเยื่อ (stock preparation)
3. การทำแผ่นกระดาษ (papermaking)
4. การปรับปรุงสมบัติกระดาษขณะเดินแผ่น (web modification)
5. การแปรรูป (converting)



รูปที่ 2.4 กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมกระดาษ

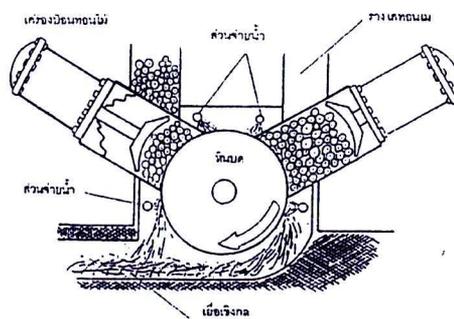
2.2.1 การผลิตเยื่อ (pulping)

วัตถุประสงค์หลักของการผลิตเยื่อ ก็เพื่อต้องการแยกเส้นใยออกมาจากองค์ประกอบอื่นของไม้ การผลิตเยื่อสามารถทำได้หลายวิธีทั้ง โดยวิธีเคมีและเชิงกล เยื่อที่ได้จะนำไปผ่านการฟอกให้ขาว สำหรับทำกระดาษที่ใช้เพื่อการสื่อสารต่างๆ ซึ่งจะเห็นว่าในขั้นตอนนี้จะต้องประกอบด้วย กรรมวิธีการผลิตเยื่อ (pulping process) และการฟอกเยื่อ (bleaching)

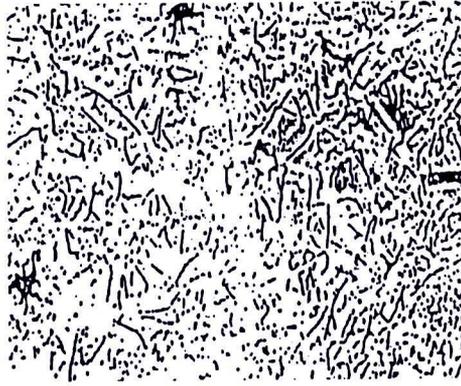
2.2.1.1 กรรมวิธีการผลิตเยื่อ เยื่อมีหลายชนิด การเรียกชื่อขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิต ซึ่งประกอบด้วยรูปแบบต่างๆของพลังงานที่ใช้ ได้แก่ พลังงานความร้อน พลังงานเคมี และพลังงานกล

1. การผลิตเยื่อเชิงกล (mechanical pulping process) ดังภาพที่ 2.5 จะใช้พลังงานกลควบคู่ไปกับพลังงานความร้อนในการแยกเส้นใยออกมาโดยชิ้นไม้จะถูกส่งเข้าเครื่องบด ซึ่งจะทำหน้าที่บดและตัดจนชิ้นไม้แหลกละเอียดเป็นเยื่อไม้ เยื่อที่ได้เรียกเยื่อไม้บดหรือเยื่อเชิงกลให้ผลผลิตเยื่อมากกว่าร้อยละ 85 เยื่อไม้บดจะมีเนื้อค่อนข้างหยาบกระด้าง เส้นใยที่ได้จากเยื่อไม้บดนี้ส่วนใหญ่ไม่สมบูรณ์จะมีการขาดและตัดเป็นท่อนๆ นอกจากนี้ยังมีกลุ่มของเส้นใย (bundle of fiber) ปนอยู่ด้วย ซึ่งจะเห็นได้ว่าในเยื่อไม้บดประกอบด้วย

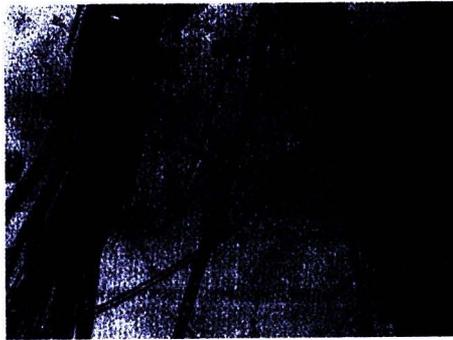
- 1.1 เส้นใยฝอย (fines) ซึ่งเกิดจากการฉีกขาดของเส้นใย ดังภาพที่ 2.6
- 1.2 เส้นใยเดี่ยว (individual fiber) เส้นใยเดี่ยวของเยื่อไม้บดยังแยกไม่ค่อสมบูรณ์
- 1.3 กลุ่มของเส้นใย ซึ่งประกอบด้วยเส้นใยหลายๆ เส้นเกาะติดกันเป็นมัด ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การผลิตเยื่อเชิงกล



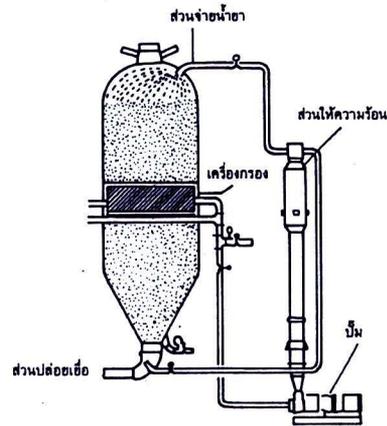
รูปที่ 2.6 ส่วนละเอียดของเยื่อไม้บดหรือเส้นใยฝอย



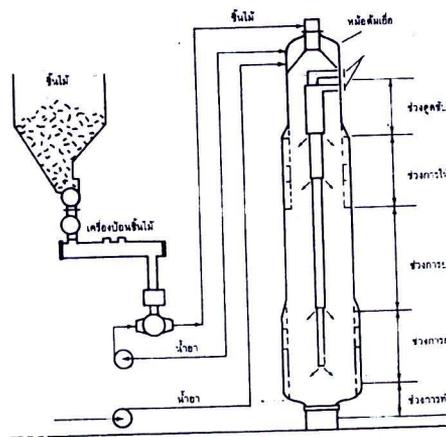
รูปที่ 2.7 เส้นใยของเยื่อไม้บด

เยื่อชนิดนี้เมื่อนำมาเป็นวัตถุดิบในการทำกระดาษจะให้สมบัติตามส่วนประกอบทั้ง 3 คือ เส้นใยฝอย จะเพิ่มสมบัติด้านทึบแสง เส้นใยเดี่ยวซึ่งไม่ค่อยสมบูรณ์อาจมีการฉีกขาดและยังคงมีลิกนินตกค้างอยู่มากทำให้พันธะระหว่างเส้นใยต่ำ เยื่อชนิดนี้จึงไม่เหมาะที่จะนำไปทำกระดาษที่ต้องรับแรงสูง เยื่อชนิดนี้มีราคาถูกเหมาะสำหรับทำสิ่งพิมพ์ราคาถูกเช่น หนังสือพิมพ์หรือใช้เป็นเยื่อชั้นในกระดาษแข็ง

2. การผลิตเยื่อเคมี (chemical pulping process) การผลิตเยื่อเคมีตามกรรมวิธีนี้จะใช้พลังงานเคมีและพลังงานความร้อนในการทำให้เส้นใยแยกจากกัน โดยส่งชิ้นไม้เข้าหม้อต้มเยื่อ (digester) ซึ่งมีทั้งชนิดหม้อต้มเยื่อแบบเดี่ยว (batch digester) (รูปที่ 2.8) และหม้อต้มเยื่อแบบต่อเนื่อง (continuous digester) (รูปที่ 2.9) แบบต่อเนื่องจะต้มไปได้เรื่อยๆ ไม่ต้องหยุดเหมือนแบบเดี่ยว และเป็นที่นิยมกว่า



รูปที่ 2.8 หม้อดัมเชื้อแบบเดี่ยว



รูปที่ 2.9 หม้อดัมเชื้อแบบต่อเนื่อง

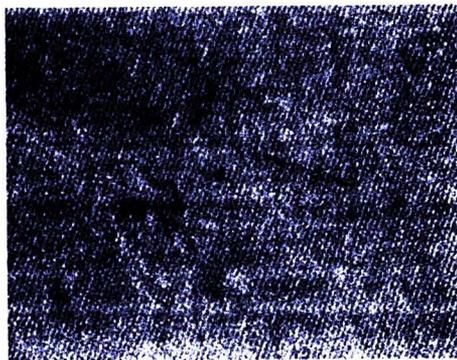
การผลิตเชื้อเคมีนั้นอาศัยสารเคมี และความร้อนในการละลายลิกนินออกไปเหลือส่วนที่ไม่ละลายคือ เชื้อ เชื้อเคมีมีหลายชนิดเรียกชื่อตามสารเคมีที่ใช้ในการผลิต เช่น เชื้อซัลเฟต เชื้อซัลไฟด์ และเชื้อโซดา เชื้อเคมีให้ผลผลิตเชื้อประมาณร้อยละ 40 เชื้อเคมีที่ได้จะมีลักษณะนุ่ม มีสีค่อนข้างคล้ำ เส้นใยที่ได้จะสมบูรณ์ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 เส้นใยของเยื่อเคมี

เยื่อชนิดนี้มีปริมาณการใช้สูงมาก เพราะสามารถพัฒนาศักยภาพของเส้นใยให้สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวางเหมาะทั้งใช้ในงานรับแรงและเพื่อการสื่อสาร ถ้าใช้ในงานรับแรง เช่น นำไปทำกระดาษบรรจุภัณฑ์ไม่จำเป็นต้องฟอก แต่ถ้าใช้เพื่อการสื่อสารจะต้องนำไปฟอกให้ขาวก่อน

3. เยื่อจากเศษกระดาษที่ใช้แล้ว (secondary pulp) ในปัจจุบันกระดาษที่ใช้แล้วนับได้ว่าเป็นแหล่งเส้นใยที่สำคัญแหล่งหนึ่ง เยื่อที่ได้จากเศษกระดาษที่ใช้แล้วจะต่างจากเยื่อที่ยังไม่เคยใช้ทำกระดาษ (virgin pulp) เส้นใยที่ได้จากเยื่อจากเศษกระดาษที่ใช้แล้ว เรียกว่า เส้นใยหมุนเวียนทำใหม่ (recycled fiber)



รูปที่ 2.11 ส่วนของเส้นใยของเยื่อหมุนเวียนทำใหม่

เนื่องจากกระดาษที่ผ่านมาใช้แล้วมีมากมายหลายประเภทเช่น ถ้าเป็นกระดาษที่ผ่านการพิมพ์ต่างๆ มาแล้วก่อนนำมาทำเป็นเยื่อต้องผ่านกระบวนการเอาหมึกออก (deinking) เสียก่อนแล้วจึงนำไปฟอกให้ขาว เยื่อจากกระดาษหรือเศษกระดาษที่ได้ส่วนมากจะนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษพิมพ์ เขียนทำเป็นเยื่อชั้นในของกระดาษแข็งหรือทำกระดาษชำระ

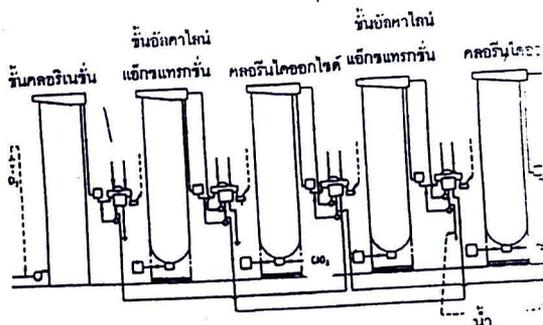
2.2.1.2 การฟอกเชื้อ เป็นการทำให้เชื้อมีสีขาวเหมาะสมกับการใช้พิมพ์ การฟอกเชื้อมี 2 วิธีคือ

1. วิธีฟอกเชื้อเพื่อจำกัดลิกนินออกไป
2. วิธีฟอกเชื้อเพื่อเปลี่ยนสีของลิกนินให้อยู่ในรูปไม่มีสี

เชื้อเคมีจะฟอกโดยใช้วิธีกำจัดลิกนินออกไป โดยใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับลิกนิน แล้วกำจัดออก การฟอกแบบนี้มีหลายขั้นตอน การฟอกสีซึ่งมีชื่อเรียกตามสารเคมีที่ใช้ฟอก และเรียงตามลำดับตัวอักษรตัวแรกของแต่ละขั้นตอน โดยสารเคมี สัญลักษณ์ และชื่อขั้นตอนการฟอก ที่ใช้เป็นต้นดังนี้

ตารางที่ 2.2 การฟอกสีซึ่งมีชื่อเรียกตามสารเคมีที่ใช้ฟอกโดยเรียงตามลำดับตัวอักษร

สารเคมี	สัญลักษณ์	ชื่อเรียกขั้นตอนการฟอก
คลอรีน (chlorine)	C	ชั้นคลอรีนชั้น
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide)	E	ชั้นแอคแทรกชั้น
แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ (calcium hypochlorite)	H	ชั้นไฮโปคลอไรต์
คลอรีนไดออกไซด์ (chlorine dioxide)	D	ชั้นคลอรีนไดออกไซด์
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide)	P	ชั้นแอคแทรกชั้น
ออกซิเจน (Oxygen)	O	ชั้นออกซิเจน
โอโซน (ozone)	Z	ชั้นโอโซน
กรด (acid)	A	ชั้นกรด



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างการฟอกแบบ ceded

สำนัก: กรมการวิจัยแห่งชาติ
 ห้องสมุดงานวิจัย
 วันที่..... 13 พ.ย. 2555
 เลขทะเบียน..... 249705
 เลขเรียกหนังสือ.....

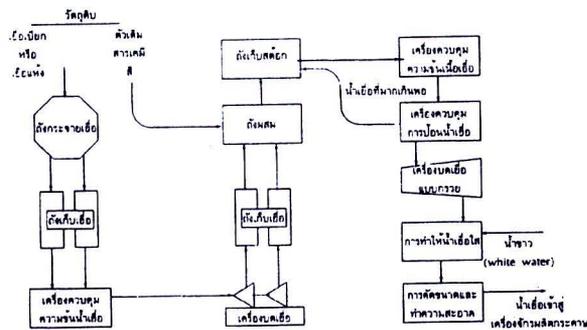
โดยทั่วไปจะมีตั้งแต่ 3-6 ขั้นตอนตัวอย่างเช่น (CEH CEDEP CEOP) เชื้อที่ได้มีความขาวสว่างสูง ประมาณร้อยละ 80-95 เมื่อวัดด้วยเครื่องวัดแบบเอลริโฟ (Elrepho)

2.2.2 การเตรียมน้ำต้มเยื่อ

ในขั้นตอนการเตรียมน้ำต้มเยื่อ (stock preparation) มีวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ คือ

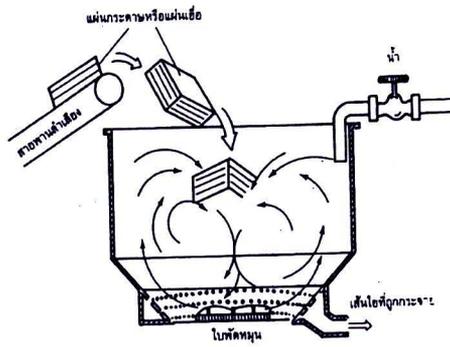
1. เพื่อพัฒนาศักยภาพของเส้นใยโดยการนำเยื่อไปบด
2. เพื่อปรับปรุงสมบัติกระดาษให้ได้ตรงตามวัตถุประสงค์การใช้งาน

โดยการผสมหรือใส่สารเติมแต่งชนิดต่างๆ ตามอัตราส่วนที่กำหนด ส่วนผสมที่ได้นี้เรียกว่าน้ำเยื่อ หรือสต็อก(stock) เชื้อที่นำมาทำกระดาษทุกชนิดจะต้องผ่านการบด แต่จะบดมากหรือบดน้อยขึ้นอยู่กับระดับคุณภาพของเยื่อ เชื้อบางชนิดไม่จำเป็นต้องบด เช่น เยื่อไม้บด และเยื่อหมุนเวียนทำใหม่ เพราะเยื่อเหล่านี้ผ่านการบดมาแล้ว ในขั้นตอนการเตรียมน้ำเยื่อประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่ทำหน้าที่ในการบดและผสม โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติเรียงตามลำดับคือ การกระจายเส้นใย (defibering) การบดเยื่อ (refining) การผสมน้ำเยื่อ (blending) การตัดขนาดและแยกสิ่งสกปรก (screening and cleaning) และควบคุมความเข้มข้นของน้ำเยื่อ (consistency regulator)



รูปที่ 2.13 ขั้นตอนการเตรียมน้ำเยื่อ

2.2.2.1 การกระจายของเส้นใย เป็นการกระจายเยื่อ เพื่อให้เส้นใยแยกออกจากกันเป็นอิสระในน้ำโดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า ไฮดร่าพัลเลอร์ (hydra pulper)

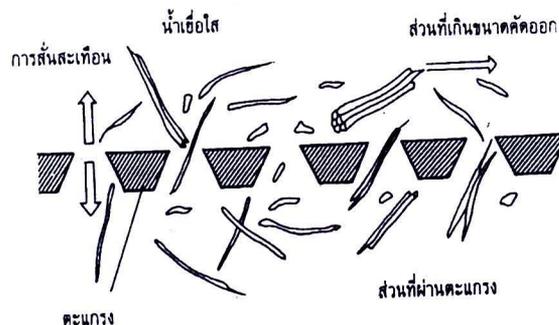


รูปที่ 2.14 เครื่องไฮคราฟัลเลอร์

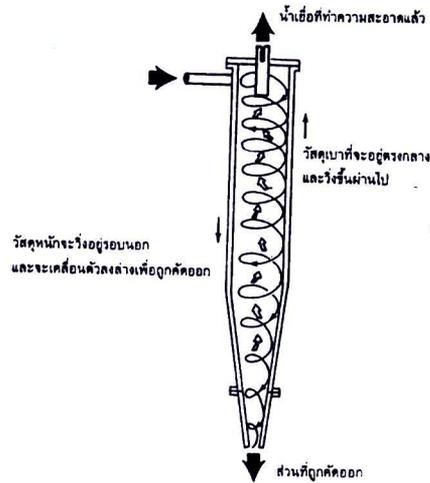
2.2.2.2 การบดเยื่อ เป็นการบดเพื่อให้เส้นใยแตกแขนงเป็นการเพิ่มการชิดกันระหว่างเส้นใยให้สูงขึ้น อุปกรณ์ที่ใช้คือ รีไฟน์เนอร์ (refiner)

2.2.2.3 การผสมน้ำเยื่อ เป็นการเติมสารเติมแต่งลงไปผสมกับเยื่อที่ผ่านการบดแล้ว โดยผสมในถัง ใบพัดกวนเยื่อจะถูกเก็บไว้ในถังที่เรียกว่า แมชชีนเชสต์ (machine chest)

2.2.2.4 การคัดขนาดและแยกสิ่งสกปรก เป็นการคัดขนาดและแยกสิ่งสกปรกออกจากน้ำเยื่อ การคัดขนาดจะใช้ตะแกรงราบเพื่อคัดวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นใยออกแล้วผ่านเข้าสู่เครื่องทำความสะอาด ระบบเซนติฟิวจ์หรือระบบปั่นแยกจะคัดแยกวัสดุอื่นออกไป โดยใช้หลักความถ่วงจำเพาะ



รูปที่ 2.15 การคัดขนาดโดยตะแกรงราบ



รูปที่ 2.16 การคัดขนาดโดยใช้ระบบปั่นแยก

2.2.2.5 การควบคุมความเข้มข้นของน้ำเชื้อ เป็นการควบคุมให้น้ำเชื้อมีความเข้มข้นที่คงที่

2.2.3 การทำแผ่นทำกระดาษ

หลังการผสมน้ำเชื้อเรียบร้อยแล้ว น้ำเชื้อจะถูกส่งเข้าสู่เครื่องจักรผลิตกระดาษเพื่อทำให้เป็นแผ่นกระดาษที่ยาวต่อเนื่องเรียกว่า กระดาษม้วน เครื่องจักรพื้นฐานที่ใช้ผลิตกระดาษมี 2 แบบ คือ แบบโฟลด์รีเนียร์ และแบบไซลินเดอร์ เครื่องจักรผลิตกระดาษทุกแบบมีส่วนประกอบต่างๆ เพื่อทำหน้าที่หลัก 3 ประการ

1. การแยกน้ำออก (draining) อาศัยตะแกรงรองรับน้ำเชื้อ น้ำจะลอดผ่านตะแกรง ทำให้น้ำเชื้อก่อตัวเป็นแผ่นเปียก
2. การกดน้ำออก (pressing) มีลูกกลิ้งทำหน้าที่กดหรือบีบน้ำออกจากแผ่นเปียก ทำให้เกิดการบีบอัดกันแน่นระหว่างเส้นใยภายในแผ่นกระดาษ
3. การอบกระดาษแผ่นกระดาษจะได้รับการอบให้แห้ง เพื่อไล่น้ำออกจนกระดาษแห้งเหลือความชื้น ประมาณร้อยละ 4-6

2.2.4 การปรับปรุงสมบัติกระดาษในขณะที่เดินแผ่น

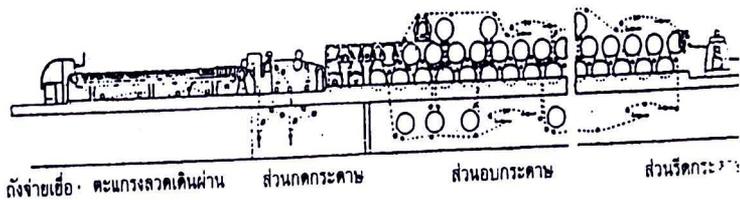
การปรับปรุงสมบัติกระดาษในขณะที่เดินแผ่นทำได้ 2 ลักษณะคือ การปรับปรุงผิวกระดาษ และการเปลี่ยนแปลงขนาดรูปร่างของม้วนกระดาษ

2.2.4.1 การปรับปรุงผิวกระดาษ กระดาษเมื่อผ่านลูกอบแห้งแล้วจะวิ่งเข้าสู่ส่วนรีดกระดาษเพื่อปรับปรุงผิวกระดาษให้เรียบขึ้น และเพิ่มความหนาแน่นของเนื้อกระดาษส่งผลให้กระดาษบางลง นอกจากปรับปรุงผิวกระดาษที่ส่วนนี้แล้ว ยังสามารถทำการปรับปรุงผิวกระดาษในขณะที่เดินแผ่นได้ด้วยวิธีการที่เรียกว่า การฉาบผิว การฉาบผิวกระดาษจะทำหน้าที่ส่วนก่อนเข้าสู่ลูกอบกระดาษโดยใช้น้ำแป้งฉาบบนผิวกระดาษ ทำให้กระดาษมีผิวเรียบขึ้น นอกจากนี้ยังเพิ่มความแข็งแรงของพันธะที่ผิวกระดาษ ทำให้ผิวกระดาษแข็งแรงสามารถต้านทานการขูดลบหรือการถอนผิวกระดาษได้ดี ซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญมากสำหรับกระดาษที่ใช้พิมพ์ กระดาษที่ผ่านการปรับปรุงลักษณะนี้ได้แก่ กระดาษออฟเซต นอกจากนี้กระดาษทิชชูก็สามารถปรับปรุงผิวกระดาษได้โดยวิธีการเชิงกลโดยการทำให้เกิดรอยขุ่นหรือการพิมพ์ลายบนบนผิวกระดาษเพื่อให้กระดาษนุ่มมือขึ้น

2.2.4.2 การเปลี่ยนแปลงขนาดรูปร่างของม้วนกระดาษ โดยการเปลี่ยนแปลงขนาด รูปร่างของม้วนกระดาษในขณะที่เดินแผ่น เพื่อให้เหมาะกับขนาดม้วนที่ลูกค้าต้องการ โดยการคลายม้วนและตัดเป็นแผ่น

2.2.5 การแปรรูปกระดาษเป็นแผ่น

เป็นขั้นตอนการนำกระดาษม้วนไปแปรรูปเป็นแผ่น โดยนำไปตัดขนาดให้ได้ขนาดของแผ่นกระดาษตามที่ลูกค้าต้องการ โดยเครื่องตัดแบ่งม้วน



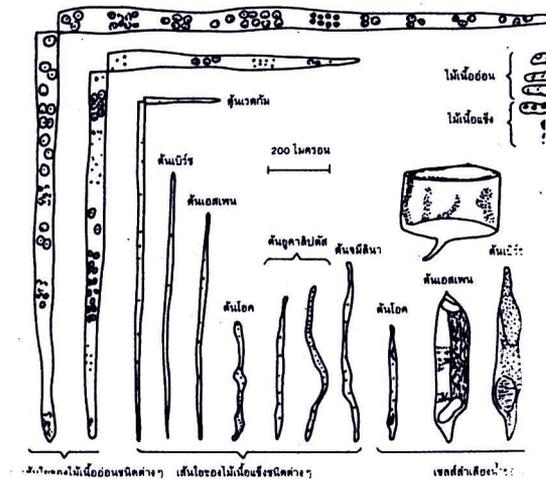
รูปที่ 2.17 การแปรรูปกระดาษเป็นแผ่น

2.3 องค์ประกอบของกระดาษ [5]

2.3.1 ส่วนเส้นใย

ในกระดาษโดยทั่วไปจะมีส่วนเส้นใยผสมอยู่ในประมาณร้อยละ 70-95 ของน้ำหนักกระดาษปริมาณส่วนของเส้นใยจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษที่ต้องการผลิต ส่วนเส้นใยนี้จะได้มาจาก

พืชชนิดต่างๆ เช่น ไม้เนื้ออ่อน ไม้เนื้อแข็ง และพืชล้มลุก ส่วนเส้นใยที่เรียกกันทั่วไปว่า เยื่อ เยื่อที่ใช้ในการทำกระดาษส่วนมากจะเป็นเยื่อผสมของเยื่อใยขาวและเยื่อใยสั้น



รูปที่ 2.18 รูปร่างของเซลล์ชนิดต่างๆ ในไม้เนื้ออ่อน และไม้เนื้อแข็ง

2.3.2 ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย

ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยหรือที่เรียกว่า สารเติมแต่ง เป็นสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อปรับสภาพสมบัติกระดาษให้ได้ตามวัตถุประสงค์การใช้งาน สารเติมแต่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.3.2.1 สารเติมแต่งหลัก (functional additive) สารเติมแต่งประเภทนี้ทำหน้าที่ปรับปรุงสมบัติเฉพาะอย่างของกระดาษ แบ่งออกเป็น 6 ชนิดด้วยกัน คือ

1. สารด้านการซึมน้ำ (sizing agent) สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารเคมีที่ใส่ลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติด้านการต้านทานการซึมน้ำของกระดาษ ทำให้กระดาษต้านทานการเปียกน้ำได้ดีขึ้น เนื่องจากกระดาษทำมาจากเส้นใยเซลลูโลสซึ่งมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้สูง กระดาษที่ไม่ได้ใส่สารด้านการซึมน้ำจึงเปียกน้ำและดูดซึมน้ำได้ง่าย เช่น กระดาษชำระและกระดาษซับ

การเติมสารด้านการซึมน้ำลงไป จะช่วยลดพื้นที่ผิวของการคั่งคุดระหว่างเส้นใยและโมเลกุลของน้ำทำให้ลดอัตราการซึมน้ำเข้าสู่เนื้อกระดาษ เมื่อกระดาษโดนน้ำจะไม่เปียกหรือซับน้ำในทันทีทันใด การเติมสารด้านการซึมน้ำแบ่งเป็น 3 ระดับ มีชื่อเรียกกระดาษที่เติมสารด้านการซึมน้ำแต่ละระดับ ดังนี้

1.1 กระดาษที่ไม่ใส่สารด้านการซึมน้ำเลย เช่น กระดาษชำระ

1.2 กระดาษที่ใส่สารด้านการซึมน้ำเล็กน้อยมีระดับการซึมน้ำปานกลาง เช่น กระดาษพิมพ์และเขียน

1.3 กระดาษที่ใส่สารด้านการซึมน้ำในปริมาณสูงมาก มีระดับด้านการซึมน้ำสูง เช่น กระดาษทำด้วย กระดาษทำกล่อง

สารด้านการซึมน้ำที่ใช้ในการทำกระดาษได้แก่ สารส้มและชันสน ไซฟิ่ง ยางมะตอย อัลคีนิลซัค ซินิกแอนไฮดรอย

2. ตัวเติม (filler) สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นผงแร่สีขาวใส่ลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติด้านทัศนศาสตร์ และปรับปรุงสมบัติด้านการพิมพ์ของกระดาษ นอกจากนี้ยังใส่ลงไปเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิต กระดาษอีกด้วย เพราะตัวเติมส่วนมากจะมีราคาถูกเมื่อเทียบกับเส้นใย ผงแร่ที่ใช้เป็นตัวเติมลงใน กระดาษจะต้องมีขนาดเล็กละเอียด ตัวเติมที่ดีควรมีขนาดประมาณ 1-10 ไมครอนผงแร่ที่มีขนาดเล็กนี้ เมื่อเติมลงไปจะช่วยเพิ่มเนื้อที่ผิวภายในกระดาษ โดยเพิ่มพื้นที่ผิวระหว่างผงแร่กับอากาศ และผงแร่ กับเส้นใยทำให้เพิ่มค่าการกระเจิงแสงของกระดาษ ทำให้กระดาษมีค่าความขาวสว่างเพิ่มขึ้นและ เนื่องจากมีขนาดเล็กกว่าเส้นใยมาก เมื่อใส่ลงไปจะทำให้กระดาษมีผิวเรียบขึ้น ผงแร่ที่ใช้เป็นตัวเติม ในกระดาษได้แก่ ดินขาว ไททาเนียมไดออกไซด์ และแคลเซียมคาร์บอเนต ผงแร่ใส่ลงไปจะช่วย ปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของกระดาษให้ดีขึ้น ดังนี้

2.1 ทำให้ผิวกระดาษเรียบขึ้น

2.2 เพิ่มความขาวสว่างและความทึบแสงของกระดาษ

2.3 ทำให้กระดาษมีการดูดซับหมึกได้ดีขึ้น

2.4 ลดต้นทุนการผลิตกระดาษ

แต่การเติมผงแร่ลงไปก็มีส่วนลดสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษลงด้วย ผงแร่แต่ละชนิดมี ลักษณะรูปร่าง ขนาด และดัชนีการหักเหของแสงต่างกัน

3. สารเพิ่มความเหนียว สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติด้านความ เหนียวของกระดาษ โดยเฉพาะความต้านแรงดึงและความต้านแรงฉีกขาด นอกจากนี้ยังช่วยลดการ หลุดลอกของเส้นใยที่ผิวกระดาษ และเพิ่มพันธะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นกระดาษแข็ง ซึ่งเป็นสมบัติ ที่สำคัญมากเพราะถ้าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นต่ำจะทำให้เกิดการแยกชั้นของกระดาษแข็งในระหว่าง การพิมพ์ได้ สารเพิ่มความเหนียวที่ใช้ได้แก่ แป้งธรรมชาติ แป้งปรุงแต่ง ปรับให้เป็นประจุบวก กัม และพอลิอะคริลเอไมค์ แป้งเป็นสารเพิ่มความเหนียวที่รู้จักกันดีและมีใช้มานานแล้ว แต่ในปัจจุบัน นิยมใช้แป้งประจุบวกและพอลิอะคริลเอไมค์มากกว่า เนื่องจากสารเหล่านี้มีประจุบวกจึงสามารถจับ ตัวกันได้ดีกับเส้นใยซึ่งมีประจุลบ ทำให้เพิ่มพันธะระหว่างเส้นใยในกระดาษส่งผลให้กระดาษมีความ แข็งแรงเพิ่มขึ้น

4. สารเพิ่มความเหนียวเมื่อเปียก สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารเคมีเติมลงไปเพื่อรักษาความ เหนียวของกระดาษให้คงที่ไว้ได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 15 ของความเหนียวเดิม ปกติจะไม่ใส่สารชนิดนี้ ในกระดาษพิมพ์ทั่วไป แต่อาจพบในกระดาษพิมพ์งานพิมพ์พิเศษที่ต้องการความเหนียวเมื่อเปียกสูง

เช่น กระจกพิมพ์แผ่นที่ กระจกชนบัตร สารเคมีที่ใช้เป็นสารเพิ่มความเหนียวเมื่อเปียก ได้แก่ ยูเรีย ฟอรัมาลดีไฮด์ เมลามีนฟอรัมาลดีไฮด์ พอลิเอไมด์ และพอลิเอมีน

5. สารสีข้อม สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารเคมีที่ใส่ลงไปในการทำกระจกโดยมีวัตถุประสงค์ 2 ประการด้วยกันคือ

5.1 ต้องการทำการกระจกสี ในกรณีนี้จะเติมสารสีข้อมลงไปในส่วนผสมของน้ำเยื้องนได้ สีสตามที่ต้องการ

5.2 ต้องการแต่งสีกระจกขาวให้ได้ระดับคล้ำสีที่ต้องการ หรือ เพื่อให้ดูขาวขึ้นเรียกว่า สีแต่ง โดยใช้สีแต่งในปริมาณน้อยๆ เติมลงในส่วนผสมน้ำเยื้องน สีที่ใช้แต่งนี้อาจเป็นสีอะไรก็ได้ แต่ ในกระจกขาวจะใช้สีม่วงหรือสีน้ำเงิน

6. สารเพิ่มความขาวสว่าง สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารสีข้อมประเภทเรืองแสงเรียกทั่วไปว่า สารฟอกนวล เมื่อเติมลงไปจะช่วยให้กระจกมีความขาวสว่างเพิ่มขึ้น กระจกพิมพ์เขียนทุกชนิดจะมี สารฟอกนวลผสมอยู่ด้วย

2.3.2.2 สารเติมแต่งเสริม สารเติมแต่งประเภทนี้ นอกจากทำหน้าที่ช่วยเสริมให้สารเติมแต่งหลัก ทำหน้าที่เฉพาะอย่างได้ดีขึ้นแล้ว ยังช่วยในการบำรุงดูแลรักษาความสะอาดของเครื่องจักรผลิต กระจกเพื่อให้สามารถเดินกระจกได้ดีอีกด้วย สารเติมแต่งประเภทนี้แบ่งได้เป็น 6 ชนิดตามลักษณะ หน้าที ดังนี้

1. สารเพิ่มการตกค้าง สารชนิดนี้จึงช่วยทำให้มีการตกค้างของเส้นใยละเอียดและตัวเติมค้าง ในเยื้องกระจกมากขึ้น
2. สารด้านการเกิดฟอก สารชนิดนี้ช่วยป้องกันการเกิดฟอกและช่วยให้เยื้องกระจกมีความ สม่ำเสมอดีขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้น้ำแยกตัวออกจากเยื้องได้เร็ว
3. สารควบคุมจุดชิวะ สารชนิดนี้จะช่วยควบคุมการเกิดเมือก และการแพร่ขยายของจุดชิวะ
4. สารควบคุมการเกิดจุดดำ
5. สารช่วยแยกน้ำ สารนี้จะช่วยเพิ่มอัตราการแยกน้ำออกจากกระจกให้เร็วขึ้น

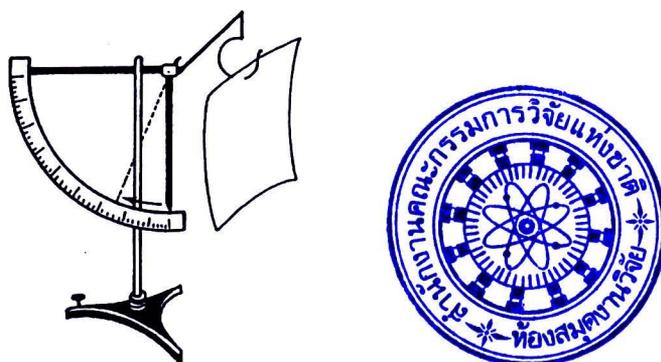
2.3.2.3 สารช่วยกระจายตัว สารชนิดนี้จะช่วยให้เส้นใยกระจายตัวสม่ำเสมอ ลดการจับกลุ่มก้อนของ เส้นใย

2.4 ลักษณะโครงสร้างและสมบัติของกระดาษกราฟที่ [6]

โดยปกติกระดาษที่ผลิตได้จะมีคุณสมบัติไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น เกิดจากการกระจายตัวและจับกลุ่มของเส้นใย ฉะนั้นในการตรวจสอบคุณลักษณะของกระดาษจะใช้ค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดหลายค่าเป็นตัวแทนบอกคุณลักษณะของกระดาษนั้นๆ คุณลักษณะกระดาษ โดยทั่วไปที่ควรทราบมีดังนี้

2.4.1 น้ำหนักพื้นฐาน (Basis Weight or Grammage)

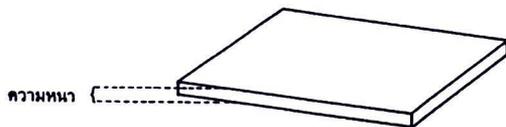
น้ำหนักของกระดาษต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ในการตรวจสอบหาน้ำหนักพื้นฐาน ให้นำกระดาษที่จะตรวจสอบเก็บไว้ในห้องที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นตามมาตรฐานการทดสอบ ก่อนนำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง ดังรูปที่ 2.19 เนื่องจากกระดาษทำมาจากเซลลูโลสซึ่งมีคุณสมบัติที่ชอบน้ำ อุณหภูมิและความชื้นที่แปรเปลี่ยนไปจะมีผลต่อการดูดและคายความชื้นของกระดาษ ทำให้น้ำหนักกระดาษเปลี่ยนแปลงไป ในโรงงานกระดาษจะใช้ค่าน้ำหนักพื้นฐานกระดาษในการควบคุมการผลิตกระดาษ น้ำหนักพื้นฐานตามระบบสากลทั่วไปจะมีหน่วยเป็นกรัมต่อตารางเมตร (แกรม) แต่ในบางประเทศจะมีการใช้หน่วยเป็นปอนด์ต่อตารางฟุต หรือน้ำหนักปอนด์ต่อ 3,000 ตารางฟุต



รูปที่ 2.19 เครื่องมือที่ใช้วัดน้ำหนักพื้นฐานของกระดาษ

2.4.2 ความหนา (Thickness)

หมายถึง ระยะห่างที่ตั้งฉากระหว่างผิวด้านบนและผิวด้านล่างของกระดาษดังรูปที่ 18 ในการตรวจสอบหาความหนาของกระดาษ กระดาษที่จะตรวจสอบจะต้องเก็บในห้องที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นตามมาตรฐานการทดสอบ ทั้งนี้เพราะความชื้นมีอิทธิพลต่อความหนา ค่าความหนามจะมีหน่วยเป็น นิ้ว หรือ มิลลิเมตร หรือ ไมโครเมตรอย่างใดอย่างหนึ่ง ความหนาของกระดาษจะมากหรือน้อยอาจขึ้นอยู่กับน้ำหนักของกระดาษ แรงกดของชุดลูกกด การบดเยื่อ และชนิดของเยื่อกระดาษที่ใช้ เป็นต้น



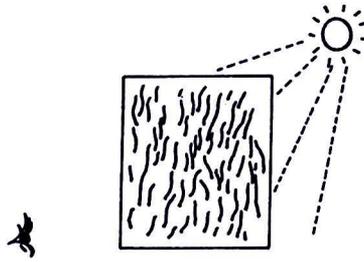
รูปที่ 2.20 ความหนาของกระดาษหนึ่งแผ่น



รูปที่ 2.21 เครื่องวัดความหนาของกระดาษ

2.4.3 ความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ (Formation)

จะขึ้นอยู่กับ การจับกลุ่มและการกระจายตัวของเส้นใยความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษจะมีผลต่อคุณสมบัติทางเชิงกลและทางทัศนศาสตร์ของกระดาษ วิธีการตรวจสอบความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษอย่างง่ายทำได้โดยการยกขึ้นส่องกับแสงสว่างดังแสดงในรูปที่ 2.22 จะเห็นว่าถ้ากระดาษมีความสม่ำเสมอต่อการกระจายตัวของเส้นใยจะไม่สม่ำเสมอและปรากฏในดวงเป็นทางหรือจุดคล้ายก้อนเมฆ ในปัจจุบันการวัดความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษยังไม่มีกำหนดวิธีวัดที่เป็นมาตรฐาน ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ ได้แก่ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกระดาษ เช่น เส้นใย สารปรับแต่งต่างๆ ตลอดจนขั้นตอนต่างๆ ในการผลิตกระดาษ



รูปที่ 2.22 วิธีการตรวจสอบความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ

2.4.4 แนวการเรียงตัวของเส้นใย

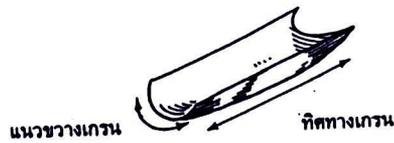
สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แนวคือ แนวที่เส้นใยเรียงตัวขนานกับทิศทางการเดินแผ่นกระดาษบนเครื่องจักรผลิตกระดาษ เรียกว่า แนวขนานเครื่อง (machine direction, MD) และแนวที่เส้นใยเรียงตัวขนานทิศทางการเดินแผ่นกระดาษบนเครื่องจักรผลิตกระดาษ เรียกว่า แนวขวางเครื่อง (cross direction, CD) ส่วนใหญ่เส้นใยจะเรียงตัวตามแนวขนานเครื่องเปรียบเสมือนที่นอนซึ่งลอบไปตามกระแสน้ำ ดังรูปที่ 2.23 แนวการเรียงตัวของเส้นใยจะทำให้คุณสมบัติของกระดาษทั้งสองแนวต่างกัน ซึ่งจะมีผลต่อการพับ การหักงอ การพิมพ์ การอัดสำเนาหรือถ่ายเอกสาร



รูปที่ 2.23 แนวการเรียงตัวของเส้นใยในม้วนกระดาษบนเครื่องจักรผลิตกระดาษ

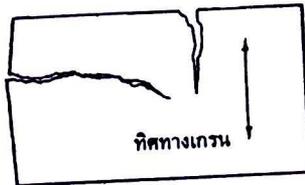
การตรวจสอบแนวแกนกระดาษ สามารถทำได้ง่าย ๆ 4 วิธีดังนี้

1. โดยการโค้งงอของกระดาษ (curl test) กล่าวคือ ให้ตัดกระดาษเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ 2*2 นิ้ว แล้วใช้น้ำทาเพียงด้านเดียว กระดาษจะโค้งงอโดยทิศทางการโค้งงอจะเป็นตามแนวขวางเครื่อง



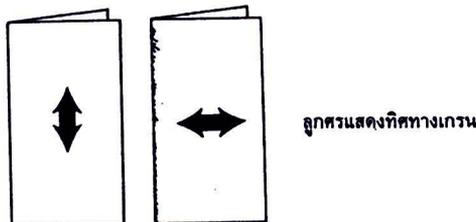
รูปที่ 2.24 การตรวจสอบแนวการเรียงตัวของเส้นใยโดยการโค้งงอ

2. โดยการฉีกกระดาษ (tearing test) ถ้าเป็นแนวขนานเครื่องจะฉีกได้ง่ายกว่า และรอยฉีกจะเป็นแนวตรงกว่ารอยฉีกในแนวขวางเครื่อง



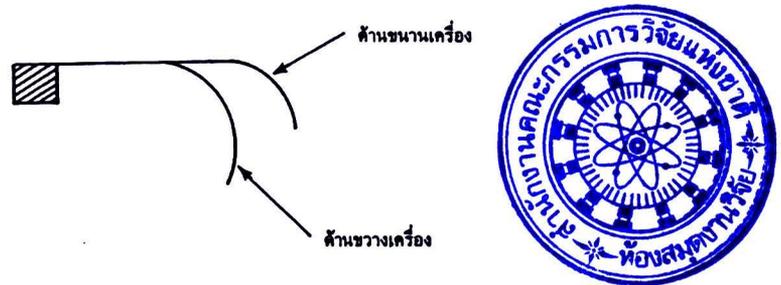
รูปที่ 2.25 การตรวจสอบแนวการเรียงตัวของเส้นใยโดยการฉีกกระดาษ

3. โดยการพับกระดาษ (folding test) กระดาษจะสามารถพับในแนวขนานเครื่องได้ง่ายกว่าในแนวขวางเครื่อง เมื่อพับกระดาษในแนวขวางเครื่องจะเห็นเป็นรอยแตกหักไม่เรียบสม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2.26 และยิ่งถ้าเป็นกระดาษแข็งจะเห็นรอยแตกชัดมากขึ้น



รูปที่ 2.26 การตรวจสอบแนวการเรียงตัวของเส้นใยโดยการพับกระดาษ

4. โดยการดูความทรงรูป (stiffness test) โดยการตัดกระดาษให้มีความกว้างและยาวเท่ากันและปล่อยให้กระดาษโค้งงอโดยน้ำหนักตัวเอง แนวขวางเครื่องจะโค้งงอได้มากกว่าแนวขนานเครื่อง



รูปที่ 2.27 การตรวจสอบแนวทางการเรียงตัวของเส้นใยโดยการดูความทรงรูป

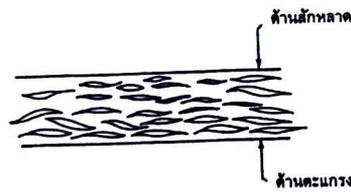
2.4.5 ความต่างของผิวกระดาษสองด้าน (Two-Sideness)

การที่เยื่อกระดาษมีการจัดเรียงตัวและก่อตัวเป็นแผ่นที่สายพานตะแกรงลวดเดินแผ่นในเครื่องจักรผลิตกระดาษ ทำให้ลักษณะของกระดาษสองด้านไม่เหมือนกัน เรียกว่า ความต่างของผิวกระดาษ (two-sideness) ผิวกระดาษที่ต่างกัน เรียกว่า ด้านตะแกรง และด้านสักหลาด

ด้านตะแกรง (wire side) หมายถึงผิวของกระดาษด้านที่สัมผัสกับสายพานลวดเดินแผ่นในเครื่องจักรผลิตกระดาษ ด้านตะแกรงมักมีรอยตะแกรงปรากฏให้เห็น

ด้านสักหลาด (felt side) หรือด้านบน (top side) หมายถึงด้านที่อยู่ตรงข้ามกับด้านตะแกรงหรือเป็นด้านบนเวลาทำแผ่นกระดาษ

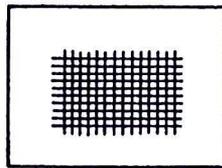
ผิวกระดาษของทั้งสองด้านจะแตกต่างกัน เนื่องจากความสั้นสะท้อนของสายพานตะแกรงลวดเดินแผ่น เพื่อการจัดเรียงตัวเส้นใยในกระบวนการผลิตกระดาษทำให้ด้านสักหลาดมีองค์ประกอบที่เป็นเส้นใยสั้นและส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย เช่น สารปรับแต่งอยู่มาก ในขณะที่ด้านตะแกรงจะมีองค์ประกอบเป็นเส้นใยยาวส่วนใหญ่ และมีการจัดเรียงตัวของเส้นใยในแนวขนานเครื่องมากกว่า เส้นใยสั้นๆและสารปรับแต่งต่างๆสามารถลอดผ่านรูตะแกรงออกไปได้ ดังรูปที่ 2.28 ทำให้ผิวกระดาษทั้งสองด้านมีความแตกต่างกันซึ่งจะมีผลต่อคุณสมบัติอื่นๆเช่น ความเรียบ การดูดซึมน้ำและน้ำมัน (หมึกพิมพ์) เป็นต้น โดยปกติไม่ควรผลิตให้ผิวกระดาษแตกต่างกันมากเพราะจะมีผลต่อการพิมพ์



รูปที่ 2.28 ความแตกต่างของผิวกระดาษสองด้าน

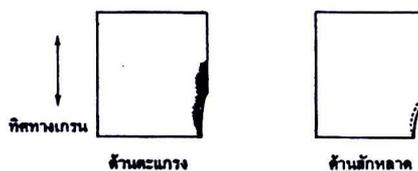
วิธีการตรวจสอบผิวกระดาษว่าด้านไหนเป็นด้านตะแกรงหรือด้านสั๊กหลอด สามารถทำได้ 2 วิธีดังนี้

1. สังเกตที่ผิวกระดาษทั้งสองด้าน ด้านที่เห็นรอยตะแกรงจะเป็นด้านตะแกรง ดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 รอยตะแกรงของผิวกระดาษด้านตะแกรง

2. สังเกตรอยฉีกลอกเส้นใย ให้ฉีกกระดาษที่มุมและสังเกตรอยฉีกขาด ถ้ารอยฉีกขาดปรากฏเป็นแนวกว้างของการลอกออกของเส้นใยมาก แสดงว่าเป็นด้านตะแกรง ดังแสดงในรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 ผลการตรวจสอบความต่างของผิวกระดาษโดยการฉีกลอกเส้นใย

2.4.6 ความพรุนของกระดาษ (Porosity)

กระดาษจะมีรูพรุนเล็กๆแทรกอยู่ระหว่างส่วนที่เป็นเส้นใยและส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย รูพรุนนี้มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น การตรวจสอบความพรุนของกระดาษ (porosity) ทำได้โดยการวัดปริมาณอากาศที่สามารถไหลผ่านกระดาษในหนึ่งหน่วยเวลาภายใต้สภาวะทดสอบมาตรฐาน ความพรุนของกระดาษจึงมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ความพรุนของกระดาษจะแสดงถึงความต้านทานอากาศที่ซึมผ่านของกระดาษได้ด้วย ถ้ากระดาษมีความพรุนมาก หมายถึง ความต้านทานอากาศผ่านจะน้อย ความพรุนของกระดาษจะมีความสำคัญมากต่อกระดาษประเภทที่ใช้ทำถุงกระดาษ ถุงปูนซีเมนต์ กระดาษทิชชู กระดาษกรอง

2.4.7 ความเรียบของผิวกระดาษ (Smoothness)

เป็นคุณลักษณะของกระดาษที่สัมพันธ์กับความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษและความเรียบหยาบของผิวกระดาษทั้งสองด้าน ความเรียบของผิวกระดาษ (smoothness) จะแปรตามวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการผลิตและกระบวนการผลิตกระดาษ การใช้เส้นใยที่สั้นและละเอียดมากขึ้นรวมทั้งการใช้สารเติมแต่งจะเพิ่มความเรียบของผิวกระดาษมากขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพของงานพิมพ์นอกจากนี้การขัดผิว จะเพิ่มความเรียบของผิวกระดาษด้วย

2.4.8 ปริมาณความชื้น (Moisture %)

หมายถึง น้ำหนักของน้ำในแผ่นทดสอบ คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักเดิมของแผ่นทดสอบ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

2.4.9 ความต้านทานแรงกดวงแหวน (Ring Crush)

หมายถึง ความสามารถของกระดาษที่จะต้านทานแรงที่มากคในระนาบเดียวกับกระดาษจนขอบกระดาษหักพับ มีหน่วยเป็น กิโลกรัมแรง ต่อ 6 นิ้ว (Kgf/6 inch) หรือ นิวตัน ต่อ 152.4 มิลลิเมตร (N/152 mm)

2.4.10 ความต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Concora Crush)

หมายถึง ความสามารถของกระดาษทำลูกฟูกที่จะต้านทานแรงกดบนลอนลูกฟูก จนลอนลูกฟูกนั้นยุบลงจนแบน มีหน่วยเป็นกิโลกรัมแรง (Kgf) หรือ นิวตัน (N)

2.4.11 ค่าการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

หมายถึง เวลาที่กระดาษใช้ดูดซึมน้ำปริมาตร 0.05 ลูกบาศก์เซนติเมตรได้หมด มีหน่วยเป็นวินาที (sec.)

2.4.12 ความต้านทานแรงดึงขาด (Tensile Strength)

หมายถึง ความสามารถในการต้านแรงดึงขาดที่กระทำต่อกระดาษในแนวยาว ความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษเป็นสมบัติที่สำคัญของกระดาษในระบบการพิมพ์ป้อนม้วนมากกว่ากระดาษในระบบแบบป้อนแผ่น นอกจากนี้กระดาษที่ต้องนำไปขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ต่างๆก็จำเป็นต้องมีความต้านทานแรงดึงขาดด้วย เนื่องจากในกระบวนการขึ้นรูปอาจมีแรงดึงกระทำต่อกระดาษไม่มากนักน้อยกระดาษในแนวขวางเครื่องมีความต้านทานแรงดึงขาดมากกว่ากระดาษในแนวนานเครื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษได้แก่ ชนิดของเยื่อ ปริมาณการบดหรือตีเยื่อ ปริมาณการกรดรีดน้ำ น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ ชนิดและปริมาณของสารเติมแต่ง (additive) และความชื้นในกระดาษ

2.4.13 ความต้านแรงดันทะลุ (bursting strength)

หมายถึง ความสามารถของกระดาษที่จะต้านแรงดันที่กระทำบนชิ้นทดสอบด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจนกระดาษทะลุ มีหน่วยเป็นกิโลปาสกาล (kPa) หรือกิโลกรัมต่อตารางเมตร (kg/m^2) หรือปอนด์ต่อตารางนิ้ว (lb/in^2)

2.4.14 ความต้านแรงฉีกขาด (tear strength)

หมายถึง ความสามารถของกระดาษที่จะต้านแรงกระทำซึ่งจะทำให้ชิ้นทดสอบขาดต่อจากแนวเดิม หน่วยที่วัดได้เป็นมิลลิเมตร (mN) หรือ กรัม (gram) ความต้านแรงฉีกขาดนี้ขึ้นอยู่กับความยาวของเส้นใยเซลลูโลสเป็นสำคัญ โดยเส้นใยยาวมีความต้านแรงฉีกขาดมากกว่าเส้นใยสั้น การเพิ่มปริมาณการบดหรือตีเยื่อก็มีผลทำให้ความต้านแรงฉีกขาดของกระดาษเพิ่มขึ้นอยู่กัน

2.4.15 ความทึบแสง (Opacity)

ความทึบแสงของกระดาษ เป็นคุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับกระดาษพิมพ์และเขียน กระดาษจะต้องทึบแสงพอที่จะบังภาพหรืออักษรที่อยู่ด้านหลังไม่ให้ปรากฏจนเกิดปัญหาในการอ่านและความชัดเจนของสิ่งพิมพ์ ความทึบแสงสามารถวัดได้โดยเปรียบเทียบค่าการสะท้อนแสงสีเขียวที่ช่วงคลื่น 557 นาโนเมตร ระหว่างกระดาษแผ่นเดียวที่รองหลังด้วยพื้นดำสนิท กับกระดาษที่วางซ้อนกันหนาจนแสงไม่ทะลุผ่าน ความทึบแสงและความสว่างต่างขึ้นกับปัจจัยสำคัญ 2 ประการ คือ การกระเจิงแสงและการ

ดูดซับแสง กระจกที่ใช้เยื่อที่มีความขาวสว่างสูงมากอาจมีปัญหาด้านความทึบแสง เพราะเยื่อจะมีความทึบแสงน้อยลง การเติมสารเพิ่มการกระเจิงแสงในเนื้อกระจกจะช่วยปรับปรุงความทึบแสงให้ดีขึ้นได้

2.4.16 สมบัติด้านการกีดกันและด้านการต้านทานของกระจก

สมบัติด้านการกีดกัน (Barrier Properties) หมายถึง ความสามารถของกระจกในการป้องกันการซึมทะลุผ่านของสารใดๆเข้าไปในเนื้อกระจก สมบัติด้านการต้านทาน (Resistance Properties) หมายถึง ความสามารถของกระจกในการต้านทานการซึมทะลุผ่านของสารใดๆเข้าไปในเนื้อกระจก กระจกจะมีการดูดซึมสารเมื่อสารซึมทะลุผ่านเข้าไปในเนื้อกระจกซึ่งภายในประกอบด้วยรูพรุนและรูปิดจำนวนมากมาย ซึ่งรูเหล่านี้มีผลต่ออัตราการไหลผ่านของกระจกของการซึมทะลุ

2.4.16.1 กลไกของการไหลผ่าน

สัมพันธกิริยาระหว่างกระจกและสารซึมทะลุ (Penetration Substance) ซึ่งอาจเป็นของเหลวหรือแก๊สจะมีผลต่อการไหลผ่านกระจก ทำให้เส้นใยบวมพอง ส่งผลให้กระจกขยายตัวซึ่งเป็นการเพิ่มขนาดของรูภายในเนื้อกระจก ปัจจัยที่มีอิทธิพลของการไหลของของเหลวเข้าไปในเนื้อกระจกได้แก่

1. รูปร่างและขนาดของรู (Pore Structure and Size) รูภายในเนื้อกระจกมีหลายผ่าน มีทั้งรูเปิดหน้าเดียวและรูเปิดสองหน้า และรูปิด (Void) ซึ่งแต่ละแบบ จะมีผลต่อการไหลผ่านของของเหลวต่างกัน

1.1 รูเปิดหน้าเดียว (Pore) เป็นรูที่มีลักษณะเปิดสู่ผิวกระจกภายนอกได้ด้านเดียว รูนี้ไม่ช่วยในการไหลผ่านของเหลว

1.2 รูปิด (Void) จำนวนมากมายอยู่ในเนื้อกระจก เป็นช่องว่างอากาศที่มีอยู่ภายในเส้นใย และระหว่างเส้นใย รูแบบนี้ไม่มีทางเปิดสู่ผิวของกระจกและไม่ช่วยในการไหลผ่านของเหลว

1.3 รูเปิดสองหน้าหรือที่เรียกว่ารูพรุน เป็นรูที่เปิดสู่ผิวหน้า กระจกได้ทั้งสองด้านและมีทางเชื่อมต่อกันภายในเนื้อกระจก รูแบบนี้จะช่วยทำให้ของเหลวไหลผ่านได้ดี

2. มุมสัมผัสระหว่างผิวของเหลวและผิวกระจก (Contact Angle)

3. เวลาที่ทำให้เปียก (Wetting Time)

4. การบวมพองของเส้นใย (Fiber Swelling) การบวมพองเกิดขึ้นเมื่อของเหลวซึมทะลุผ่านเป็นน้ำเส้นใยจะดูดซับน้ำไว้และเกิดกระบวนการพองของเส้นใย ทำให้กระจกเกิดการขยายตัว แต่

เนื่องจากกระดาษมีทิศทางการเรียงตัวของเส้นใยและลักษณะองค์ประกอบทางโครงสร้างภายในของเส้นใย ทำให้กระดาษมีการขยายตัวในแต่ละทิศทางไม่เท่ากัน

5. การแพร่กระจาย (Diffusion) กระดาษที่ผ่านการเคลือบผิว ดั่งนั้นของเหลว แก๊ส หรือไอน้ำจะใช้วิธีการที่เรียกว่าการแพร่กระจาย ในการซึมทะลุผ่านเข้าไปในเนื้อในของกระดาษโดยโมเลกุลของเหลวจะละลายที่ผิวหน้าด้านหนึ่งของชั้นฟิล์มที่ทำหน้าที่กีดกันแล้วแพร่กระจายผ่านชั้นฟิล์มและระเหยออกมาที่ผิวหน้าอีกด้านหนึ่งของชั้นฟิล์ม

2.4.16.2 การทำให้กระดาษมีสมบัติด้านการต้านทาน

สามารถทำได้ 2 ลักษณะ ขึ้นอยู่กับการต้องการให้ต้านทาน

1. การทำให้กระดาษมีสมบัติด้านการต้านทานการซึมทะลุของน้ำมันและไขมัน สามารถทำได้โดยการทำให้กระดาษมีเนื้อแน่น มีรูพรุนและรูปิดภายในเนื้อกระดาษน้อย ทำได้ 2 วิธี คือ

1.1 วิธีทางเชิงกลโดยการบดเยื่ออย่างหนัก จนเส้นใยแตกแขนงแขนงและเกิดเส้นใยฝอยมากมายซึ่งมีผลทำให้เพิ่มความแข็งแรงระหว่างพันธะมากขึ้น เมื่อนำเยื่อไปทำกระดาษจะได้กระดาษเนื้อแน่นและบางใส สามารถต้านทานการซึมทะลุผ่านของน้ำมัน และไขมันได้ดี กระดาษชนิดนี้ได้แก่ กระดาษกลาสซิ่ง (Greaseproof paper) กระดาษกรีซปรูฟ

1.2 วิธีทางเคมีที่เรียกว่าพาร์ชเม้นไทซ์เซชัน (Parchmentization) โดยการนำกระดาษไปผ่านสารละลายซัลฟิวริกเข้มข้น ประมาณร้อยละ 72 แล้วรีบล้างออกด้วยน้ำ และทำให้เป็นกลางโดยเร็ว กรดซัลฟิวริกจะละลายเซลลูโลสบนผิวกระดาษทำให้เซลลูโลสหลอมละลายติดกัน เมื่อแห้งจะได้กระดาษที่มีเนื้อแน่นและแสงผ่านได้ดี เช่น กระดาษเว็จเจ็ทเบิ้ลพาร์ชเม้นท์ (Vegetable Parchment Paper)

2. การทำให้กระดาษมีสมบัติด้านการต้านทานดูดซึมน้ำทำได้โดยกระบวนการที่เรียกว่าไซซิ่ง (Sizing Process) โดยการเติมสารต้านทานการซึมน้ำ (Sizing Agent) ลงในส่วนผสมของกระดาษ ทำได้ 2 วิธีคือ

2.1 อินเทอร์นอลไซซิ่ง (Internal Sizing) วิธีนี้เป็นการเติมสารต้านทานการซึมน้ำลงไปในส่วนผสมของกระดาษก่อนที่กระดาษจะเดินเป็นแผ่น สารต้านทานการซึมน้ำที่ใช้ ได้แก่ อลูม/โรซิน (Alum/Rosin), อัลคีนิล, ซัคซินิกไฮไดรด์ (Alkenyl Succinic Anhydride ASA), แวกซ์ (Wax) และแอสฟัลท์ (Asphalt)

2.2 เอกซ์เทอร์นอลไซซิ่ง (External Sizing) หรือที่เรียกว่าการฉาบผิวกระดาษ (Sulfur Sizing) เป็นการใส่สารต้านทานการซึมน้ำลงไปหลังจากที่กระดาษเดินเป็นแผ่นแห้งแล้ว สารต้านทานการซึมน้ำที่ใช้ ได้แก่ แป้ง, กัม และ PVA (Polyvinyl Alcohol) การฉาบผิวจะช่วยปรับปรุงด้านการต้านทานการดูดซึมน้ำและการคั่งถอนผิวของกระดาษอีกด้วย การใส่สารต้านทานการซึมน้ำแม้ว่า

จะใส่ในระดับมากจนถึงขั้นที่เรียกว่า ฮาร์ดไซส์ (Hard Sized) แล้วก็ตาม จะไม่สามารถป้องกันการซึมของน้ำเข้าไปภายในเนื้อกระดาษได้

2.4.16.3 การทำให้กระดาษมีสมบัติด้านการกีดกัน

เป็นการทำให้กระดาษมีสมบัติในการป้องกันการไหลผ่านของก๊าซ น้ำ ไขมัน และสารเคมีอื่นๆ ซึ่งนับว่าเป็นสมบัติที่สำคัญมากของกระดาษบรรจุภัณฑ์ สามารถทำได้โดยการเคลือบผิวกระดาษ (Coating) การฉาบชั้นฟิล์ม (Lamination) และการอาบน้ำยา (Impregnation) ด้วยสารกีดกัน แม้ว่าการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ที่นำมาปิดทับกระดาษโดยใช้สารยึดติดอาจใช้ได้ดี แต่ในปัจจุบันสารกีดกันที่ใช้มักเป็นแว็กซ์ PE (Polyethylene) และ PVD (Polyvinylidene) ซึ่งจะใช้สารเหล่านี้เคลือบบนผิวกระดาษ สารเคลือบจะก่อตัวเป็นแผ่นฟิล์มบางๆเมื่อแห้งตัว กระดาษที่ผ่านการทำด้วยวิธีนี้ จะมีสมบัติในการป้องกันการซึมทะลุผ่านของน้ำ อากาศ ไขมันและอื่นๆสูง เหมาะสำหรับการทำกระดาษบรรจุภัณฑ์

2.4.17 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสมบัติกระดาษ

1. กระดาษได้จากการนำส่วนเส้นใยและไม่ใช่เส้นใยมาผสมกันในอัตราส่วนต่างๆ แล้วไปทำเป็นแผ่นด้วยเครื่องจักรผลิตกระดาษ สมบัติกระดาษที่ได้จะขึ้นกับระดับคุณภาพและสมบัติทางเคมีต่างๆขององค์ประกอบเหล่านั้น เช่น ความยาวเส้นใย ความหนาของผนังเส้นใย ขนาดและรูปร่างของวัสดุ ดัชนีความหักเหและสมบัติเคมีอื่นๆ

2. การบดเยื่อเป็นวิธีการปรับปรุงสมบัติของเยื่อเพื่อให้เหมาะกับการเดินแผ่น และเพื่อให้ได้สมบัติกระดาษตรงตามความต้องการใช้งาน การบดเยื่อมีอิทธิพลต่อสมบัติต่างๆของกระดาษดังนี้ ความต้านทานแรงฉีกขาดจะมีค่าลดลง ความขาวสว่างและความทึบแสงจะลดลงเรื่อยๆตามระดับการบดที่เพิ่มมากขึ้น ส่วนความต้านทานแรงฉีกขาด ความต้านทานแรงดึงขาด ความยืดและความเรียบของผิวกระดาษจะมีค่าเพิ่มขึ้น และจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามระดับการบดเยื่อที่เพิ่มขึ้น

อิทธิพลขององค์ประกอบต่อสมบัติกระดาษ

ผลิตภัณฑ์กระดาษมีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดผลิตขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์การใช้งานต่างๆกัน อาทิเช่น กระดาษแข็ง, กระดาษทิชชู, กระดาษหนังสือพิมพ์ และกระดาษทำแผนที่ เป็นต้น กระดาษเหล่านี้ล้วนมีสมบัติพิเศษเฉพาะตัวที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งสมบัติพิเศษเฉพาะตัวเหล่านี้ขึ้นอยู่กับสมบัติและคุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตกระดาษ กระดาษทำจากวัตถุดิบที่เป็นองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน คือ ส่วนเส้นใยและส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย ซึ่งแต่ละส่วนมีอิทธิพลต่อสมบัติกระดาษ ดังนี้

1. ส่วนเส้นใยส่วนเส้นใย หรือที่เรียกว่า เยื่อ ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการทำกระดาษมีหลายชนิด เช่น เยื่อเคมี และเยื่อกึ่งเคมี ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะเยื่อเคมีเท่านั้น เพราะเส้นใยที่ได้จากเยื่อชนิดนี้มี

สามารถแยกเป็นเส้นเดี่ยวอิสระได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งสามารถทำให้เปรียบเทียบลักษณะของเส้นใยที่มีอิทธิพลต่อสมบัติกระดาษได้ชัดเจนกว่าเส้นใยที่ได้จากเยื่อชนิดอื่น ลักษณะเส้นใยที่มีผลต่อสมบัติกระดาษคือ ความยาวเส้นใยและความหนาของผนังเส้นใย

1.1 ความยาวเส้นใย (Fiber Length) ความยาวเส้นใยมีผลต่อสมบัติทั้งด้านเชิงกลและลักษณะโครงสร้างของกระดาษ กระดาษที่ทำจากเส้นใยยาวจะให้สมบัติเชิงกลสูงกว่าโดยเฉพาะความต้านทานแรงฉีกขาด นอกจากนี้กระดาษที่ได้จะมีลักษณะฟ้าม (Higher Bulk) และมีความพรุนสูงมากกว่ากระดาษทำจากเส้นใยสั้น

1.2 ความหนาของกระดาษเส้นใย (Cellwall Thickness) ความหนาของผนังเส้นใย เป็นตัวบ่งชี้ว่าเส้นใยนั้นจะสามารถยุบแบนตัวจากลักษณะรูปร่างที่คล้ายหลอดดูไปเป็นรูปร่างแบนคล้ายเส้นริบบิ้นได้ง่ายเพียงใด เส้นใยที่มีผนังบางจะยุบแบนตัวลงได้ง่ายทำให้มีพื้นที่ผิวของพันธะระหว่างเส้นใยมากกว่าเส้นใยที่มีผนังหนา ซึ่งสามารถเปรียบเทียบสมบัติของกระดาษที่ได้ดังนี้

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบสมบัติของกระดาษที่ได้

Properties	Bulk	Burst	Tensile	Tear	Air Permeability
ผนังเส้นใยบาง	ต่ำกว่า	สูงกว่า	สูงกว่า	ต่ำกว่า	ต่ำกว่า
ผนังเส้นใยหนา	สูงกว่า	ต่ำกว่า	ต่ำกว่า	สูงกว่า	สูงกว่า

2. ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย ในการทำกระดาษจะเติมส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยลงไปผสมกับส่วนเส้นใย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงสมบัติกระดาษ ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยประกอบด้วยสารหลายชนิดที่ทำหน้าที่แตกต่างกัน เช่น สารด้านการซึมน้ำ ตัวเติม สารเพิ่มความเหนียว สีข้อมเป็นต้น ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยที่มีอิทธิพลต่อสมบัติกระดาษดังนี้

2.1 ตัวเติม (Filler) ตัวเติมเป็นผงแร่สีขาว เติมลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติด้านความขาวสว่าง ความทึบแสง ความเรียบ เนื่องจากตัวเติมมีขนาดเล็กมาก เมื่อเติมลงไปจะไปอุดช่องว่างระหว่างเส้นใยทำให้พื้นที่ผิวกระดาษเรียบขึ้นเหมาะแก่การพิมพ์ นอกจากนี้ยังช่วยลดต้นทุนในการผลิตกระดาษลงด้วย เพราะตัวเติมมีราคาถูกกว่าเส้นใยมาก แม้ตัวเติมจะช่วยปรับปรุงสมบัติด้านการพิมพ์และด้านทัศนศาสตร์ของกระดาษให้ดีขึ้น แต่ในขณะเดียวกันจะทำให้สมบัติด้านเชิงกลของกระดาษมีค่าลดลง และเพิ่มความคมของแผ่นกระดาษมากขึ้น ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มอัตราการสีกรของเครื่องจักร

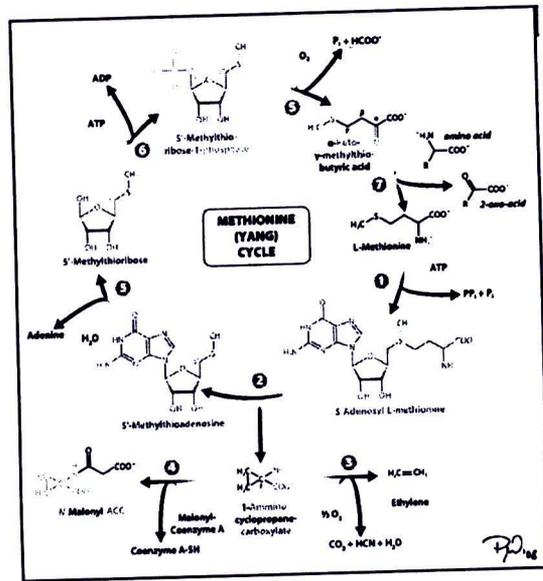
2.2 สารด้านการซึมน้ำ (Sizing Agent) โดยธรรมชาติเส้นใยโซลูโลสสามารถดูดซึมน้ำได้ดี ในการทำกระดาษการเติมสารด้านการซึมน้ำลงไปเพื่อเพิ่มความต้านทานการซึมน้ำของกระดาษ เนื่องจากโมเลกุลของสารด้านการซึมน้ำมีพลังงานที่พื้นผิวต่ำ เมื่อไปเกาะบนผิวเส้นใยจะทำให้เส้นใยตรงส่วนที่สารด้านการซึมน้ำเกาะอยู่มีพลังงานที่พื้นผิวต่ำด้วย ซึ่งเป็นผลทำให้แรงดึงคู่ระหว่าง

โมเลกุลของน้ำและเส้นใยลดลง ส่งผลให้น้ำไม่สามารถซึมทะลุผ่านเข้าไปในเนื้อกระดาษได้ สารด้านการซึมน้ำที่ใส่เข้าไปในเนื้อกระดาษชนิดต่างๆด้วยเหตุผลต่างกัน เช่น การค้ำยพิมพ์เขียน เติมสารด้านการซึมน้ำลงไปเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการแตกของเส้นใยหมึกที่ใช้เขียน

2.3 สารเพิ่มความเหนียว (Dry Strength Agent) ในการทำกระดาษ ใส่สารเพิ่มความความเหนียวลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติด้านเชิงกลของกระดาษให้สูงขึ้น สารเพิ่มความเหนียวนี้อาจเป็นสารที่ได้จากธรรมชาติหรือสังเคราะห์ก็ได้ ในการทำกระดาษจะใส่สารเพิ่มความเหนียวลงไปในส่วนของน้ำเยื่อ ดังนั้นสารเพิ่มความเหนียวจึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า บีทเทอร์แอ็ดฮีซีฟ (Beater Adhesive) สารเพิ่มความเหนียวได้แก่ แป้งประจวบ, กัม (Locust Beangum) และ โพลีอะคริลอไมด์ (Polyacrylamide) เป็นต้น สารเพิ่มความเหนียวเมื่อใส่ลงไปช่วยเพิ่มพันธะโดยจะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างเส้นใยกับเส้นใยให้ยึดติดกันดีขึ้น

2.5 ก๊าซเอทิลีน [7]

ก๊าซเอทิลีน (Ethylene ; $\text{CH}_2=\text{CH}_2$) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างง่ายที่สุด (C_2H_4) ที่สามารถทำให้พืชเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาได้ เอทิลีนมีสถานะเป็นก๊าซที่ไม่มีสี แต่มีกลิ่นเล็กน้อย เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่เร่งให้เกิดการเสื่อมสลาย (Senescence) และกระบวนการสุกโดยสามารถก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวในพืชเมื่อพืชได้รับเอทิลีนในปริมาณที่น้อยกว่า (ในบางกรณีอาจน้อยกว่า 0.1 ppm) ผลผลิตพืชสวนที่สามารถสังเคราะห์เอทิลีนได้มากได้แก่ อะโวคาโด เสาวรส มะละกอ กล้วย ฝรั่ง ท้อ แอปเปิ้ล เป็นต้น เนื้อเยื่อพืชทุกชนิดสามารถผลิตเอทิลีนได้ การสังเคราะห์เอทิลีนเริ่มต้นจากกรดอะมิโนเมทไธโอนีน (Methionine) จะถูกเปลี่ยนเป็น S-Adenosyl Methionine (SAM) และเปลี่ยนต่อไปเป็น 1 Aminocyclopropane-1-Carboxylic Acid (ACC) โดยเอนไซม์ ACC Synthase ACC จะถูกเปลี่ยนต่อไปเป็นเอทิลีนโดยเอนไซม์ ACC Oxidase การสังเคราะห์และการทำงานของ ACC Synthase และ ACC Oxidase มีผลจากพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อมที่รวมถึงอุณหภูมิและความเข้มข้นของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ มีการศึกษาวิธีการทำให้เนื้อเยื่อพืชลดการผลิตเอทิลีนโดยการหยุดยั้งที่ควบคุมการสังเคราะห์เอนไซม์ ACC Synthase และ ACC Oxidase วิธีการทำได้โดยยีนที่เรียกว่า Antisense Transgene ลงในพืช เช่น การใช้ Antisense ACC Oxidase ทำให้การสร้างเอทิลีนในมะเขือเทศเหลือเพียง 5% จากระดับปกติ วิธีการเดียวกันนี้สามารถทำให้ยีนอายุการเก็บรักษาของแตงเทศในทางการค้า



รูปที่ 2.31 วิธีการสังเคราะห์ก๊าซเอทิลีน

ผลไม้ทุกชนิดมีการผลิตเอทิลีนไม่มากนักในช่วงการเจริญเติบโตแต่อัตราการสังเคราะห์เอทิลีนจะเพิ่มขึ้นเมื่อถึงช่วงการสุก ผลผลิตที่เกิดบาดแผลชอกช้ำ หรือเป็นโรค รวมทั้งการเพิ่มอุณหภูมิในการเก็บรักษาขึ้นไปมีผลทำให้การสังเคราะห์เอทิลีนเพิ่มขึ้นด้วย การสังเคราะห์เอทิลีนจะลดลงเมื่อเก็บรักษาพืชผลที่อุณหภูมิต่ำหรือในที่มืดออกซิเจนต่ำ (น้อยกว่า 8%) และคาร์บอนไดออกไซด์สูง (สูงกว่า 2%) เมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการสังเคราะห์เอทิลีนแล้วผลไม้ที่มีและไม่มีช่วงไคลแมคทริกมีความสามารถในการสังเคราะห์เอทิลีนแตกต่างกันดังนี้

1. ผลไม้ที่มีช่วงไคลแมคทริก (Climacteric Fruit) เป็นผลไม้ที่มีอัตราการหายใจสูงขึ้นและอัตราการสังเคราะห์เอทิลีนมากขึ้นในช่วงการสุก โดยเฉพาะช่วงต้นของการเกิดไคลแมคทริก ผลไม้ชนิดนี้จึงสามารถเก็บเกี่ยวเมื่อแก่จัดแล้วนำมาบ่มให้สุกได้ และเป็นผลไม้ที่มีความไวต่อก๊าซเอทิลีน ผลไม้ที่มีช่วงไคลแมคทริกนี้จะมีการผลิตเอทิลีนมากกว่าผลไม้ที่ไม่มีช่วงไคลแมคทริก
2. ผลไม้ที่ไม่มีช่วงไคลแมคทริก (Non- Climacteric Fruit) เป็นผลไม้ที่มีอัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีนไม่เปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวมักจะเก็บเกี่ยวเมื่อสุกบนต้นเพราะโดยทั่วไปไม่สามารถบ่มสุกหลังการเก็บเกี่ยว

ตารางที่ 2.4 อัตราการสังเคราะห์เอทิลีนในผักและผลไม้ [8]

อัตราการสังเคราะห์เอทิลีน				
ต่ำมาก (0.01 - 0.1)	ต่ำ (0.1 - 1.0)	ปานกลาง (1.0 - 10.0)	สูง (10.0 - 100.0)	สูงมาก (> 100.0)
เชอร์รี่ ผลไม้ตระกูลส้ม องุ่น หน่อไม้ฝรั่ง สตอเบอรี่ ฮาคิโซค กระหล่ำดอก มันฝรั่ง ผักใบ (leafy vegetables) ผักราก (Root vegetables) ดอกไม้ตัดดอกส่วนใหญ่	กระเจี๊ยบเขียว(Okra) ข้าวโพดฝักอ่อน พริกหวาน (Pepper) แตงกวา แตงโม พลัม ราสเบอร์รี่ แบลคเบอร์รี่ บลูเบอร์รี่ สับปะรด เงาะ ฟักทอง	กล้วยหอม มะม่วง ทุเรียน มังคุด ลิ้นจี่ ฝรั่ง มะเขือเทศ น้อยหน่า มะเดื่อ	แอปเปิล แอปปรicot อะโวคาโด แคนตาลูป มะละกอ ท้อ แพร์ พลัม กีวี (Kiwi fruit)	เสาวรส ละมุด cherimoya sapote

* Rate of ethylene production : μ L C₂H₄/Kg-hr at 20°C (68°F)

ผลไม้ตระกูลส้มและมะนาวส่วนโทษของเอทิลีนได้แก่การเร่งการเสื่อมสภาพโดยเร่งการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ทำให้ผักที่มีสีเขียวเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเร่งการงอกของหัวมันฝรั่งในระหว่างการเก็บรักษา ทำให้ดอกไม้วางโรยก่อนกำหนด ทำให้เกิดจุดสีน้ำตาลแดง (Russet Spot) ที่ก้านใบของผักกาดหอม รวมทั้งมีผลต่อรสชาติโดยทำให้เกิดรสขมในแครอทที่ได้รับเอทิลีนในปริมาณสูงเนื่องจากถูกกระตุ้นให้สร้างสาร Isocoumarin ขึ้น

2.6 ดินเหนียวนาโน [9]

2.6.1 นาโนเคลย์หรือนาโนคอมโพสิต(Nanoclay or Nanocomposites)

เคลย์ (clay) หรือภาษาไทยแปลว่า ดินเหนียว ดินโคลน ประกอบด้วยแร่ธาตุหลากหลายชนิด ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิด องค์ประกอบสำคัญในดินได้แก่ สารอินทรีย์ (organic matters) สารอนินทรีย์ (inorganic matters) และความชื้น (น้ำ) ในส่วนที่เป็นสารอนินทรีย์นี้มีแร่ธาตุหรือแร่ดินเหนียวที่สำคัญ

หลากหลายชนิด ที่สำคัญที่สุดคือ กลุ่มแร่ซิลิเกต แร่ดินเหนียวในกลุ่มนี้ยังสามารถแบ่งออกได้อีกหลายแบบขึ้นอยู่กับปริมาณชนิดของธาตุที่เป็นองค์ประกอบชนิด โครงสร้างผลึกหรืออัญรูปเป็นดินเหนียวที่สำคัญนำไปสู่เทคโนโลยีของนาโนเคลย์และนาโนคอมพอสิตก็คือ กลุ่มแร่ดินเหนียวที่มีจุดเด่นคือ มีโครงสร้างผลึกที่แผ่เป็นแผ่นหรือชั้นเรียงซ้อนกัน ชั้นผลึกเหล่านี้มีความยืดหยุ่นและมีความเป็นขั้วหรือประจุ (polarity) เรียกว่ากลุ่ม Smectite clay และแร่ดินเหนียวที่ได้รับการพัฒนามากที่สุดในกลุ่มนี้คือ แร่ดินเหนียว มอนท์มอริลโลไนท์ (Montmorillonite) มีสูตรโครงสร้างเคมีทั่วไป $\text{Na}_{0.2} \text{Ca}_{0.1} \text{Al}_2 \text{Si}_4 \text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_n$ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเบนโทไนท์ หรือเบนโทน ซึ่งอยู่ในตระกูล phyllosilicate มีต้นกำเนิดจากภูเขาไฟ แหล่งที่พบมากอยู่ในอเมริกาเหนือ จีน ญี่ปุ่น ฝรั่งเศส แร่ดินเหนียวชนิดอื่นๆในกลุ่มนี้ที่มีศักยภาพที่จะพัฒนาเป็นนาโนเคลย์ได้แก่ Saponite, Vermiculite มอนท์มอริลโลไนท์ที่มีลักษณะ โครงสร้างชั้นผลึกที่เรียกว่า 2:1 ประกอบด้วยชั้นลูมินาออกไซด์ที่ถูกรวมอยู่ตรงกลางระหว่างชั้นซิลิเกตเตตระฮีดรอล ความหนาแน่นของชั้นผลึก 2:1 ประมาณ 0.7-1.0 นาโนเมตร ในขณะที่ความยาวด้านข้างจะมีประจุบวกของแมกนีเซียม อลูมิเนียม โซเดียม หรือแคลเซียม และอื่นๆเข้ามาแทรกอยู่ระหว่างชั้นผลึกเพื่อให้เกิดสมดุลของประจุ (ไม่มีประจุ)

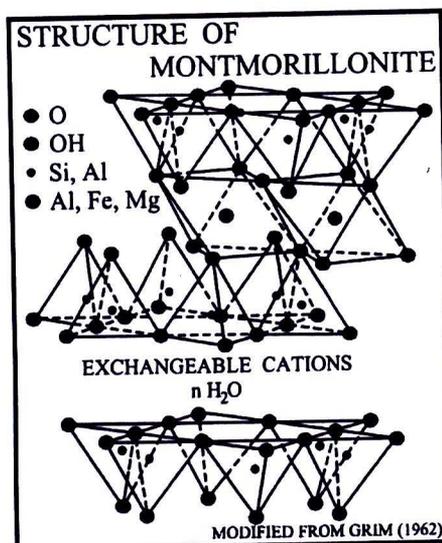
โครงสร้างผลึกของแร่ดินเหนียว

O = Oxygen

OH = Hydroxyl

Si = Silicon

Al = Aluminum

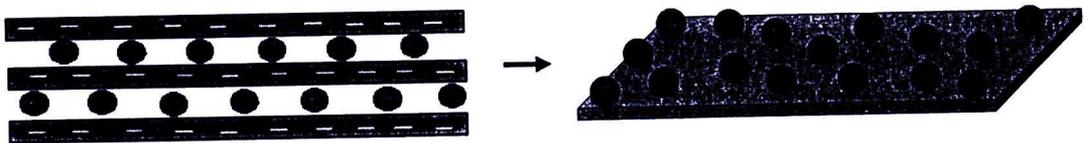


รูปที่ 2.32 โครงสร้างผลึกของแร่ดินเหนียว

เนื่องจากสมบัติความเป็นขั้ว ทำให้มอนท์มอริลโลไนท์ชอบน้ำ (โดยทั่วไปพบว่า ความหนาของชั้นผลึกขยายจนถึง 1.2 นาโนเมตร เมื่อมีความชื้น) และดูดน้ำได้มาก เพราะสามารถขยายตัวได้มากจึงเป็นที่รู้จัก และนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางเป็นเวลานานแล้วในอุตสาหกรรมอาหาร เคมีภัณฑ์ เครื่องสำอาง เพราะสามารถดูดพิษต่างๆ ได้ดีใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมเพื่อปรับความหนืด หรือใช้เป็นสารดูดกลิ่น (ในภาคปฏิภูลของสัตว์เลี้ยง เช่น แมว) รวมถึงในงานบำบัดน้ำเสีย ปัจจุบันสามารถสังเคราะห์แร่ดินเหนียวขึ้นมาได้โดยเลียนแบบโครงสร้างในธรรมชาติทำให้สามารถเปลี่ยนชนิดประจุได้เช่นประจุบวก

2.6.2 ดินเหนียวนาโนเคลย์

เมื่อแร่ดินเหนียวมอนท์มอริลโลไนท์ซึ่งมีความเป็นขั้วหรือชอบน้ำ ถูกเปลี่ยนให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำหรือชอบสารอินทรีย์แทนโดยการแทนที่ประจุต่างๆ (รูปที่ 2.33) ด้วยประจุของสารอินทรีย์จะได้แร่ดินเหนียวที่เรียกว่า โมดิฟายด์เคลย์ หรือออร์กาโนฟิลลิกเคลย์ ซึ่งมีลักษณะเด่นคือ มีความชอบสารอินทรีย์อยู่ด้านในระหว่างชั้นซิลิเกต แต่ขอบนอกของแผ่นซิลิเกตยังมีความเป็นขั้วเหลืออยู่ เกิดการขยายตัวของระยะห่างระหว่างชั้นผลึก ทำให้ชั้นผลึกห่างกัน เกะก้านอย่างหลวมๆ ประมาณว่าเป็นอนุภาคขนาดนาโนเมตรของซิลิเกต (เพราะชั้นซิลิเกตแต่ละแผ่นมีความหนาประมาณ 1 นาโนเมตร) ที่มี aspect ratio (สัดส่วนระหว่างความยาวต่อความหนา) สูงมากในสองมิติ หลักการนี้จึงเป็นกลไกสำคัญในการเตรียมอนุภาคขนาดนาโนเมตรจากธรรมชาติจึงเรียกว่านาโนเคลย์ ซึ่งมีประโยชน์มากในงานบำบัดน้ำเสียที่มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์โลหะหนัก สีย้อมผ้าเป็นต้น(เป็นการนำมาใช้โดยตรง)



รูปที่ 2.33 (ซ้าย) แร่ดินเหนียวที่มีชั้นซิลิเกตและประจุบวก

(ขวา) แสดงออร์กาโนเคลย์ ที่ประจุเดิม (สีอ่อน) ถูกแทนที่ด้วยประจุบวกของสารอินทรีย์ (สีเข้ม)

2.6.3 ดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุน Porous clay Heterostructure (PCH)

ความหลากหลายของวัสดุซึ่งมีรูพรุนขนาดนาโนเมตรที่เป็นระเบียบหลายๆชนิดเตรียมขึ้นโดยวิธีใช้ต้นแบบจากสารลดแรงตึงผิว ดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนคือประเภทล่าสุดของวัสดุของแข็งแบบรูพรุนเกิดขึ้นจากการแทรกสอดของสารลดแรงตึงผิวภายในชั้นต่างๆ ของดินเหนียว ดินเหนียวที่สามารถขยายได้หลายชนิดที่จะถูกนำมาใช้ เช่น hectorite, vermiculite, synthetic saponite และ montmorillonite ซึ่งดินเหนียวเหล่านี้จะถูกนำมาสังเคราะห์ให้เป็นดินเหนียวที่มีรูพรุนมากขึ้น

Polverejan et al. (2000) [10] ได้เตรียมดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนจากภายในชั้นของดินเหนียว synthetic saponite โดยมีเป้าหมายในการใส่ความหนาแน่นประจุที่กำหนดไว้ภายในช่วง $x = 1.2-1.7$ e- หน่วยต่อ $Q^+ [Mg_x](Si_{8-x}Al_x)O_{20}(OH)_4$ หน่วยเซลล์ ค่า CEC จะเพิ่มสัดส่วนของปริมาณอะลูมิเนียมในดินเหนียว saponite ทั้ง 3 ชนิดจะถูกใช้ร่วมกับดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนที่มีโครงสร้างต่างๆกัน ซึ่งชั้นต่างๆ จะถูกแทนด้วย SAP 1.2-, SAP 1.5-, และ SAP 1.7-PCH, ตามลำดับ การกำจัดสารผสมที่เป็นชั้นๆ ของอัลคิลเอมีนที่เป็นกลางและหนึ่งในสี่ส่วนของสารลดแรงตึงผิวชนิดแอมโมเนียมอออนโดยวิธี calcination จะทำให้ได้ PCH ที่มีระยะห่างชั้นที่แทรกอยู่ที่ 33-35 อังสตรอม พื้นที่ผิวหน้าของ BET จะลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อมีการเพิ่มปริมาณอะลูมิเนียมตั้งแต่ 921 ถึง 797 เมตร²ต่อกรัม และปริมาตรของโครงสร้างรูพรุนลดลงได้ตั้งแต่ 0.44 ถึง 0.37 ซม.³ต่อกรัม นอกจากนี้วัสดุชนิดนี้ได้แสดงถึงขนาดของโครงร่างรูพรุนต่างๆในระดับ supermicropore ถึงขนาด 15-23 อังสตรอม ในปี ค.ศ. 2000 Polverejan และคณะได้ทำการสังเคราะห์ดินเหนียวแบบมีรูพรุนที่ทำหน้าที่เป็นกรดจาก saponite สังเคราะห์ผ่านปฏิกิริยา postsynthesis grating โดยการใช้ $AlCl_3$ และ $NaAlO_2$ เป็นตัวนำแบบ alumination ภายใต้สภาวะที่เป็นกรดและสภาวะต่างๆไป ตามลำดับ ปริมาณของ tetrahedral aluminum จะรวมกันเข้าไปในชั้นของโครงสร้างของ saponite จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของอะลูมิเนียมในสารละลาย grafting อย่างไรก็ตาม การสูญเสียของชั้น mesostructure อาจเกิดขึ้นถ้ามีการใส่ อะลูมิเนียมร่วมกับโซเดียมอะลูมิเนียมมากเกินไป การเลือกใช้ชนิดของอะลูมิเนียมรีเอเจนท์ AISAP/PCH derivatives จะมีช่องว่างระยะชั้นในช่วง 32-34.8 Å พื้นที่ผิวของ BET ตั้งแต่ 623-906 เมตร²ต่อกรัม ปริมาตรของขนาดรูพรุน 0.32-0.45 ซม.³ต่อกรัม และขนาดของรูพรุนตั้งแต่รูพรุนขนาดไมโครไปถึงขนาด mesospace เล็กๆ (14-25 อังสตรอม)

2.7 คุณสมบัติกล่องกระดาษลูกฟูก [11]

2.7.1 กล่องกระดาษลูกฟูก(CorrugatedFibreboardBox)

เป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีบทบาทและปริมาณการใช้สูงสุดกล่องกระดาษลูกฟูกมีน้ำหนักเบา สามารถ ออกแบบให้มีขนาดรูปทรงและมีความแข็งแรงได้ตามต้องการ นอกจากนี้ยังสามารถพิมพ์ข้อความ หรือรูปภาพบนกล่องให้สวยงามเพื่อดึงดูดใจผู้ซื้อและเพื่อแจ้งข้อมูลสินค้าได้อีกด้วย โดยทั่วไปกล่อง กระดาษลูกฟูกจะทำหน้าที่เพื่อการขนส่ง แต่สามารถออกแบบเพื่อการขายปลีกได้ โครงสร้างของ กล่องกระดาษลูกฟูกขึ้นกับจำนวนแผ่นกระดาษลูกฟูก ส่วนประกอบของกระดาษ ชนิดของลอน รูปแบบของกล่อง ขนาดของกล่อง รอยต่อของกล่องและการปิดฝากล่อง การออกแบบต้องคำนึงถึง คุณสมบัติของสินค้าและสภาพการใช้งาน หากสินค้าเป็นประเภทที่สามารถรับน้ำหนักกดทับได้ (อาหารกระป๋อง ขวดแก้ว ฯลฯ) การกำหนดคุณภาพของกล่องควรยึดค่าการต้านแรงดันทะลุเป็น หลัก แต่ถ้าสินค้าไม่สามารถรับน้ำหนักกดทับได้หรือรับได้เพียงเล็กน้อย เช่น ผัก ผลไม้สด อาหาร บรรจุในขวดหรือถุงพลาสติก ฯลฯ ก็ควรกำหนดคุณภาพของกล่องด้วยค่าของการต้านแรงกดของ กล่อง โดยพิจารณาจากสภาพการลำเลียงขนส่งและเก็บรักษาควบคู่กันไป ปัจจุบันนิยมใช้กล่อง กระดาษลูกฟูกบรรจุผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เช่น ผักและ ผลไม้สดได้เริ่มมีการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาและ ปรับปรุงอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งกล่องบรรจุผลไม้สดเพื่อการส่งออก เพื่อให้เหมาะสมกับผัก และผลไม้แต่ละชนิด เช่น กล่องบรรจุมะม่วง มะละกอ ทูเรียน มังคุด ลำไย ลิ้นจี่ เงาะ ฯลฯ ทำให้ สะดวกแก่การลำเลียงขนส่ง การเก็บในคลังสินค้า การรักษาคุณภาพสินค้า และความสวยงามเมื่อ วางขาย ทั้งในซูเปอร์มาร์เก็ตและตลาดทั่วไป ทำให้เป็นที่รู้จักและยอมรับในตลาดต่างประเทศมาก ขึ้นอย่างรวดเร็วกระดาษลูกฟูกเป็นกระดาษที่ประกอบด้วยแผ่นเรียบ 2 ด้านติดกาวประกบไว้กับ กระดาษลูกฟูก (Corrugated Paper) จะเป็นชั้นเดียว 2 ชั้น หรือ 3 ชั้นก็ได้ คุณสมบัติทั่ว ๆ ไปจะคล้าย กับกล่องกระดาษแข็ง คือ ราคาถูก ทำรูปร่างต่าง ๆ ได้ รับน้ำหนักได้มากกว่ากล่องกระดาษแข็ง สามารถพิมพ์สีสันทันได้ แต่มักจะพิมพ์ 2 สีเพื่อความประหยัด

กล่องกระดาษลูกฟูก (ตามมาตรฐานของ สมอ. เลขที่ มอก. 321-2522) ได้นิยามคำต่าง ๆ ไว้ดังนี้

1. กระดาษทำลูกฟูก (Corrugating Medium) หมายถึง กระดาษที่นำมาใช้ทำเป็นลอนเพื่อ ประกอบเป็นแกนกลางของแผ่นลูกฟูก
2. กระดาษลูกฟูก หมายถึงกระดาษที่ได้นำมาขึ้นลอนเป็นลูกฟูกแล้ว
3. แผ่นลูกฟูก (Corrugated Board) หมายถึง กระดาษที่มีโครงสร้างประกอบด้วยกระดาษ แผ่นเรียบ สำหรับทำผิวกล่องอย่างน้อย 2 แผ่น ประกบกับกระดาษลูกฟูกอย่างน้อย 1 แผ่น สำหรับ นำไปใช้

2.8 สารยึดติด [12]

สารยึดติดหรือแอดฮีซีฟ (Adhesive) เป็นสารที่ใช้เพื่อต้องการยึดติดวัสดุใดก็ตามให้ติดกัน กาวจัดเป็นสารยึดติดชนิดหนึ่ง สารยึดติดเป็นสารที่ได้จากการผสมสารต่างๆ เข้าด้วยกัน ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ ตัวยึด ตัวทำละลาย และสารเติมแต่ง โดยตัวยึดหรือไบน์เดอร์เป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญ ในขณะที่ตัวทำละลายและสารเติมแต่งเป็นเพียงองค์ประกอบเสริมเพื่อปรับปรุงสมบัติของสารยึดติดให้เหมาะสมกับการใช้งาน และช่วยให้การยึดติดดีขึ้น

ตัวยึดในสารยึดติด จัดเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญของสารยึดติดที่ทำให้เกิดการยึดติดได้ สามารถแบ่งตามที่มาได้เป็น 2 ประเภท คือ ตัวยึดธรรมชาติ และตัวยึดสังเคราะห์ ตัวยึดธรรมชาติผลิตได้จากสารที่เป็นพอลิเมอร์ตามธรรมชาติที่พบในพืชและสัตว์ เช่น แป้ง ยางธรรมชาติ โรซิน ส่วนตัวยึดสังเคราะห์ผลิตได้จากพอลิเมอร์สังเคราะห์ ซึ่งเป็นผลพลอดได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม ได้แก่ ตัวยึดเทอร์โมเซต ตัวยึดเทอร์โมพลาสติก และตัวยึดอีลาสโตเมอร์หรือตัวยึดยืดหยุ่น

ตัวทำละลายในสารยึดติด เป็นสารที่ผสมลงไปในสารยึดติดเพื่อช่วยให้สารยึดติดมีความหนืดหรือความต้านทานการไหลลดลงและพาให้สารยึดติดสามารถเคลื่อนที่ไปบนผิววัสดุที่ต้องการยึดติดได้ดีขึ้น ตัวทำละลายที่ใช้ได้แก่ น้ำ ตัวทำละลายที่เข้ากับน้ำได้ และตัวทำละลายที่ไม่เข้ากับน้ำ การเลือกใช้ตัวทำละลายแต่ละชนิดจำเป็นต้องเลือกให้ตัวทำละลายสามารถเข้ากันได้กับตัวถูกละลาย โดยแสดงลักษณะผสมเป็นสารละลายชนิดเดียวกัน หรือในรูปอิมัลชัน แต่ไม่ควรอยู่ในรูปของตะกอน

สารเติมแต่งในสารยึดติด เป็นสารที่ช่วยปรับปรุงสมบัติของสารยึดติดให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานและช่วยให้ได้การยึดติดที่ดีขึ้น สารเติมแต่งที่ใช้ได้แก่ สารที่ทำให้แข็งตัว พลาสติกไซเซออร์ สารปรับความหนืด สารปรับความเหนียวหนืด ตัวเติม และสารอื่นๆ

2.8.1 ตัวยึดในสารยึดติด

2.8.1.1 ตัวยึด (Binder) เป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญของสารยึดติดที่ทำให้เกิดการยึดติดได้ ตัวยึดเป็นพอลิเมอร์อินทรีย์ซึ่งมีโมเลกุลย่อยที่เหมือนกันเรียงซ้ำๆกันต่อเนื่องเป็น โซ่ยาว โมเลกุลย่อยหนึ่งที่ซ้ำกันของพอลิเมอร์มีชื่อเรียกว่า โมโนเมอร์ (Monomer)

ตัวยึดติดมีใช้มานานหลายพันปีแล้ว โดยเริ่มแล้วตัวยึดที่ใช้เป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ คือ จากพืชและสัตว์ เนื่องจากตัวยึดที่ผลิตได้จากธรรมชาติที่ยังไม่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพมากนักสามารถ

ถูกกัดกินโดยแมลง ทำให้เกิดเชื้อราได้ง่าย มีสมบัติไม่คงที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อม และเสื่อมสภาพได้เร็วเมื่อเผชิญกับสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำ แสงแดด ทำให้มีอายุการใช้งานได้ไม่นาน ต่อมาจึงได้มีการพัฒนาตัวยัดโดยนำสารสังเคราะห์ประเภทพอลิเมอร์มาใช้ เพื่อให้ได้การยึดติดที่แข็งแรงกว่า มีสมบัติคงที่และต้านทานสิ่งแวดล้อมได้ดีกว่า ทำให้สารยึดติดมีอายุการใช้งานดีขึ้น ตัวยัดที่ผลิตได้จากธรรมชาติและจากการสังเคราะห์มีหลายชนิดดังนี้

1. ตัวยัดธรรมชาติ ตัวยัดธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ คือ จากพืช และสัตว์
2. ตัวยัดธรรมชาติจากพืช เป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากพืชได้แก่ แป้ง (Starch) ยางพารา (Natural Rubber) และ โรซิน (Rosin)

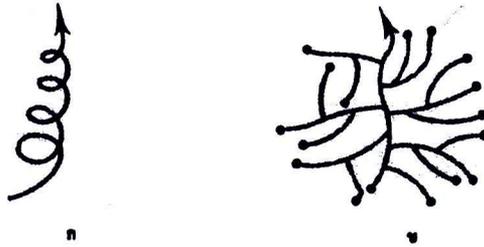
2.8.1.2 แป้ง เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ราคาค่อนข้างถูก ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสต่อกันเป็นพอลิเมอร์ มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl Group, -OH) เกาะอยู่มากมาย ทำให้แป้งเป็นสารที่มีขี้สามารถจับกับน้ำได้ โดยปกติเมื่อแป้งละลายจะให้น้ำตาลกลูโคส หรือมอลโตส

ในสหรัฐอเมริกาแป้งที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นแป้งข้าวโพด (Corn Starch) ทางแถบยุโรปและเอเชียแป้งที่ใช้มีทั้งแป้งข้าวโพดและแป้งมันฝรั่ง (Potato Starch) แป้งแต่ละชนิดมีลักษณะและขนาดของเม็ดแป้ง (Starch Granule) ไม่เหมือนกัน แต่สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีคล้ายคลึงกันในด้านการทำให้ขนาดโมเลกุลลดลงโดยการไฮโดรไลซิส ด้วยกรด โดยปกติโมเลกุลของแป้งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ อะไมโลส (Amylase) และอะไมโลเพกติน (Amylopectin) อะไมโลสมีอยู่ในแป้งประมาณร้อยละ 10-20 (ตารางที่ 2.5) เป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสจำนวนประมาณ 1,000 กลูโคส ต่อกันเป็นเส้นตรง

ตารางที่ 2.5 ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนของพืชที่พบ ขนาดเม็ดแป้งและปริมาณร้อยละของอะไมโลส และอะไมโลเพกตินของแป้งข้าวโพด มันฝรั่งและมันสำปะหลัง

ข้อมูล	ชนิดของแป้ง		
	แป้งข้าวโพด	แป้งมันฝรั่ง	แป้งมันสำปะหลัง
ส่วนของพืชที่พบ	เมล็ด	ต้น	ราก
ขนาดเม็ดแป้ง (ไมครอน)	5-26	15-100	5-35
อะไมโลส (ร้อยละ)	28	25	20
อะไมโลเพกติน (ร้อยละ)	72	75	80

อะไมโลสมีโครงสร้างเป็นรูปเกลียว (Helical Structure) (ดังภาพที่ 2.34ก.) เมื่ออะไมโลสทำปฏิกิริยากับไอโอดีนจะได้สีน้ำเงิน ชั้นบางๆหรือฟิล์มของอะไมโลสที่แข็งตัวแล้วจะมีความแข็งแรงและไม่ซึมน้ำ



รูปที่ 2.34 ลักษณะ โครงสร้างอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

ก. โครงสร้างอะไมโลส

ข. โครงสร้างอะไมโลเพคติน

อะไมโลเพคตินเป็นส่วนประกอบที่มีอยู่ในแป้งประมาณร้อยละ 80-90 ลักษณะของสารพอลิเมอร์ของอะไมโลเพคตินแตกต่างจากอะไมโลสโดยเป็นโซ่ตรงและโซ่กิ่ง (ดังรูปที่ 2.34ข.) อะไมโลเพคตินมีสมบัติที่ไม่ละลายน้ำและเมื่อทำปฏิกิริยากับไอโอดีนจะให้สีน้ำตาลถึงสีม่วง ชั้นฟิล์มบางๆของอะไมโลเพคตินที่แข็งแล้วจะไม่แข็งแรงเท่าชั้นฟิล์มของอะไมโลส

2.8.1.3 ตัวยี้ดธรรมชาติจากสัตว์ เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ได้จากสัตว์ ได้แก่ คอลลาเจน (Collagen) และเคซีน (Casein)

คอลลาเจน เป็นโปรตีนโครงสร้าง (Structural Protein) ชนิดหนึ่งพบบริเวณผิวหนัง กระดูกอ่อนและเส้นเอ็น คอลลาเจนไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในสารละลายของกรดและด่างอย่างแรงการทำให้คอลลาเจนละลายน้ำได้ทำโดยใช้กรดหรือด่างและความร้อน เพื่อให้โมเลกุลใหญ่ของโปรตีนเป็นโมเลกุลเล็กลงก่อน

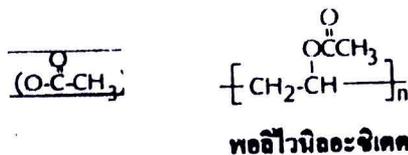
เคซีน เป็นโปรตีนสะสม (Storage Protein) ที่พบในน้ำนมวัวชนิดพร่องไขมันอยู่ในรูปของแคลเซียมเคซีเนต (Calcium Caseinate) หรือเกลือแคลเซียม

2.8.2.2 ตัวยึดสังเคราะห์ เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ได้จากผลผลิตทางปิโตรเคมี พอลิเมอร์ที่ใช้ผลิตเป็นตัวยึดสังเคราะห์สามารถแบ่งได้ตามสมบัติทางกายภาพเป็น 3 ประเภท คือ ตัวยึดเทอร์โมเซต (Thermoset Binder) ตัวยึดเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic Binder) และตัวยึดอีลาสโตเมอร์ (Elastomer Binder) หรือตัวยึดหยุ่น

1. ตัวยึดเทอร์โมเซต เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเป็นพอลิเมอร์ที่มีการเชื่อมโยงระหว่างโซ่พอลิเมอร์แต่ละสาย (Crosslinking Binder) เกิดเป็นร่างแห 3 มิติ ตัวยึดชนิดนี้เมื่อใช้งานและเกิดการแข็งตัวแล้วไม่สามารถนำกลับไปใช้ใหม่ หรือหลอมใหม่ หรือกลับให้เป็นรูปเดิมได้ด้วยความร้อนและแรงดัน ความร้อนที่ให้ต่อเนื่องนานๆทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของเรซิน ตัวยึดเทอร์โมเซต ได้แก่ ฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ และอีพอกซี และอะคริลิก ตัวยึดเทอร์โมเซตไม่นิยมนำมาใช้ในสารยึดติดเพื่อทำสิ่งพิมพ์สำหรับงานทำเล่ม บรรจุภัณฑ์และฉลาก

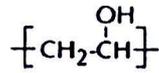
2. ตัวยึดเทอร์โมพลาสติก เป็นตัวยึดที่เมื่อเกิดการแข็งตัวแล้วสามารถทำให้อ่อนตัวลงได้อีกโดยใช้ความร้อน ตัวยึดชนิดนี้พิเศษแข็งที่เหลือนำกลับมาหลอมใช้ใหม่ได้ ตัวยึดเทอร์โมพลาสติก ได้แก่ อะคริลิก พอลิไวนิลอะซิเตตหรือพีวีเอ (Polyvinyl Acetate, PVA) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์หรือพีวีโอเอช (Polyvinyl Alcohol, PVOH) เอทิลีนไวนิลอะซิเตต (Ethylene Vinyl Acetate, EVA) พอลิโอเลฟิน (Polyolefin) และพอลิเอไมด์ (Polyamide) หรือไนลอน

3. พอลิไวนิลอะซิเตต หรือ พีวีเอ ประกอบด้วยไวนิลอะซิเตต (Vinyl Acetate) พอลิไวนิลอะซิเตตจะมีหมู่อะซิเตต เป็นหมู่ฟังก์ชันหรือหมู่ที่ไวต่อการทำปฏิกิริยาต่างๆ



กระบวนการผลิตพอลิไวนิลอะซิเตตมีหลายรูปแบบทำให้ลักษณะทางกายภาพของพอลิไวนิลอะซิเตตที่ได้มีหลายลักษณะ ได้แก่ เป็นก้อน (Bulk) อิมัลชัน และสารละลายรูปแบบที่นิยมใช้ในการเป็นตัวยึดสำหรับสารยึดติด คือ อิมัลชัน ซึ่งเป็นลักษณะของการกระจายของอนุภาคพอลิไวนิลอะซิเตตในน้ำ อิมัลชันของพอลิไวนิลอะซิเตตเป็นของเหลวสีขาวคล้ายนมจนถึงขั้นหนืด บางทีเรียกว่า กาวขาว (White Glue) หรือบางทีเรียกว่า ลาเทกซ์พอลิไวนิลอะซิเตตหรือลาเทกซ์พีวีเอ เนื่องจากมีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวคล้ายน้ำยางหรือลาเทกซ์ พอลิไวนิลอะซิเตตให้ความแข็งแรงของพันธะยึดติดดี ไม่มีกลิ่น ด้านทานต่อน้ำมันไขมัน และกรดได้พอสมควร

4. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ หรือ พีวีโอเอช เป็นเรซินสังเคราะห์สามารถละลายน้ำได้ ตัวยึคพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ในสารยึดติดอยู่ในรูปของแข็งหรือผงเม็ดสีขาว มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เป็นหมู่ฟังก์ชัน



พอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ตัวยึคอีลาสโตเมอร์ หรือ ตัวยึคยืดหยุ่น เป็นตัวยึคที่มีสมบัติยืดหยุ่นหรือสามารถเปลี่ยนรูปร่างกลับสู่สภาพเดิมได้หลังจากปล่อยแรงกด บางทีเรียกว่า ยาง ตัวยึคยืดหยุ่นมีทั้งที่ได้จากยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ โดยส่วนใหญ่เป็นยางสังเคราะห์ซึ่งผลิตขึ้นจากการนำผลิตภัณฑ์ของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีมาปรับปรุงให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น ผลิตภัณฑ์ทางอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ได้แก่ เอทิลีน โพรพิลีน และบิวตาไอดีน

2.8.2.3 ตัวทำละลายในสารยึดติด หมายถึง สารที่เป็นของเหลวใช้เพื่อละลายหรือผสมกับตัวถูกละลาย โดยตัวถูกละลายเป็นสารที่มีปริมาณที่น้อยที่สุดประมาณร้อยละ 10-30 ในขณะที่ตัวทำละลายเป็นสารที่มีปริมาณมากที่สุดประมาณร้อยละ 40-60 ตัวทำละลายที่ผสมลงไปในสารยึดติดอาจไม่ได้ใช้เพียงเพื่อละลายหรือผสมอยู่กับตัวถูกละลายเท่านั้น แต่ยังช่วยให้สารยึดติดมีความหนืดน้อยลงหรือมีการไหลได้ง่ายขึ้น และพาให้สารยึดติดสามารถเคลื่อนที่ไปหรือแผ่ไปทั่วบนผิวหน้าของวัสดุที่ต้องการยึดติด

ตัวทำละลายที่ใช้ในสารยึดติดสำหรับการยึควัสดุพิมพ์เพื่อการทำเล่ม การทำบรรจุภัณฑ์ และการทำฉลาก มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับชนิดของตัวถูกละลาย และวัสดุที่ต้องการยึคติด ตัวทำละลายที่ใช้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ น้ำ ตัวทำละลายที่เข้ากับน้ำ (Water Miscible) และตัวทำละลายที่ไม่เข้ากับน้ำ (Water Immiscible)

1. น้ำ น้ำเป็นตัวทำละลายที่ดีที่สุดในแง่เป็นสารธรรมชาติที่ไม่ทำอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ประกอบกับการมีขั้วบวกและขั้วลบของน้ำ ทำให้น้ำสามารถละลายสารประกอบประเภทเดียวกันหรือสารที่มีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) ส่วนใหญ่น้ำใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับตัวยึคธรรมชาติ เพื่อผลิตเป็นสารยึดติดที่ต้องการยึคติดกับวัสดุที่มีรูพรุนหรือซึบน้ำได้ ได้แก่ กระดาษ เนื่องจากกระดาษมีองค์ประกอบเป็นเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสซึ่งมีสมบัติชอบน้ำ ทำให้สามารถซึมผ่านกระดาษได้ ในขณะที่ถ้าเป็นวัสดุประเภทพลาสติก น้ำจะซึมผ่านได้ยากกว่า จึงต้องมีการใช้สารละลายหรือตัวทำละลายอื่นที่เข้ากันได้กับตัวถูกละลาย เป็นตัวทำละลายแทนน้ำ สารยึดติดที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายนิยมใช้กับการยึคติดวัสดุพิมพ์เพื่อการทำเล่ม และการทำฉลาก

2. ตัวทำละลายที่เข้ากับน้ำ ตัวทำละลายที่เข้ากับน้ำ เป็นสารระเหยที่ใช้ในการทำละลายตัวถูกละลายหรือเป็นสารที่ใช้ลดความเข้มข้นหรือช่วยให้เจือจาง ซึ่งจะช่วยให้เกิดการพาหรือการเคลื่อนที่ของสารยึดติดง่ายขึ้นบนวัสดุที่ต้องการยึดติดที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ หรืออาจซึมผ่านได้บ้าง และสามารถจัดออกไปจากผิววัสดุยึดติดด้วยการระเหยไปในอากาศ ตัวทำละลายประเภทนี้อาจใช้เพื่อช่วยให้การยึดติดเร็วขึ้นหรืออาจใช้โดยไม่ผสมกับน้ำก็ได้ การใช้งานของสารยึดติดที่มีตัวทำละลายที่เข้ากับน้ำได้นิยมใช้ยึดติดกับสิ่งพิมพ์เพื่อการบรรจุภัณฑ์ ตัวทำละลายที่เข้ากับน้ำได้สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

- แอลกอฮอล์
- อีเทอร์
- อะซิฟาทิกทีโตน

3. ตัวทำละลายที่ไม่เข้ากับน้ำ ตัวทำละลายที่ไม่เข้ากับน้ำ เป็นสารระเหยหรือสารที่ไม่เข้ากับน้ำหรือไม่ละลายน้ำ ก่อนข้างเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม มิใช่สำหรับสารยึดติดสำหรับสิ่งพิมพ์เพื่อการบรรจุภัณฑ์ ตัวทำละลายที่ไม่เข้ากับน้ำที่นำมาใช้ในสารยึดติดสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

- สารประกอบคลอรีน (Chlorinated Compound)
- เอสเทอร์ (Ester)
- ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon)
- อะโรมาติกทีโตน

ตัวทำละลายที่เข้ากับน้ำและไม่เข้ากับน้ำ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว สามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 2.6 ตัวทำละลายประเภทที่เข้ากับน้ำและไม่เข้ากับน้ำ

ตัวทำละลาย	เข้ากับน้ำ	ไม่เข้ากับน้ำ
แอลกอฮอล์ (Alcohol)	x	
เอทานอล (Ethanol)	x	
ไอโซโพรพานอล (Isopropanol)	x	
เมทานอล (Methanol)	x	
อีเทอร์ (Ether)	x	
ไดออกเซน (Dioxane)	x	
เอทิลีน ไกลคอล โมโนบิวทิลอีเทอร์ (Ethylene Glycol Monobutyl Ether)	x	
อะลิฟาติกคีโตน (Aliphatic Ketone)	x	
อะซิโตน (Acetone)	x	
ไดอะซิโตนแอลกอฮอล์ (Diacetone Alcohol)	x	
เมทิลเอทิลคีโตน (Methyl Ethyl Ketone, MEK)	x	

ตารางที่ 2.6 (ต่อ) ตัวทำละลายประเภทที่เข้ากับน้ำและไม่เข้ากับน้ำ

ตัวทำละลาย	เข้ากับน้ำ	ไม่เข้ากับน้ำ
เมทิลไอโซบิวทิลคีโตน (Methyl Isobutyl Ketone, MIBK)	x	
อะโรมาติกคีโตน (Aromatic Ketone)		x
ไซโครเฮกซาโนน (Cyclohexanone)		x
ไอโซโฟรอน (Isophorone)		x
สารประกอบคลอรีน (Choline)		x
เอทิลีนไดคลอไรด์ (Ethylene Dichloride)		x
เมทิลีนคลอไรด์ (Methylene Chloride)		x
เอสเทอร์ (Ester)		x
เอทิลอะซิเตต (Ethyl Acetate)		x
เอ็นบิวทิลอะซิเตต (N-Butyl Acetate)		x
เมทิลอะซิเตต (Methyl Acetate)		x
ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon)		x
มินเนอรัลสปิริต (Mineral Spirit)		x
แนพทา (Naphtha)		x
โทลูอีน (Tolunene)		x
ไซลีน (Xylene)		x



2.8.2.4 สารเติมแต่งในสารยึดติด สารเติมแต่ง (Additives) ในสารยึดติด เป็นสารที่ช่วยเสริมให้สารยึดติดซึ่งมีตัวยึดเป็นองค์ประกอบหลักสำคัญทำงานได้ดีขึ้น โดยมีการยึดติดดีขึ้น สารเติมแต่งที่ใช้ในสารยึดติด ได้แก่ สารที่ทำให้แข็งตัว (Hardener) พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) สารปรับความเหนียวหนืด (Tackifier) สารปรับความหนืด (Viscosity Modifier) ตัวเติม (Filler) และสารอื่นๆ

1. สารที่ทำให้แข็งตัว สารที่ทำให้แข็งตัว เป็นสารเคมีที่เติมลงไปในสารยึดติดเพื่อให้เกิดการแข็งตัวและเป็นส่วนหนึ่งของการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับตัวยึด โดยสารทั้งสองนี้จะทำปฏิกิริยากันทำให้เกิดการแข็งตัว บางครั้งอาจมีการใส่ตัวเร่งเพื่อช่วยให้การแข็งตัวเร็วขึ้น โดยตัวเร่งช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างสารที่ทำให้แข็งตัวกับตัวยึดเกิดง่ายขึ้น

สารที่ทำให้แข็งตัวที่ใช้ในสารยึดติด ได้แก่ ฟอรัมาลดีไฮด์ ยูเรียฟอรัมาลดีไฮด์ สังกะสีอะซิเตต และ สังกะสีออกไซด์

2. สารปรับความหนืด สารปรับความหนืดบางที่เรียกว่า สารที่ทำให้ข้น (Thickener หรือ Thickening Agent) เป็นสารที่ควบคุมการไหลที่มากเกินไปให้ไหลน้อยลง โดยเข้าไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของโมเลกุลหรือเป็นอุปสรรคในการเคลื่อนที่ของโมเลกุล ทำให้โมเลกุลเคลื่อนตัวได้ยากขึ้น ไหลได้ช้าลง ซึ่งช่วยให้สารยึดติดมีความหนืดสูงขึ้น เหมาะสมในการยึดติดวัสดุที่ต้องการยึดติด ความเหมาะสมดังกล่าวหมายถึง ความสามารถในการให้สารยึดติดสามารถไหลไปได้อย่างเหมาะสมบนผิวหน้าวัสดุที่ต้องการยึดติด ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะและสมบัติของวัสดุที่ต้องการยึดติดนั้นด้วย เช่น ความเรียบ ความหยาบ

สารที่ทำให้ข้นที่นิยมใช้เป็นสารปรับความหนืดในสารยึดติด ได้แก่ กัม แป้ง โปรตีน พอลิอะคริเลต พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โซดาไฟ (NaOH) บอแรกซ์ (Borax) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

3. สารป้องกันการเกิดฟอง เป็นสารที่ป้องกันการเกิดฟองในระหว่างกระบวนการผลิตสารยึดติด เนื่องจากถ้ามีฟองอากาศมาก การสัมผัสระหว่างสารยึดติดและวัสดุที่ต้องการยึดติดจะไม่แนบสนิท พันธะการยึดติดที่ได้จะไม่แข็งแรง สารป้องกันการเกิดฟอง ได้แก่ ซิลิโคน ออกทิลแอลกอฮอล์ และน้ำแร่

4. สารป้องกันการออกซิไดส์ เป็นสารที่ป้องกันการออกซิไดส์สารยึดติดด้วยออกซิเจนในระหว่างการขนส่งและการเก็บ ซึ่งมีผลต่ออายุการใช้งานของสารยึดติดทำให้เสื่อมสภาพก่อนการใช้งาน สารป้องกันการออกซิไดส์ ได้แก่ อะโรมาติกอะมีน (Aromatic amine) และฟีนอล (Phenol)

5. สารกันบูด ซึ่งป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในสารยึดติดขณะเก็บ ทำให้สารยึดติดมีอายุการใช้งานได้นาน โดยเฉพาะสารยึดติดที่มีตัวยึดธรรมชาติ สำหรับในการใช้งานที่ต้องการสารยึดติดที่ป้องกันการซึมผ่านของน้ำ อาจมีการเติมสารเติมแต่งชนิดที่เป็นสารเพิ่มความต้านทานน้ำ เช่น ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หทัยกานต์ มนต์ปิยะ [2] ได้ทำการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของดินเหนียวนาโนแบบมีรูพรุนสังเคราะห์จากแหล่งธรรมชาติเพื่อการใช้งานบรรจุภัณฑ์ฉลาดแบบนาโนคอมพอสิต ซึ่งมีการนำดินเหนียวที่มีการดัดแปลงโครงสร้างให้มีรูพรุนพร้อมทั้งการดัดแปลงโครงสร้างด้วยสารอินทรีย์ถูกเตรียมขึ้นจากการแทรกตัวของสารลดแรงตึงผิว (CTAB) ระหว่างชั้นดินโซเดียมเบนโทไนด์ ในการใช้ดักจับ เช่น ตัวดักจับก๊าซเอทิลีน เนื่องจากพื้นที่ผิวสูงและรูพรุนที่มีขนาดเฉพาะ โดยงานวิจัยนี้ดินเหนียวที่มีการดัดแปลงโครงสร้างให้มีรูพรุน (PCH) จะถูกสังเคราะห์ขึ้นภายในชั้นดินเหนียวของโซเดียมเบนโทไนด์ โดยจะเกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันของเตตระเอทอกซีไซเลน (TEOS) รอบๆ ไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว นอกจากนี้ดินเหนียวที่มีการดัดแปลงโครงสร้างด้วยสารอินทรีย์ (HPCH) สามารถสังเคราะห์ได้จากวิธีการควบแน่นของ TEOS และหมู่ฟังก์ชันไทออล (MPPCH) เพื่อปรับให้ดินเหนียวมีความสามารถในการนำไฟฟ้าเพื่อใช้ในการตรวจสอบบรรจุภัณฑ์ ทั้งนี้ดินเหนียวที่มีการดัดแปลงโครงสร้างทั้ง 2 แบบ ได้ถูกนำมาใช้ดักจับก๊าซเอทิลีนและนำมาผสมกับพอลิฟอสฟีน และยังมีการประเมินผลด้านการนำไฟฟ้าของแผ่นฟิล์มดินเหนียวนาโนคอมพอสิตเมื่อมีการดูดซับก๊าซเอทิลีนอีกด้วย พบว่าดินเหนียวที่มีการดัดแปลงโครงสร้างรูพรุนมีพื้นที่ผิว 421-551 เมตร²/กรัม ขนาดรูพรุน 4.79-5.03 นาโนเมตร และปริมาตรรูพรุน 0.57-0.66 ซีซี/กรัม ขณะที่ดินเหนียวที่มีรูพรุนและถูกดัดแปลงโครงสร้างด้วยสารอินทรีย์มีค่าเท่ากับ 533-966 เมตร²/กรัม 4.28-6.38 นาโนเมตร และ 0.42-0.77 ซีซี/กรัม ตามลำดับ จากการวิเคราะห์การดูดซับก๊าซเอทิลีนพบว่าดินเหนียวที่มีการดัดแปลงโครงสร้างทางเคมีมีการดักจับก๊าซเอทิลีนมากกว่าเบนโทไนด์เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันที่ไม่ชอบน้ำในรูพรุน อีกทั้งเมื่อวัดค่าความนำไฟฟ้าในนาโนคอมพอสิตฟิล์มพบว่า ลดลงหลังจากเกิดปฏิกิริยากับก๊าซเอทิลีนซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ฉลาดได้

เกศินี ประกอบนา [13] ได้ทำการศึกษาการดัดแปลงโครงสร้างของดินให้มีรูพรุนพร้อมทั้งการดัดแปลงโครงสร้างด้วยสารอินทรีย์ถูกเตรียมขึ้นจากการรวมตัวกันของสารผสมระหว่างเตตระเอทอกซีไซเลนและเมซิลเอทอกซีไซเลนระหว่างชั้นดินโซเดียม-เบนโทไนด์ การดัดแปลงโครงสร้างดังกล่าวเกิดขึ้น โดยมีการใช้สารลดแรงตึงผิว (เซซิลไตรเมทิลแอมโมเนียม และ โดเดคซิลามีน) เป็นแม่แบบของรูพรุน โดยก่อนการดัดแปลงโครงสร้างดินดังกล่าวได้มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเป็น 4 ค่าคือ 9, 7, 5 และ 3 จากการศึกษาการเกิดโครงสร้างรูพรุนด้วยเทคนิคการการดูดซับก๊าซไนโตรเจนพบว่าดินที่มีการดัดแปลงโครงสร้างรูพรุนมีพื้นที่ผิว 501-668 เมตร²/กรัม, ขนาดรูพรุน 3.01-3.85 นาโนเมตร, และปริมาตรรูพรุน 0.43-0.64 เซนติเมตร³/กรัม ขณะที่ดินที่มีรูพรุนและถูกดัดแปลงโครงสร้างด้วยสารอินทรีย์มีค่าเท่ากับ 469-582 เมตร²/กรัม, 3.19-3.88 นาโนเมตร, และ 0.33-0.49 เซนติเมตร³/กรัม ตามลำดับ ดินที่ถูกดัดแปลงโครงสร้างดังกล่าวถูกนำมาใช้ประโยชน์เป็นตัวดูดซับ

ก๊าซเอทิลีนในบรรจุภัณฑ์ฉลาด โดยเมื่อวัดค่าการดูดซับก๊าซเอทิลีนด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่าการเพิ่มความชอบสารอินทรีย์ด้วยการดัดแปลงโครงสร้างให้มีหมู่แทนที่เป็นสารอินทรีย์ สามารถเพิ่มค่าการดูดซับก๊าซเอทิลีนได้เพิ่มขึ้น

Bailén, Gloria; ...[et al.] [14] ศึกษาการใช้คาร์บอนกัมมันต์ในบรรจุภัณฑ์แบบปรับสภาวะอากาศ เพื่อรักษาคุณภาพมะเขือเทศระหว่างการเก็บในที่เย็น เนื่องจากเอทิลีน (ethylene) เป็นสารกระตุ้นกระบวนการสุกของมะเขือเทศ ซึ่งมีผลต่อระยะเวลาการเก็บและอายุความทนในการเก็บที่ทำให้สูญเสียคุณภาพและนำไปสู่การเน่าเสีย บทความนี้ได้เสนอการพัฒนาบรรจุภัณฑ์บนหลักการการผสมผสานระหว่างการบรรจุแบบปรับสภาวะอากาศ (modified atmosphere packaging, MAP) และการเติมคาร์บอน กัมมันต์ชนิดเม็ด (granular-activated carbon, GAC) ทั้งแบบไม่เคลือบและแบบเคลือบด้วยพัลลาเดียม (palladium) ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (GAC-Pd) ณ บรรยากาศ steady-state โดยบรรจุภัณฑ์ชุดควบคุม ที่มีก๊าซออกซิเจนที่ 4 kPa และชุดที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 10 kPa สำหรับบรรจุภัณฑ์ชุดทดลอง กำหนดให้ชุดที่มีก๊าซออกซิเจนที่ 8 kPa และชุดที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 7 kPa ผลการศึกษาพบว่า การเติม GAC-Pd ทำให้การสะสม เอทิลีน (ethylene accumulation) ภายในบรรจุภัณฑ์ลดลง ในขณะที่ชุดควบคุมจะเกิดการสะสมเอทิลีนได้มากขึ้น จากการศึกษาพารามิเตอร์ที่สัมพันธ์กับการสุก พบว่า การรักษาสภาพมะเขือเทศด้วยคาร์บอนกัมมันต์ จะช่วยลดการเปลี่ยนสี (color evolution) ความนิ่ม (softening) และการสูญเสียน้ำหนัก โดยเฉพาะการรักษาสภาพด้วย GAC-Pd นอกจากนี้ ยังช่วยชะลอการเน่าเสียของมะเขือเทศด้วย มะเขือเทศที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ที่ใส่ GAC-Pd ได้รับความพึงพอใจสูงกว่าในแง่ของความหวาน สี กลิ่น และรสชาติ การวิเคราะห์ตัวอย่างโดยใช้ gas chromatography-mass spectrophotometer (GC-MS) พบสารประกอบระเหยง่าย (volatile compounds) จำนวน 23 สารในบรรจุภัณฑ์ชุดควบคุม และสารประกอบระเหยง่ายเหล่านี้มีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญในบรรจุภัณฑ์ชุดทดลอง ปริมาณสารประกอบระเหยง่ายมีความสัมพันธ์กับความแรงของกลิ่นภายหลังการเปิดถุงออก

เสาวลักษณ์ แต่ชูตระกูล [15] ได้ทำการศึกษาการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ดูดซับเอทิลีนจากเชื้อกระดาษรีไซเคิลผสมผงถ่านเพื่อยืดอายุการเก็บมะเขือเทศสด โดยใช้สารดูดซับเอทิลีนจากถ่านกะลาปาล์มและถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่ชนิดหนึ่ง ซึ่งวัตถุประสงค์เพื่อนำถ่านทั้งสองชนิดมาผสมกับเชื้อหมุนเวียนทำใหม่เพื่อพัฒนาเป็นแผ่นกระดาษดูดซับเอทิลีนและศึกษาคุณสมบัติของกระดาษและกระดาษถูกฟูกที่ผลิตได้เพื่อทดสอบการยืดอายุการเก็บมะเขือเทศสด ถ่านที่เลือกใช้มีขนาดอนุภาค 150-179 ไมครอน ถ่านกะลาปาล์มมีรูพรุนขนาดเล็กกว่าถ่านกัมมันต์แต่สามารถดูดซับเอทิลีนได้มากกว่าเล็กน้อย คุณน้ำได้น้อยกว่าหลายเท่า ปริมาณผงถ่านสามารถผสมในเชื้อกระดาษและยังสามารถขึ้นรูปได้ คือผงถ่านร้อยละ 40 ของน้ำหนักเชื้อแห้งทำให้คุณสมบัติของกระดาษด้อยลงแต่

สามารถยืดอายุการเก็บมะเขือเทศได้โดยบรรจุมะเขือเทศสีดา 5 ลูกในกล่องขนาด 13.5*5.5*6 เซนติเมตรสามารถชะลอการสุกได้ 3 วัน และเมื่อบรรจุมะเขือเทศจำนวนต่างกัน คือ 3,5,7 ในกล่อง เดิมพบว่ากล่องที่บรรจุมะเขือเทศน้อยสามารถชะลอการสุกตัวได้มากกว่ากล่องที่บรรจุจำนวนมาก โดยกล่องที่ทำด้วยกระดาษผสมกะลาปาล์มมีคุณภาพดีกว่าทำให้เกิดการสูญเสียให้น้อยกว่ากล่องที่ทำด้วยกระดาษผสมถ่านกัมมันต์

พิชชา ดันติเดมิท [16] ได้ทำการวิจัยเรื่องการผลิตกระดาษจากใบสับปะรดที่มีถ่านกัมมันต์เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บแดงหอม *Cucumis melo*L. ดำเนินการโดย 1.ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับเอทิลีนของถ่านกัมมันต์โดยแปรปริมาณถ่านเป็น 0,10,20,30, และ 40 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง 2. ศึกษาการผลิตกระดาษจากใบสับปะรดที่มีถ่านกัมมันต์ทำโดยเติมถ่านกัมมันต์ 0,50,150, และ 250% 3. ศึกษาการใช้กระดาษที่มีถ่านกัมมันต์ 150% เปรียบเทียบกับการใช้สารดูดซับเอทิลีน ได้ผลคือ ร้อยละในการดูดซับเอทิลีนมีอัตราส่วนเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ กระดาษจากใบสับปะรดที่มีถ่านกัมมันต์ 150% เหมาะสมที่จะนำมาใช้ยืดอายุแดงหอม เมื่อนำมาทดสอบสมบัติทางกายภาพของกระดาษแล้วกระดาษจากใบสับปะรดที่มีถ่านกัมมันต์สามารถลดการผลิตก๊าซเอทิลีนได้น้อยกว่าสารดูดซับเอทิลีน แต่การใช้กระดาษที่มีถ่านกัมมันต์มีแนวโน้มในการยืดอายุการเก็บรักษาแดงหอมได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุม ดังนั้นกระดาษที่มีถ่านกัมมันต์จึงมีศักยภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาแดงหอม

นิลเนตร เจริญ และลิขิตา เชิง โชติ [17] การพัฒนาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทิลีนของกระดาษใบสับปะรดที่มีถ่านกัมมันต์โดยใช้ตัวประสาน โดยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน 1) ศึกษาการผลิตกระดาษจากเยื่อใบสับปะรดผสมถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วน 50% 100% และ 150% ของน้ำหนักเยื่อ ทั้งแบบที่ไม่ใส่ตัวประสาน(แป้งอะซิเตด)และแบบใส่ตัวประสาน 2) ศึกษาคุณสมบัติทางเชิงกลและทางทัศนศาสตร์ของกระดาษที่ได้ 3) ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทิลีน โดยนำกระดาษที่มีถ่านกัมมันต์แบบที่มีตัวประสานและไม่มีตัวประสานใส่ลงไปในภาชนะปิดที่มีก๊าซเอทิลีนเข้มข้น 5ppm. นำทั้ง 2 ชนิดไปวัดปริมาณเอทิลีนที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์โดยวัดปริมาณเอทิลีนที่เหลืออยู่ภายในขวดที่เวลา 5 60 และ 120 นาที วิเคราะห์ปริมาณเอทิลีนด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี พบว่าร้อยละการดูดซับเอทิลีนของกระดาษจากใบสับปะรดที่มีถ่านกัมมันต์แบบที่ไม่ได้ใส่ตัวประสานสามารถดูดซับเอทิลีนได้ดีกว่าแบบที่ใส่ตัวประสาน

รัศมี นาคทับทิม และสุพิภรณ์ พฤษยศเรษฐ [18] ศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับความชื้นของสารแคลเซียมคาร์บอเนตเพื่อผลิตสารเคลือบดูดซับความชื้น โดยหาอัตราส่วนของแคลเซียมคาร์บอเนตและสารยึดติดที่เหมาะสมเคลือบบนกระดาษสำหรับห่อเพื่อศึกษาผลการดูดซับความชื้นและสมบัติทางกายภาพของกระดาษห่อที่เคลือบสาร รวมทั้งกระดาษแข็งที่บรรจุอยู่ภายในห่อ โดยนำผง

แคลเซียมคาร์บอเนตมาตรวจสอบความสามารถในการดูดซับความชื้นในอากาศเปรียบเทียบกับผงถ่านและเถ้าชนิดต่างๆ จากนั้น เปรียบเทียบแป้งและพอลิไวนิลอะซิเตทแบบอิมัลชันในการเป็นสารยึดติด รวมทั้งหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการละลายสารยึดติดกับน้ำ พบว่า พอลิไวนิลอะซิเตทมีความเหมาะสม และอัตราส่วนต่อน้ำที่ดีคือ 70:30 โดยน้ำหนัก เนื่องจากทดสอบความทนทานต่อการขัดถูมี ร้อยละหลุดลอกออกมาน้อย จากนั้นหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างผงแคลเซียมคาร์บอเนตกับสารยึดติดในการเป็นสารเคลือบ พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการปาดสารคือ 30:70 โดยน้ำหนัก เนื่องจากสามารถทำการปาดได้ดี และสารดูดความชื้นกระจายตัวได้สม่ำเสมอ แล้วทำการเคลือบบนกระดาษสำหรับห่อ 2 ชนิด คือ กระดาษปอนด์และกระดาษกราฟท์ โดยใช้แท่งปาดสาร จากนั้นทดลอง นำมาห่อกองกระดาษแข็ง 2 ชนิด พบว่ากระดาษแข็งทั้งสองชนิดที่ถูกห่อด้วยกระดาษเคลือบสาร ได้รับความชื้นน้อยกว่ากระดาษแข็งที่ไม่ถูกห่อ และห่อด้วยกระดาษไม่เคลือบสาร ตามลำดับ