บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นการทดลองเกี่ยวกับการการพัฒนาบรรจุภัณฑ์กันกระแทกจากเยื่อหญ้าแฝกผสมเยื่อหมุนเวียนใหม่เพื่อยืดอายุผลผลิตทางการเกษตรกรรม โดยการผสมโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต เพื่อใช้สำหรับบรรจุผลผลิตทางการเกษตรกรรม โดยมีขั้นตอนการผลิต ขั้นตอนการทดสอบและขั้นตอนการควบคุมในขั้นตอนต่างๆ ซึ่งจำเป็นต้องมีการเลือกใช้รูปแบบและกฎเกณฑ์ในการทดสอบที่สามารถอ้างอิงและอธิบายได้อย่างชัดเจน จึงจำเป็นต้องทราบหลักการ แนวคิด ทฤษฎีในเรื่องต่างๆ เหล่านี้ให้ครอบคลุมและชัดเจน เพื่อเป็นกรอบและแนวทางในการทดลอง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ก๊าซเอทิลีน

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับหญ้าแฝก

2.3 กระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษ

2.4 คุณสมบัติของกระดาษ

2.5 แผ่นกระดาษกันกระแทก

2.6 กล้วย

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ก๊าซเอทิลีน

เอทิลีนเป็นสารชนิดหนึ่งที่พืชสามารถผลิตขึ้นเองได้มีสถานะเป็นก๊าซ เอทิลีนมีบทบาทที่สำคัญต่อพืชทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวในแง่ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น ช่วยทำให้มีการออกดอกที่สม่ำเสมอในสับปะรด หรือเร่งการสุกของผลไม้หลาย ๆ ชนิดให้สม่ำเสมอได้ เช่น กล้วย มะละกอเป็นต้น ดังนั้นจะพบว่าการสุกของผลไม้จำเป็นต้องมีเอทิลีนเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ในทางตรงกันข้ามเอทิลีนอาจทำให้เกิดความเสียหายกับผลผลิตได้ เช่น ทำให้ผลไม้ที่เก็บเกี่ยวมาเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว อายุการเก็บรักษาสั้น หรือเกิดความผิดปกติเกิดขึ้นในพืชหลาย ๆ ชนิด เช่น เกิดจุดสีน้ำตาลบนใบผักกาดหอม เกิดรสขมในแครอท หรือทำให้หน่อไม้ฝรั่งมีการสร้างเส้นใยที่มากขึ้น ทำให้คุณภาพของผลผลิตลดต่ำลงด้วย ตัวอย่างกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการสุกของผลไม้

กระบวนการผลิตเอทิลีนในพืชนั้น เริ่มต้นจากกรดอะมิโนเมทไทโอนีน (Methionine) ซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ที่พืชสังเคราะห์ได้เองแล้วถูกเปลี่ยนไปเป็น S-Adenosyl Methionine (SAM) ในลำดับต่อมา

SAM ถูกเปลี่ยนเป็น 1-Aminocyclopropane-1-Carboxylic Acic (ACC) ด้วยเอนไซม์ACC Synthase แล้ว ในลำดับสุดท้าย ACC จะถูกเปลี่ยนไปเป็นเอทิลีนในที่สุดด้วยเอนไซม์ ACC Oxidase

นอกจากเอทิลีนจะถูกสร้างภายในพืชแล้ว เอทิลีนยังสามารถสร้างได้จากแหล่งอื่น ๆ ได้อีก เช่น กองผักผลไม้ที่เน่าเสีย พืชที่ถูกไวรัสเข้าทำลาย การเผาไหม้ หรือการทำงานของเครื่องยนต์ แสงจากหลอดไฟ ควันบุหรี่ เป็นต้น [2]

เอทิลีน (Ethylene) เกิดขึ้นในกระบวนการเมทาบอลิซึมของพืช โดยเฉพาะในช่วงที่ผลไม้สุก จะมีก๊าซนี้แพร่ออกมามาก และสามารถเหนี่ยวนำให้ผลไม้ที่อยู่ใกล้ ๆ สุกตามไปด้วย ด้วยเหตุนี้ในการบ่มผลไม้จึงมักวางผลไม้ รวมกันไว้ในที่มิดชิดเมื่อเกิดก๊าซเอทิลีนออกมาแล้ว ทำให้ผลไม้ที่อยู่ข้าง ๆ สุกตามไปด้วย ในกรณีที่พืชได้รับเอทิลีนมากเกินไปในบางช่วงในขณะที่เจริญเติบโตจะทำให้ใบร่วงมากกว่าปกติ หรืออาจไปเร่งให้ผลสุกเร็วกว่าความต้องการ ทำให้เก็บรักษาไว้ได้ไม่นานแทนที่จะเกิดผลดีกลายเป็นผลเสีย ในกรณีที่ส่งออกไม้ผลไปขายจึงต้องหาทางกำจัดเอทิลีนในช่วงทำการขนส่งเพื่อเก็บรักษาผลไม้ให้อยู่ในสภาพเดิมได้นานไม่สุก เทคโนโลยีที่ใช้หลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลทางการเกษตรจึงมีความสำคัญมาก ทั้งในด้านการขนส่ง การบรรจุหีบห่อจากแหล่งผลิตไปสู่ผู้บริโภค การใช้สารเคมีบางอย่าง เช่น ด่างทับทิม ช่วยชะลอการสุกของผลไม้ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลไม้ที่สุกแล้วเละง่าย เช่น กล้วย มะม่วง เป็นต้น

ผลของเอทิลีนต่อพืช

1. เร่งการสุกของผลไม้ทำให้ผลเปลี่ยนสีได้รวดเร็วและสม่ำเสมอ
2. กระตุ้นการออกดอกของพืชพวกสับปะรด
3. กระตุ้นการหลุดร่วงของใบ ดอก ผล และลดความเหนียวของขั้วผลทำให้เก็บเกี่ยวง่ายขึ้น
4. กระตุ้นการงอกของเมล็ดพืชบางชนิด
5. ทำลายการพักตัวของเมล็ด
6. เร่งการไหลของน้ำยางพารา เพิ่มปริมาณน้ำยางมะละกอ
7. กระตุ้นการเกิดรากฝอยและรากแขนง

ตารางที่ 2.1 การแบ่งผักผลไม้ตามความสามารถในการสังเคราะห์เอทธิลีน

อัตราการสังเคราะห์เอทธิลีน*				
ต่ำมาก (0.01 - 0.1)	ต่ำ (0.1 - 1.0)	ปานกลาง (1.0 – 10.0)	สูง (10.0 - 100.0)	สูงมาก (> 100.0)
เชอรี่	กระเจี๊ยบเขียว(Okra)	กล้วยหอม	แอปเปิ้ล	เสาวรส
ผลไม้ตระกูลส้ม	ข้าวโพดฝักอ่อน	มะม่วง	แอปริคอท	ละมุด
องุ่น	พริกหวาน (pepper)	ทุเรียน	อะโวกาโด	cherimoya
หน่อไม้ฝรั่ง	แตงกวา	มังคุด	แคนตาลูป	sapote
สตรอเบอรี่	แตงโม	ลิ้นจี่	มะละกอ	
อาติโชค (artichoke)	พลับ	ฝรั่ง	พีช	
กระหล่ำดอก	ราสเบอรี่	มะเขือเทศ	แพร์	
มันฝรั่ง	แบลคเบอรี่	น้อยหน่า	พลัม	
ผักใบ	บลูเบอรี่	มะเดื่อ	กีวี (Kiwi fruit)	
(leafy vegetables)	สับปะรด			
ผักราก	เงาะ			
(Root vegetables)	ฟักทอง			
ดอกไม้ตัดดอกส่วนใหญ่				

* Rate of ethylene production : μL C_2H_4/Kg-hr at 20°C (68°F)

ได้แก่ การใช้ในการบ่มผลไม้ให้สุกอย่างสม่ำเสมอ และใช้ในการกำจัดสีเขียว (Degreening) ของผลไม้ตระกูลส้มและ มะนาว ส่วนโทษของเอทธิลีนได้แก่การเร่งการเสื่อมสภาพโดยเร่งการสลายตัวของคลอโรฟิลด์ ทำให้ผักทีมี สีเขียวเปลี่ยนเป็นสีเหลือง เร่งการงอกของหัวมันฝรั่งในระหว่างการเก็บรักษา ทำให้ดอกไม้ร่วงโรยก่อน กำหนด ทำให้เกิดจุดสีน้ำตาลแดง (Russet Spot) ที่ก้านใบของผักกาดหอม รวมทั้งมีผลต่อรสชาติ โดยทำให้ เกิดรสขมในแครอทที่ได้รับเอทธิลีนในปริมาณสูง เนื่องจากถูกกระตุ้นให้สร้างสาร Isocoumarin ขึ้น

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับหญ้าแฝก [14]

2.2.1 ข้อมูลทั่วไปของต้นหญ้าแฝก

หญ้าแฝกจัดเป็นหญ้าเขตร้อนที่ขึ้นอยู่ตามธรรมชาติ กระจัดกระจายทั่วไปในสภาพแวดล้อมต่างๆ ซึ่งในประเทศไทยจะพบหญ้าแฝกขึ้นอยู่ตามธรรมชาติตามพื้นที่ทั่วไปที่ลุ่มจนถึงที่ดอนสามารถขึ้นได้ใน

ดินเกือบทุกชนิด และมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Vetiveria Zizanioides เป็นพืชตระกูลหญ้าขึ้นอยู่เป็นกอหนาแน่น เจริญเติบโตโดยการแตกกอได้อย่างรวดเร็ว เส้นผ่านศูนย์กลางกอประมาณ 30 เซนติเมตร ความสูงประมาณ 0.5 – 1.5 เมตร ลักษณะใบแคบยาวประมาณ 75 เซนติเมตร ความกว้างของใบประมาณ 8 มิลลิเมตร ค่อนข้างแข็ง หญ้าแฝกเป็นพืชที่มีระบบรากลึก เจริญเติบโตในแนวดิ่งมากกว่าออกทางด้านข้าง และมีจำนวนรากมากจึงเป็นพืชที่ทนแล้งได้ดี รากจะประสานติดต่อกันแน่นหนาเสมือนม่านหรือกำแพงใต้ดิน สามารถกักเก็บน้ำและความชื้นได้ ระบบรากแผ่ขยายได้กว้างประมาณ 50 เซนติเมตร โดยรอบกอเท่านั้นไม่เป็นอุปสรรคต่อพืชที่ปลูกข้างเคียงจัดเป็นการอนุรักษ์ดินและน้ำ

2.2.2 ส่วนประกอบของต้นหญ้าแฝก

หญ้าแฝกประกอบไปด้วยองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

2.2.2.1 ลำต้น (Culm) หญ้าแฝกเป็นหญ้าที่ขึ้นเป็นกอมีลักษณะเป็นพุ่ม ใบบางตั้งตรงขึ้นสูงมีการขึ้นเป็นกลุ่มใหญ่หรือกระจายกันอยู่ไม่ไกลมากนัก กอแฝกมีขนาดค่อนข้างใหญ่ โคนกอเบียดกันแน่นเป็นลักษณะเฉพาะอันดับหนึ่งที่แตกต่างจากหญ้าอื่นๆ ค่อนข้างชัดเจน ส่วนโคนของลำต้นจะแบนเกิดจากส่วนในใบที่จัดเรียงพับซ้อนกัน ลำต้นแท้จะมีขนาดเล็กซ่อนอยู่ในกาบใบบริเวณคอดิน โดยจะแตกหน่อออกทางด้านข้างรอบกอดิน ทำให้กอมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ โดยปกติแล้ว หญ้าแฝกมีลำต้นสั้นข้อและปล้องไม่ชัดเจน พบไม่มากในสภาพธรรมชาติที่อุดมสมบูรณ์ แต่เป็นลักษณะที่พบได้ทั่วไปในหญ้าแฝกที่ได้จัดปลูกในถุง หรือในแปลงเป็นต้นแก่มากจะปลูกในพื้นที่วิกฤติ

2.2.2.2 ใบ (Leaf) โดยใบของหญ้าแฝกจะแตกออกจากโคนกอ มีลักษณะแคบยาว ขอบใบขนานแผ่นใบหยาบกร้าน โดยเฉพาะใบแก่ ขอบใบและเส้นกลางใบมีหนามละเอียด (Spinulose) หนามบนใบจะมีน้อยบริเวณส่วนโคนและกลางแผ่นแต่จะมีมากที่บริเวณปลายใบ มีลักษณะตั้งทแยง ปลายหนามชี้ขึ้นไปทางปลายใบ เยื่อกันน้ำฝนที่โคนใบ (Ligule) จะลดรูปมีลักษณะเป็นเพียงส่วนโค้งของขนสั้นละเอียด บางครั้งสังเกตได้ไม่ชัดเจน

2.2.2.3 ราก (Roots) เป็นส่วนสำคัญและเป็นลักษณะพิเศษของหญ้าแฝก ที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์เป็นหลัก หญ้าแฝกส่วนใหญ่โดยทั่วไปจะมีรากที่เป็นลักษณะระบบรากฝอย (Fibrous Roots) แตกจากส่วนลำต้นใต้ดินกระจายออกแผ่กว้างเพื่อยึดพื้นดินตามแนวนอน (Horizontal) จะมีระบบรากในแนวดิ่ง (Vertical) ไม่ลึกมากแต่ระบบรากของหญ้าแฝกจะแตกต่างจากรากหญ้าส่วนใหญ่ทั่วไป คือมีรากที่สานกันแน่นหยั่งลึกแนวดิ่งลงในดิน ไม่แผ่ขนาน มีรากแกนและรากแขนง โดยเฉพาะมีรากฝอยแนวดิ่งจำนวนมาก

2.2.2.4 ช่อดอก (Inflorescence) / ดอก (Spolelets) หญ้าแฝกมีช่อดอกตั้งลักษณะเป็นรวง ก้านช่อดอกยาวกลม ก้านช่อดอกและรวงสูงประมาณ 100 – 150 เซนติเมตร แต่ต้นที่สมบูรณ์ จะสูงจากพื้นดิน 200 เซนติเมตร เฉพาะส่วนช่อดอกหรือรวงสูงประมาณ 20 – 40 เซนติเมตร แผ่กว้างเต็มที่ 10 – 15 เซนติเมตร ช่อดอกของหญ้าแฝกหอมส่วนใหญ่มีสีม่วง ซึ่งมีลักษณะปกติประจำแต่ชนิดพันธุ์ ดอกหญ้าแฝกจะรวมตัวกันเป็นคู่ๆ มีลักษณะคล้ายคลึงและขนาดใกล้เคียงกัน แต่ละคู่ประกอบด้วยดอกชนิดที่ไม่มีก้านและดอกชนิดมีก้าน ยกเว้นที่ส่วนปลายของก้านช่อย่อยมักจะเรียงเป็น 3 ดอก อยู่ด้วยกัน ดอกไม่มีก้านจะอยู่ด้านกลาง ส่วนดอกที่มีก้านจะชูอยู่ด้านบน โดยดอกหญ้าแฝกมีลักษณะคล้ายกระสวยขอบขนาดรูปไข่ปลายสอบ ขนาดของดอกกว้าง 1.5 – 2.5 มิลลิเมตร ยาว 2.5 – 3.5 มิลลิเมตร ผิวบนด้านหลังขรุขระมีหนามแหลมขนาดเล็ก โดยเฉพาะที่บริเวณขอบเห็นได้ชัดเจน เมื่อส่องดูด้วยแว่นขยาย ด้านล่างผิวเรียบ

2.2.2.5 เมล็ดและต้นกล้า (Seed and Seeding) ดอกหญ้าแฝกเมื่อได้รับการผสมแล้ว ดอกที่ไม่มีก้านดอกซึ่งเป็นดอกสมบูรณ์ก็จะติดเมล็ด เมล็ดจะมีสีน้ำตาล เป็นรูปกระสวยผิวเรียบหัวท้ายมน มีเนื้อในลักษณะคล้ายแป้งเหนียว จึงสูญเสียสภาพความงอกได้ง่ายเมื่อถูกลมแรง แดดจัด หรือสภาพอากาศวิกฤติซึ่งเนื้อแป้งเปลี่ยนเป็นแข็งและรัดตัวทำให้ไม่สามารถขยายตัวได้ เนื่องจากเมล็ดหญ้าแฝกมีความสามารถในการงอกอยู่ในช่วงระยะเวลาจำกัดเพียงช่วงสั้นๆ และบางสายพันธุ์ซึ่งนำเข้าจากต่างประเทศไม่มีเมล็ด จึงทำให้หญ้าแฝกไม่สามารถแพร่กระจายเป็นวัชพืชร้ายแรงได้

2.2.3 แหล่งที่พบต้นหญ้าแฝก

จากการศึกษาหญ้าตระกูล Vertiveria ในประเทศไทยอย่างเป็นระบบทางอนุกรมวิธาน ผลการศึกษาปรากฏว่าหญ้าแฝกที่พบในประเทศไทยจำแนกได้เป็น 2 ชนิดด้วยกัน ได้แก่ หญ้าแฝกหอม (Vertiveria Zizanioides) และหญ้าแฝกดอน (Vertiveria Nemoralis) ในธรรมชาติพบว่าหญ้าแฝกทั้งสองชนิดนี้มีการกระจายทั่วไป ขึ้นได้ดีในสภาพพื้นที่ทั้งที่ลุ่มและที่ดอนดินสภาพต่างๆ จากความสูงใกล้ระดับน้ำทะเลจนถึงระดับประมาณ 800 เมตร โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.3.1 หญ้าแฝกหอม (Vertiveria, Zizanioides) เป็นพืชที่มีความสามารถในการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีและไปได้ค่อนข้างเร็ว หญ้าแฝกหอมที่นำเข้ามาจากต่างประเทศส่วนใหญ่ได้แก่ พันธุ์ที่นำมาจาก อินเดีย, ศรีลังกา และอินโดนีเซีย เป็นหญ้าที่ได้รับคัดเลือกพันธุ์และจัดปลูกภายใต้การดูแลที่มีปัจจัยต่างจากสภาพในธรรมชาติอาทิ มีการตัดแต่งอย่างสม่ำเสมอเพื่อเร่งราก เร่งการแตกกอ และเพื่อไม่ให้เกิดช่อดอก ทำให้เกิดการผสมและไม่กลายพันธุ์ โดยยังคงลักษณะเดิมต่างๆ ไว้เสมอ หญ้าแฝกหอมมีใบยาว 45 – 100 เซนติเมตร กว้าง 0.6 – 1.2 เซนติเมตร มีใบหลังโค้งปลาย ใบแบนมีสีเขียวเข้มเนื้อใบค่อนข้างเนียนมีไขเคลือบ (Wax) มากทำให้ดูมัน ท้องใบออกสีขาวซีดกว่าด้านหลังใบ

และเมื่อนำใบส่องดูกับแดดจะเห็นรอยกั้นขวางในเนื้อใบ (Septum) ค่อนข้างชัดเจน โดยเฉพาะพื้นใบบริเวณส่วนโค้งและกลางใบ (Midrib) โดยหญ้าแฝกหอมที่อายุประมาณ 1 ปี จะมีรากที่หยั่งลึกได้ประมาณกว่า 1 เมตร ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับสภาพของดินและความอุดมสมบูรณ์ของพืช ในสภาพธรรมชาติดินร่วนปนทรายที่มีการระบายน้ำได้ดี และหญ้าแฝกจะให้รากยาวที่สุด

2.2.3.2 หญ้าแฝกดอน (Vertiveria Nemoralis A. Camus) หรือที่เรียก แฝกพื้นบ้านนั้น มีการกระจายพันธุ์ในวงแคบๆ ตามธรรมชาติเฉพาะในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เท่านั้น โดยหญ้าแฝกดอนจะพบได้ทั่วไปในที่ค่อนข้างแล้งหรือที่ดินระบายน้ำได้ดีในทุกภาคของประเทศไทยโดยเฉพาะในป่าเต็งรังแต่จะมีน้อยในภาคใต้ สามารถขึ้นได้ดีทั่วในที่แดดปานกลาง ยอดกอส่วนปลายจะแผ่โค้งลงคล้ายกอตะไคร้ ไม่ตั้งมากเหมือนหญ้าแฝกหอมในบางพื้นที่พบว่าขึ้นอยู่หนาแน่นในลักษณะเป็นพืชพื้นที่รากคลุมดินเป็นบริเวณกว้าง เช่น ที่วงตีไก่ในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้งจังหวัดอุทัยธานี หญ้าแฝกดอนที่ขึ้นอยู่ตามป่าเต็งรังจะโดน ไฟป่ารบกวนอยู่เสมอ ใบหญ้าแฝกที่แห้งเป็นเชื้อไฟที่ดี แต่เนื่องจากโคนกอมีลักษณะแน่นมาก จึงไม่ถูกทำลายง่ายโดยไฟป่า และสามารถงอกใบใหม่ขึ้นทดแทนได้อย่างรวดเร็วหลังจากไฟไหม้เพียงไม่นาน หญ้าแฝกดอนมีใบยาว 35 – 80 เซนติเมตร เนื้อใบหยาบ สาก มีไขเคลือบน้อยทำให้ไม่เหลือบมัน ท้องใบสีเดียวกับด้านหลังใบแต่มีสีซีดกว่าแผ่นใบ เมื่อส่องแดดจะไม่เห็นรอยกั้นในเนื้อใบ เส้นกลางใบสังเกตได้ชัดเจนมีลักษณะแข็งเป็นแกนนูนทางด้านหลัง ใบหญ้าแฝกดอนและหญ้าแฝกหอมที่มีอายุเท่ากัน หญ้าแฝกดอนจะมีรากที่สั้นกว่า โดยทั่วไปหญ้าแฝกที่มีอายุประมาณ 1 ปี จะมีรากลึกประมาณ 80 – 100 เซนติเมตร ช่อดอกของหญ้าแฝกดอนจะมีได้หลายสี

2.3 กระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษ

2.3.1 กระบวนการผลิตเยื่อ

วัตถุประสงค์หลักของการผลิตเยื่อก็เพื่อต้องการแยกเส้นใยออกมาจากองค์ประกอบอื่นของไม้ การผลิตเยื่อสามารถทำได้หลายวิธีโดยวิธีเคมีและเชิงกล เยื่อที่ได้จะนำไปผ่านการฟอกให้ขาว สำหรับทำกระดาษที่ใช้เพื่อการสื่อสารต่างๆ ซึ่งจะเห็นว่าในขั้นตอนนี้จะต้อง ประกอบด้วย กรรมวิธีการผลิตเยื่อ (Pulping Process) และการฟอกเยื่อ (Bleaching)

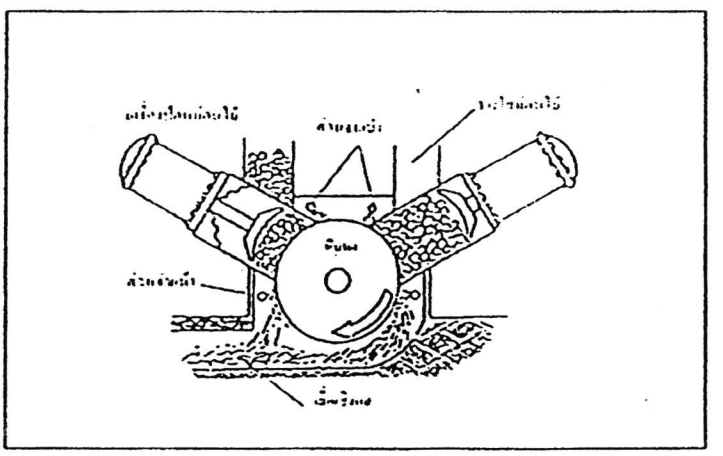
2.3.1.1 กระบวนการผลิตเยื่อ (Pulping Process)

เยื่อมีหลายชนิด การเรียกชื่อขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิต ซึ่งประกอบด้วยรูปแบบต่างๆ ของพลังงานที่ใช้ ได้แก่ พลังงานความร้อน พลังงานเคมี และพลังงานกล

1. การผลิตเยื่อเชิงกล (Mechanical Pulp Process) จะใช้พลังงานกลควบคู่ไปกับพลังงานความร้อนในการแยกเส้นใยออกมา โดยชิ้นไม้จะถูกส่งเข้าเครื่องบด ซึ่งจะทำหน้าที่บดและตัดชิ้นไม้แหลกละเอียดเป็นเยื่อไม้ เยื่อที่ได้เรียก เยื่อไม้บดหรือเยื่อเชิงกลให้ผลผลิตเยื่อมากกว่าร้อยละ 85 เยื่อไม้บดจะมีเนื้อค่อนข้างหยาบกระด้าง เส้นใยที่ได้จากเยื่อไม้บดนี้ส่วนใหญ่ไม่สมบูรณ์ จะมีการขาดและตัดเป็นท่อนๆ นอกจากนี้ยังมีกลุ่มของเส้นใย (Bundle of Fiber) ปนอยู่ด้วย ซึ่งจะเห็นได้ว่าในเยื่อไม้บดจะประกอบด้วย

- เส้นใยฝอย (Fines) ซึ่งเกิดจากการฉีกขาดของเส้นใย
- เส้นใยเดี่ยว (Individual Fiber) เส้นใยเดี่ยวของเยื่อไม้บด ยังแยกไม่ค่อยสมบรูณ์
- กลุ่มของเส้นใย ซึ่งประกอบด้วยเส้นใยหลายๆ เส้นเกาะติดกันเป็นมัด

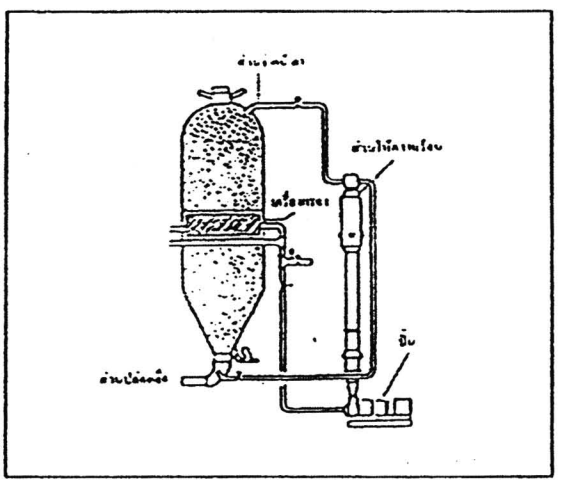
เยื่อชนิดนี้เมื่อนำมาเป็นวัตถุดิบในการทำกระดาษจะให้สมบัติตามส่วนประกอบทั้ง 3 คือ เส้นใยฝอยจะเพิ่มสมบัติด้านการทึบแสง เส้นใยเดี่ยวซึ่งไม่ค่อยสมบรูณ์อาจมีการฉีกขาดและยังคงมีลิกนินตกค้างอยู่มากทำให้พันธะระหว่างเส้นใยต่ำ เยื่อชนิดนี้จึงไม่เหมาะที่จะนำไปทำกระดาษที่ต้องรับแรงสูง เยื่อชนิดนี้มีราคาถูก เหมาะสำหรับทำสิ่งพิมพ์ราคาถูก เช่น หนังสือพิมพ์ หรือใช้เป็นเยื่อชั้นในกระดาษแข็ง



รูปที่ 2.1 แสดงการผลิตเยื่อเชิงกลที่มา: วัสดุทางการพิมพ์ หน่วย 9-15, สุโขทัยธรรมธิราช, หน้า 7

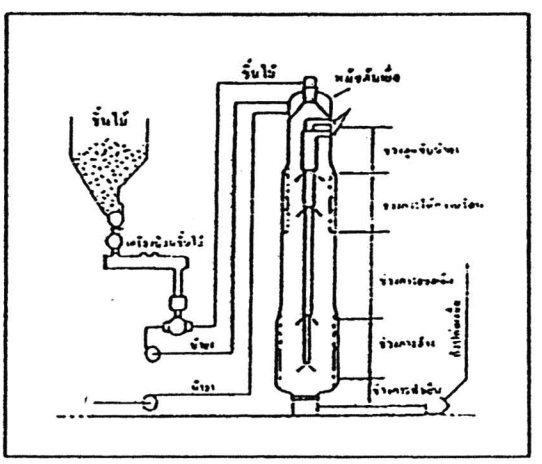
2. การผลิตเยื่อเคมี (Chemical Pulping Process) การผลิตเยื่อเคมีตามกรรมวิธีนี้ จะใช้พลังงานเคมีและพลังงานความร้อนในการทำให้เส้นใยแยกจากกัน โดยไม้จะถูกส่งเข้าหม้อต้มเยื่อ (Digester) ซึ่งมีทั้งชนิดหม้อต้มเยื่อแบบเดี่ยว (Batch Digester) และหม้อต้มเยื่อแบบต่อเนื่อง (Continuous Digester) แบบต่อเนื่องจะต้มไปได้เรื่อยๆ ไม่ต้องหยุดเหมือนแบบเดี่ยวและเป็นที่นิยมกว่า

การผลิตเยื่อเคมีนั้นอาศัยสารเคมีและความร้อนในการละลายลิกนินออกไปเหลือส่วนที่ไม่ละลาย คือ เยื่อ เยื่อเคมีมีหลายชนิดเรียกชื่อตามสารเคมีที่ใช้ในการผลิต เช่น เยื่อซัลเฟต เยื่อซัลไฟท์ และเยื่อโซดา เยื่อเคมีให้ผลผลิตเยื่อประมาณร้อยละ 40 เยื่อเคมีที่ได้จะมีลักษณะนุ่ม มีสีค่อนข้างคล้ำ เส้นใยที่ได้จะสมบรูณ์ เยื่อชนิดนี้มีปริมาณการใช้สูงมาก เพราะสามารถพัฒนาศักยภาพของเส้นใยให้สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวาง เหมาะทั้งใช้ในงานรับแรงและเพื่อการสื่อสาร ถ้าใช้ในงานรับแรง เช่น นำไปทำกระดาษบรรจุภัณฑ์ไม่จำเป็นต้องฟอก แต่ถ้าใช้เพื่อการสื่อสารจะต้องนำไปฟอกให้ขาวก่อน



รูปที่ 2.2 แสดงหม้อต้มเยื่อแบบเดี่ยว (Batch Digester)

ที่มา: วัสดุทางการพิมพ์ หน่วย 9-15, สุโขทัยธรรมธิราช, หน้า 9



รูปที่ 2.3 แสดงหม้อต้มเยื่อแบบต่อเนื่อง (Continuous Digester)

ที่มา: วัสดุทางการพิมพ์ หน่วย 9-15, สุโขทัยธรรมธิราช, หน้า 10

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

2.3.1.2 การฟอกเยื่อ (Bleaching)

เป็นการทำให้เยื่อมีสีขาวเหมาะกับการใช้พิมพ์ การฟอกเยื่อมี 2 วิธี คือ วิธีฟอกเยื่อเพื่อกำจัดลิกนินออกไป หรือ วิธีฟอกเพื่อเปลี่ยนสีของลิกนินให้อยู่ในรูปไม่มีสี โดยเยื่อเคมีจะฟอกโดยใช้วิธีกำจัดลิกนินออกไปโดยใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับลิกนินแล้วกำจัดออก การฟอกแบบนี้มีหลายขั้นตอน การฟอกมีชื่อเรียกตามสารเคมีที่ใช้ฟอกและเรียงตามลำดับตัวอักษรตัวแรกของแต่ละขั้นตอน โดยสารเคมี สัญลักษณ์ และชื่อขั้นตอนการฟอกที่ใช้เป็นไป ดังนี้

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงสารเคมี สัญลักษณ์ และชื่อขั้นตอนการฟอกเยื่อ

สารเคมี	สัญลักษณ์	ชื่อเรียกขั้นตอนการฟอก
คลอรีน(Chlorine)	C	ขั้นคลอริเนชั่น (Chlorination stage)
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide)	E	ขั้นแอกแทรกชัน (Extraction Stage)
แคลเซียมไฮโปคลอไรด์ (Calcium Hypochlorite)	H	ขั้นไฮโปคลอไรด์ (Hypochlorite Stage)
คลอรีนไดออกไซด์ (Chlorine Dioxide)	D	ขั้นคลอรีนไดออกไซด์ (Chlorine Dioxide Stage)
ไฮโรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen Peroxide)	P	ขั้นแอกแทรกชัน (Extraction Stage)
ออกซิเจน (Oxygen)	O	ขั้นออกซิเจน (Oxygen Stage)
โอโซน(Ozone)	Z	ขั้นโอโซน (Ozone Stage)
กรด(Acid)	A	ขั้นกรด (Acid Stage)

โดยทั่วไปจะมีตั้งแต่ 3-6 ขั้นตอน ตัวอย่างเช่น CEH, CEDEP, CEOP เยื่อที่ได้มีความขาวสว่างสูงประมาณร้อยละ 80-95 เมื่อวัดด้วยเครื่องวัดแบบแอลริโฟ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 2 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 246780
เลขเรียกหนังสือ

2.3.2 กระบวนการผลิตกระดาษ

2.3.2.1 การเตรียมน้ำเยื่อ

ในขั้นตอนการเตรียมน้ำเยื่อ (Stock Preparation) มีวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ คือ

1. เพื่อพัฒนาศักยภาพของเส้นใยโดยการนำเยื่อไปบด
2. เพื่อปรับปรุงสมบัติกระดาษให้ได้ตรงตามวัตถุประสงค์การใช้งาน

โดยการผสมหรือใส่สารเติมแต่งชนิดต่างๆ ตามอัตราส่วนที่กำหนดส่วนผสมที่ได้นี้เรียกว่า "น้ำเยื่อ" หรือ "สต๊อก" (Stock) เยื่อที่นำมาทำกระดาษทุกชนิดจะต้องผ่านการบด แต่จะบดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับคุณภาพของเยื่อ เยื่อบางชนิดไม่จำเป็นต้องบด เช่น เยื่อไม้บดและเยื่อหมุนเวียนใช้ใหม่ (Recycle Pulp) เพราะเยื่อเหล่านี้ผ่านการบดมาแล้ว

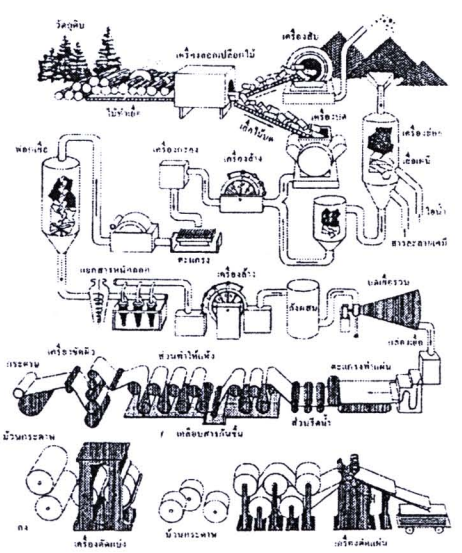
ในขั้นตอนการเตรียมน้ำเยื่อประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่ทำหน้าที่ในการบดและผสม โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติเรียงตามลำดับคือ

1. การกระจายเส้นใยเป็นการกระจายเยื่อเพื่อให้เส้นใยแยกออกจากกันเป็นอิสระในน้ำ โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า ไฮดราพัลพ์เพอร์ (Hydra Pulper)

2. การบดเยื่อ เป็นการบดเยื่อเพื่อให้เส้นใยแตกแขนง เป็นการเพิ่มการยึดกันระหว่างเส้นใยให้สูงขึ้น อุปกรณ์ที่ใช้คือ รีไฟน์เนอร์ (Refiner)

3. การผสมน้ำเยื่อเป็นการเติมสารเติมแต่งลงไปผสมกับเยื่อที่ผ่านการบดแล้ว โดยผสมในถังใบพัดกวนเยื่อจะถูกเก็บไว้ในถังที่เรียกว่า แมชชีนเชสท์ (Machine Chest)

4. การคัดขนาดและแยกสิ่งสกปรก เป็นการคัดขนาดและแยกสิ่งสกปรกออกจากน้ำเยื่อ การคัดขนาดจะใช้ตระแกรงราบ (Flat Screener) เพื่อคัดแยกวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นใยออกแล้วผ่านเข้าสู่เครื่องทำความสะอาดระบบเซนติฟิวจ์หรือระบบปั่นแยก (Centrifugal Cleaner) จะคัดแยกวัสดุอื่นออกไป โดยใช้หลักความถ่วงจำเพาะ



รูปที่ 2.4 แสดงแผนผังแสดงกระบวนการผลิตกระดาษ

ที่มา: สาระน่ารู้เรื่อง กระดาษพิมพ์, วิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายฯ, *หน้า 26*

2.3.2.2 การทำแผ่นกระดาษ

หลังการผสมน้ำเยื่อเรียบร้อยแล้ว น้ำเยื่อจะถูกส่งเข้าเครื่องจักรผลิตกระดาษเพื่อทำให้เป็นแผ่นกระดาษที่ยาวต่อเนื่องที่เรียกว่า กระดาษม้วน เครื่องจักรพื้นฐานที่ใช้ผลิตกระดาษมี 2 แบบ คือ แบบโฟร์ดิเนียร์ (Fourdrininer) และแบบไซลินเดอร์ (Cylinder) โดยเครื่องจักรผลิตกระดาษทุกแบบจะมีส่วนประกอบต่างๆ เพื่อทำหน้าที่หลัก 3 ประการ

1. การแยกน้ำออก (Draining) อาศัยตะแกรงรองรับน้ำเยื่อ น้ำจะลอดผ่านตะแกรง ทำให้เยื่อก่อตัวเป็นแผ่นเปียก

2. การกดน้ำออก (Pressing) มีลูกกลิ้งทำหน้าที่กดหรือบีบน้ำออกจากแผ่นเปียก ทำให้เกิดการยึดติดกันแน่นระหว่างเส้นใยภายในแผ่นกระดาษ

3. การอบกระดาษ แผ่นกระดาษจะถูกอบให้แห้งเพื่อไล่น้ำออกจนกระดาษแห้ง เหลือความชื้นประมาณร้อยละ 4-6 จะเห็นได้ว่าหน้าที่หลักทั้ง 3 ประการ มีวัตถุประสงค์เพื่อเอาน้ำออกจากกระดาษ อีกทั้งเครื่องจักรผลิตกระดาษทุกแบบจะออกแบบเพื่อรองรับหน้าที่หลักทั้ง 3 ประการ ซึ่งส่วนประกบที่ทำหน้าที่โดยตรง ได้แก่ ส่วนตะแกรงลวดเดินแผ่น ส่วนกดกระดาษ และส่วนอบกระดาษ ตัวอย่างเช่น เครื่องจักรผลิตกระดาษแบบโฟร์ดิเนียร์จะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- ถังจ่ายน้ำเยื่อ (Head Box) ทำหน้าที่จ่ายน้ำเยื่อเข้าสู่ตะแกรงลวดเดินแผ่น
- ส่วนตะแกรงลวดเดินแผ่น (Wire Section หรือ Forming Section) ทำหน้าที่สำคัญ 2 ประการ คือ ก่อตัวเป็นแผ่นกระดาษด้วยกระบวนการกรองและการแยกน้ำออก (Dewatering) แผ่นเปียกที่ออกจากส่วนนี้จะมีน้ำอยู่ถึงร้อยละ 80
- ส่วนกดกระดาษ (Press Section) ทำหน้าที่กดหรือบีบน้ำออกจากแผ่นเปียก ทำให้เกิดการยึดติดกันแน่นภายในเนื้อกระดาษ กระดาษที่ออกจากส่วนนี้จะมีน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 55-60 การเอาน้ำออกให้ได้มากกว่านี้ ด้วยแรงกดไม่สามารถทำได้เพราะทำให้กระดาษขาด
- ส่วนอบกระดาษ (Drying Section) ในส่วนนี้จะให้ความร้อนกับกระดาษทำให้กระดาษแห้ง โดยกระดาษออกจากส่วนนี้จะมีความชื้นประมาณร้อยละ 4-6
- ส่วนรีดกระดาษ (Calender) ทำหน้าที่ปรับแผ่นกระดาษให้เรียบและมีเนื้อแน่นขึ้น
- ส่วนพับกระดาษเข้าม้วน (Winder) ทำหน้าที่นำกระดาษเข้าม้วน

2.3.3 การปรับสภาพผิวกระดาษ

กระดาษเป็นวัสดุใช้พิมพ์จะต้องมีสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในงานพิมพ์โดยต้องมีความสะอาด ความขาวสว่าง ความทึบแสง และความแข็งแรงทางเชิงกลต่างๆ แล้วยังต้องมีสมบัติด้านพื้นผิวที่ดีอีกด้วย เช่น มีความเรียบ การรับหมึก และความแข็งแรงของผิวกระดาษ ซึ่งสมบัติด้านพื้นผิวเหล่านี้มีความสำคัญต่อคุณภาพงานพิมพ์มาก เพราะสมบัติด้านพื้นผิวมีผลต่อสภาพการเดิน

กระดาษคล่องและสภาพพิมพ์ได้ของกระดาษ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงผิวกระดาษ เพื่อให้ทีสมบัติด้านพื้นผิวที่เหมาะกับการพิมพ์ ซึ่งสามารถทำการปรับปรุงได้ 4 วิธีด้วยกัน คือ

2.3.3.1 การฉาบผิว

การฉาบผิวเป็นการปรังปรุงสมบัติด้านพื้นผิวของกระดาษเพื่อให้พันธะที่ผิวของกระดาษแข็งแรง ซึ่งทำให้กระดาษไม่เกิดการถอนผิว เมื่อได้รับแรงระหว่างการพิมพ์หรือการแปรรูปต่างๆ การฉาบผิวจะทำในขณะที่กระดาษเดินแผ่นอยู่และแห้งแล้ว โดยการใช้แป้งกัม และพีวีเอ (PVA) ฉาบที่ผิวหน้ากระดาษ โดยฉาบที่เครื่องไซส์เพรส เพื่อให้แป้งไปอุดรูที่มีในผิวกระดาษทำให้ผิวกระดาษเรียบขึ้น และยังเป็นการเพิ่มพันธะที่ผิวกระดาษ ทำให้กระดาษมีผิวแข็งแรงขึ้น เครื่องฉาบผิว มีหลายแบบ ได้แก่ แนวดิ่ง แนวนอน และแนวเอียง โดยแบ่งตามลักษณะของลูกกลิ้งที่ใช้ฉาบ โดยแบบแนวดิ่ง (Vertical) เป็นแบบที่เก่าที่สุด มีวิธีการฉาบผิวดังนี้ น้ำแป้งถูกส่งเข้าไปที่ลูกกลิ้งตัวบน น้ำแป้งส่วนเกินจะไหลผ่านกระดาษลงไปในถาดรองรับ ซึ่งน้ำแป้งจะถูกเก็บไว้แล้วจะถูกส่งไปที่ด้านล่างกระดาษ โดยลูกกลิ้งตัวล่าง เดิมทีการฉาบผิวจะหมายถึง การฉาบด้วยน้ำแป้งเท่านั้นในปัจจุบันได้มีการเติมผงแร่ลงในน้ำแป้งด้วย การเพิ่มปริมาณของผงแร่ที่เติมลงไปทำให้การฉาบผิวทำได้ช้าเกิดปัญหาหลายประการ เพราะเป็นการเพิ่มน้ำหนักของกระดาษ ทำให้กระดาษเกิดการหย่อนตัว ต่อมาได้มีการพัฒนารูปแบบของเครื่องฉาบผิวขึ้น เป็นแบบแนวนอน (Horizontal) และแนวเอียง (Incline Size Press) แบบแนวนอนและแบบเอียง เหมาะสำหรับการฉาบผิวกระดาษด้วยความเร็วสูงการเพิ่มผงแร่ลงไปในการทำการฉาบผิวเป็นการเพิ่มความขาวสว่าง ความทึบแสงของกระดาษและควบคุมสมบัติด้านพื้นผิวให้เหมาะสมกับการพิมพ์ในการฉาบผิวน้ำแป้งจะถูกดูดซึมเข้าไปในเนื้อกระดาษได้ดีเท่าๆ กับที่ผิวกระดาษ จึงทำให้เครื่องฉาบผิวมี 2 หน้าที่หลัก คือ เพิ่มความแข็งแรงของพันธะและปรับปรุงสมบัติด้านผิวกระดาษให้มีความเรียบสูงขึ้น

2.3.3.2 การรีดผิว

การรีดผิวกระดาษเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นต่อจากส่วนลูกอบเป็นการนำกระดาษที่แห้งแล้วไปผ่านลูกกลิ้งทรงกระบอกไร้สนิม กระดาษจะถูกรีดผิวจนราบและมีพื้นผิวเรียบขึ้น ทำให้สามารถพิมพ์ได้ดี โดยให้กระดาษวิ่งผ่านระหว่างลูกกลิ้งซึ่งให้ความร้อนด้วยไอน้ำ ภายใต้สภาวะนี้กระดาษจะมีสมบัติคล้ายพลาสติก และถูกทำให้หยุ่นตัว ทำให้ผิวกระดาษเรียบมากขึ้น ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการรีดกระดาษ ได้แก่ ปริมาณความชื้นในกระดาษแรงกดที่กระทำบนกระดาษและจำนวนของลูกกลิ้งที่กระดาษวิ่งผ่าน ถ้ามีปริมาณความชื้นในกระดาษสูงกระดาษจะหยุ่นตัวมากอีกทั้งลูกกลิ้งที่ซ้อนกันเป็นแถวของส่วนรีดกระดาษจะช่วยลดความหนาของกระดาษ ลูกกลิ้งตัวล่างของแถวลูกกลิ้งจะเกิดการหักงอเนื่องจากน้ำหนักลูกกลิ้งและแรงกดที่ใช้ ถ้าลูกกลิ้งเหล่านี้โก่งงอ แผ่นกระดาษจะได้รับแรงกดที่ขอบมากกว่าส่วนกลางม้วน ทำให้ผิวกระดาษตรงกลางหยาบและลดความหนาของกระดาษ เพื่อ

แก้ปัญหานี้ลูกกลิ้งตัวล่าง ซึ่งเรียกว่า คิงส์โรล จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าลูกอื่นๆ และมีลักษณะคล้ายรูปมงกุฎ คือ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตรงกลางใหญ่กว่าขอบนอก เมื่อลูกกลิ้งตัวบนได้รับแรงกดจะถ่ายน้ำหนักลงสู่ลูกกลิ้งตัวล่างสุดทำให้ลูกกลิ้งตัวล่างไม่โกงงอ ส่งผลทำให้การรีดผิวกระดาษเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ตลอดหน้ากว้างของลูกกลิ้ง ทำให้กระดาษมีผิวราบและเรียบเหมาะกับการพิมพ์

2.3.3.3 การเคลือบผิว

การเคลือบผิวเป็นวิธีการปรับปรุงสมบัติด้านพื้นผิวกระดาษที่ต้องใช้เทคนิคสูงกว่าวิธีอื่น นิยมใช้กันมากสำหรับทำกระดาษที่ต้องการนำไปทำเป็นวัสดุพิมพ์ในงานพิมพ์คุณภาพสูง การเคลือบผิวกระดาษทำโดยใช้น้ำยาเคลือบผิว ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ผงแร่สีขาว และสารยึดติด เคลือบไปบนผิวกระดาษ โดยใช้เครื่องเคลือบ ส่วนผสมของแร่ประมาณร้อยละ 50-70 ของน้ำหนักรวม ผงแร่ที่ใช้ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ดินขาว และไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) สารยึดติดได้แก่ แป้ง เคซีน (Casein) และกาวลาเท็กซ์ (Latex) เมื่อน้ำยาเคลือบไปเคลือบบนผิวกระดาษ ผงแร่ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเส้นใยมากจะไปอุดรูระหว่างเส้นใย ทำให้กระดาษมีผิวเรียบขึ้น การเคลือบผิวกระดาษอาจทำแบบหน้าเดียวหรือสองหน้าก็ได้หรืออาจเคลือบแบบผิวด้าน (Maltte Surface) หรือแบบผิวมัน (Gloss Surface) ถ้าต้องการให้กระดาษเคลือบมีความมันวาวสูงต้องผ่านกระดาษเคลือบเข้าสู่เครื่องขัดผิวอีกครั้งหนึ่ง เครื่องเคลือบที่ใช้มีหลายชนิด เรียกตามอุปกรณ์ที่ใช้ปาดหน้ากระดาษ เช่น ใบมีดปาด

2.3.3.4 การขัดผิว

การขัดผิวเป็นการปรับปรุงผิวกระดาษโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผิวกระดาษมีความมันวาวสูง โดยผ่านกระดาษที่เคลือบผิวเข้าสู่เครื่องขัดผิว ซึ่งประกอบด้วยแถวของลูกกลิ้งทรงกระบอกเรียงซ้อนกันอยู่ กระดาษเคลือบจะวิ่งผ่านลูกกลิ้งทรงกระบอกเรียงซ้อนกันอยู่ กระดาษเคลือบจะวิ่งผ่านไประหว่างลูกกลิ้งดลหะไร้สนิม และลูกกลิ้งโลหะที่หุ้มด้วยผ้าฝ้ายหรือพลาสติกซึ่งมีลักษณะนุ่มกว่าโดยวางซ้อนสลับกัน กระดาษที่ได้จะมีความมันวาวสูงเหมาะสำหรับการนำไปเป็นวัสดุพิมพ์ของงานพิมพ์คุณภาพสูง

2.4 คุณสมบัติของกระดาษ

2.4.1 ลักษณะทางโครงสร้างของกระดาษ (Structural Properties)

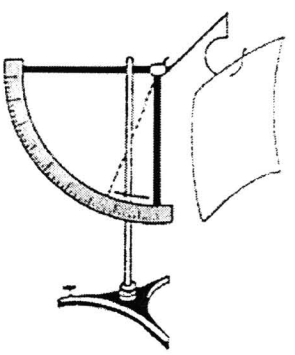
กระดาษเป็นแผ่นวัสดุซึ่งมิได้มีเนื้อเดียวกัน และมีความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษไม่เท่ากันตลอดทั้งแผ่น ทั้งนี้เพราะโครงสร้างของกระดาษประกอบขึ้นจากการสานตัวของเส้นใยและมีสารเติมแต่งอุด

ช่องระหว่างเส้นใย ลักษณะทางโครงสร้างของกระดาษจึงเป็นตัวบ่งชี้การจัดเรียงตัวขององค์ประกอบต่างๆ ภายในเนื้อกระดาษ เช่น การกระจายตัวของเส้นใยทิศทางการเรียงตัวในแนวขนานเครื่องของเส้นใย ซึ่งจะมีผลต่อสมบัติอื่นๆ ของกระดาษด้วย

2.4.1.1 น้ำหนักมาตรฐาน (Basis Weight หรือ Grammage)

น้ำหนักมาตรฐาน หมายถึง น้ำหนักของกระดาษต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่เก็บในสภาวะอุณหภูมิและความชื้นที่ได้มีการควบคุมตามมาตรฐานกำหนด น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษจะเป็นประโยชน์ในด้านการควบคุมการผลิตกระดาษ โดยจะควบคุมปริมาณเนื้อกระดาษที่ใช้ หน่วยที่ใช้วัดน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษจะเป็นกรัมต่อตารางเมตร ตามระบบสากลทั่วไป แต่บางประเทศจะมีการใช้เป็นหน่วยปอนด์ต่อตารางฟุต หรือ ปอนด์ต่อ 3,000 ตารางฟุต

ในปัจจุบันมาตรฐาน ISO และ TAPPI ซึ่งเป็นมาตรฐานในการทดสอบกระดาษให้ใช้คำว่า "แกรมเมจ" (Grammage) แทนน้ำหนักมาตรฐาน



รูปที่ 2.5 แสดงเครื่องมือที่ใช้วัดน้ำหนักมาตรฐาน

2.4.1.2 ความหนา (Thickness)

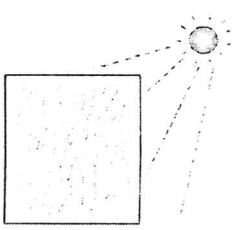
หมายถึง ระยะห่างที่ตั้งฉากระหว่างผิวด้านบนและผิวด้านล่างของกระดาษ ภายใต้สภาวะการทดสอบที่กำหนด หน่วยที่ใช้ในสหรัฐอเมริกาจะระบุเป็นนิ้ว (Inch) หรือมิล (Mill) ในระบบ SI จะวัดเป็นหน่วยไมโครเมตร (Micrometer) แต่ส่วนใหญ่จะวัดเป็นมิลลิเมตร (Millimeter) ความหนาของกระดาษจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ น้ำหนักมาตรฐาน แรงกดของลูกกดขณะเดินแผ่น การบดเยื่อและชนิดของเยื่อที่ใช้ ความหนาแน่นปกติได้จากความสัมพันธ์ระหว่างมวลต่อปริมาตร สำหรับในวงการกระดาษจะหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและน้ำหนักมาตรฐานได้เป็นความหนาแน่นเสมือน (Apparent Density) ซึ่งจะเป็นการเปรียบเทียบหาความหนาแน่นของกระดาษที่ระดับน้ำหนักมาตรฐานเดียวกัน อาจมีความหนาไม่เท่ากัน ซึ่งสามารถหาได้ ดังนี้

น้ำหนักกระดาษ		49	กรัมต่อตารางเมตร
ความหนา		0.085	มิลลิเมตรหรือ $8.5x10^{-5}$ เมตร
ความหนาแน่นเสมือนเท่ากับ		49/0.085	กรัมต่อลูกบาศก์เมตร
	หรือ	576,470.58	กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

หน่วยของความหนาแน่นเสมือนที่นิยมใช้ในระบบ SI จะกำหนดเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้น ความหนาแน่นเสมือนที่ได้ของกระดาษชนิดนี้จะเป็น 576 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ฉะนั้นกระดาษที่มีน้ำหนักเท่ากัน แต่มีความหนาของกระดาษต่างกัน กระดาษที่มีความหนามากจะให้ค่าความหนาแน่นเสมือนน้อย

2.4.1.3 ความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ (Formation)

ความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ หมายถึง ความแตกต่างของปริมาณเส้นใยที่เกี่ยวประสานหรือเกิดพันธะเคมีต่อกันในแต่ละบริเวณของกระดาษ นับว่าเป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับกระดาษพิมพ์ เมื่อนำกระดาษเนื้อไม่สม่ำเสมอกัน (Wild Formation) ไปพิมพ์จะให้งานที่มีคุณภาพไม่ดี ความไม่สม่ำเสมอกันของเนื้อกระดาษเกิดขึ้นจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกระดาษ เช่น เส้นใย สารเติมแต่งต่างๆ ที่นำมาผสมกันมีความแตกต่างกันในขนาด รูปร่าง ความหนาแน่น ดัชนีหักเหของแสง และองค์ประกอบทางเคมี นอกจากนี้ยังขึ้นกับขั้นตอนการผสมและการเดินแผ่น ซึ่งล้วนแต่มีผลต่อการกระจายตัวและจับตัวของสารผสมเหล่านี้ทั้งสิ้น



รูปที่ 2.6 แสดงวิธีตรวจสอบความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ (Formation)

การตรวจสอบความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษสามารถทำได้ โดยการยกขึ้นส่องกับแสงสว่าง ถ้ากระดาษมีความสม่ำเสมอต่ำ (Poor Formation) จะเห็นการกระจายตัวของเนื้อกระดาษไม่เสมอกัน ปรากฏภาพเป็นดวงๆ เป็นทางๆ เป็นฝ้านม หรือมองดูคล้ายก้อนเมฆ ความสม่ำเสมอของกระดาษมีผลต่อสมบัติของกระดาษทั้งทางเชิงกล และทางแสง ในเชิงปริมาณจะนิยามความสม่ำเสมอชองเนื้อกระดาษว่าเป็นสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษพื้นที่ขนาดจิ๋ว (100 ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน /น้ำหนักมาตรฐานเฉลี่ย) ปัจจุบันยังไม่มีวิธีวัดที่กำหนดเป็นมาตรฐาน

2.4.1.4 ทิศทางของเส้นใย (Directionality)

หมายถึง แนวหรือทิศทางการเรียงตัวของเส้นใยเซลลูโลสในกระดาษ ในการผลิตกระดาษเส้นใยจะเรียงตัวในแนวราบเป็นส่วนใหญ่ ถ้าแบ่งตามทิศทางของเครื่องจักรสามารถแบ่งได้เป็น 2 แนว คือ แนวขนานเครื่อง (Machine Direction, MD) หรือแนวเกรน (Grain Direction) และแนวขวางเครื่อง (Cross Direction, CD) หรือแนวขวางเกรน (Cross-Grain Direction) โดยเส้นใยจะเรียงตัวตามแนวขนานเครื่อง (MD) มากกว่าแนวขวางเครื่อง (CD) จากการที่ทิศทางของเส้นใยเรียงตัวในแนวขนานเครื่องมากกว่าแนวขวางเครื่อง ทำให้สมบัติทางเชิงกลของกระดาษทั้งสองแนวแตกต่างกัน (Paper Anisotropy)

การตรวจสอบแนวเกรนของกระดาษมีความสำคัญมากในขั้นตอนการนำกระดาษไปแปรรูป ยกตัวอย่างเช่น การหักพับ เซาะร่อง สามารถทำได้ง่ายในแนวขนานเครื่อง และค่าความทรงรูปในแนวขนานเครื่องที่สูงกว่ามีประโยชน์ในการออกแบบแฟ้ม หรือบรรจุภัณฑ์ต่างๆ การตรวจสอบแนวเกรนของกระดาษ อาจทำได้โดยวิธีง่ายๆ ดังนี้

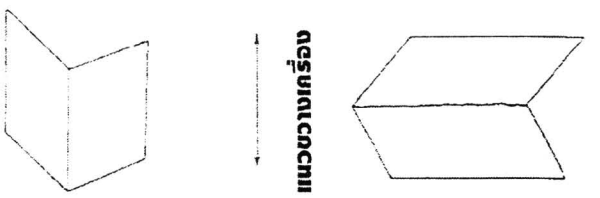
1. การตรวจสอบการโค้งงอ (Curl Test) ตัดกระดาษเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 2 x 2 ตารางนิ้ว แล้วใช้น้ำทาเพียงด้านเดียว กระดาษจะงอตามแนวขวางเครื่อง

รูปที่ 2.7 แสดงการตรวจสอบทิศทางของเส้นใยโดยดูการโค้งงอของกระดาษ

2. การตรวจสอบโดยการฉีกกระดาษ ถ้าเป็นแนวขนาดเครื่องจะฉีกได้ง่ายกว่า และแนวตรงกว่าการฉีกในแนวขวางเครื่อง

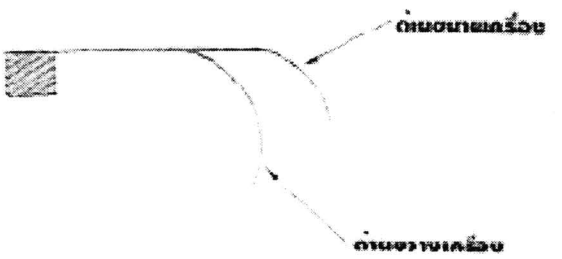
รูปที่ 2.8 แสดงการตรวจสอบทิศทางของเส้นใยโดยการฉีกกระดาษ

3. การตรวจสอบโดยการพับกระดาษ (Folding Test) ถ้าเป็นแนวขนานเครื่องรอยพับจะเรียบกว่าแนวขวางเครื่อง สำหรับแนวขวางเครื่องนั้นเมื่อพับแล้วจะเป็นรอยแตกหัก และไม่เรียบ ถ้าเป็นกระดาษแข็งสามารถสังเกตเห็นรอยแตกหักได้ชัดเจน



รูปที่ 2.9 แสดงการตรวจสอบทิศทางของเส้นใยโดยการพับกระดาษ

4. การตรวจสอบโดยการดูความทรงรูป (Relative Stiffness) โดยการตัดกระดาษให้มีความกว้าง และความยาวเท่ากัน ปล่อยให้กระดาษโค้งงอโดยน้ำหนักตัวเองหรือแรงจากภายนอกเท่ากันมากระทำ พบว่า ถ้าเป็นแนวขวางเครื่องจะโค้งงอได้มากกว่าแนวขนานเครื่อง



รูปที่ 2.10 แสดงการตรวจสอบทิศทางของเส้นใยโดยดูความทรงรูป

2.4.1.5 ความแตกต่างของผิวกระดาษสองด้าน (Two-Sidedness)

สองด้านของผิวกระดาษที่กล่าวถึง คือ ด้านตะแกรง (Wire Side, WS) และด้านสักหลาด (Felt Side, FS) ด้านตะแกรง หมายถึง ผิวของกระดาษด้านที่สัมผัสกับตะแกรงลวดในเครื่องเดินแผ่น ด้านตะแกรงมักมีรอยตะแกรงปรากฏให้เห็น ด้านสักหลาด หมายถึง ด้านที่อยู่ตรงข้ามกับด้านตะแกรง หรือเป็นด้านบนเวลาทำแผ่นกระดาษ ที่จริงแล้วควรเรียกว่า ด้านบน (Top Side) มากกว่า ในส่วนตะแกรงลวดเดินแผ่นจะมีการสั่นสะเทือนของเครื่องเพื่อไม่ให้เส้นใยจับกลุ่มกันและในส่วนตะแกรงลวดเดินแผ่นนี้ น้ำเยื่อจะเริ่มก่อตัวเป็นแผ่นด้วยกระบวนการกรองและมีการแยกน้ำออก ซึ่งในการแยกน้ำออกจะมีอุปกรณ์ลมดูดต่างๆ ซึ่งจะดูดเอาส่วนเยื่อละเอียด หรือสารเติมแต่งต่างๆ หลุดไปพร้อมกับน้ำด้วย

เมื่อมองในทิศทางของ Z (Z–Direction) หรือภาคตัดขวางของกระดาษทั้งแผ่น จะเห็นว่าผิวกระดาษทั้งสองด้านมีองค์ประกอบต่างๆ แตกต่างกัน คือ ด้านบนหรือด้านสักหลาดจะมีส่วนของเยื่อละเอียด (Fine) และส่วนที่ไม่ใช้เส้นใยอยู่มาก ในขณะที่ด้านล่างหรือด้านตะแกรงจะมีส่วนที่เป็นเส้นใย และมีการจัดเรียงตัวตามแนวเกรนของเครื่องมากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากด้านตะแกรงนั้น ส่วนของเยื่อละเอียดและอนุภาคของสารเติมแต่งต่างๆ สามารถลอดผ่านตะแกรงไปได้ ผิวกระดาษด้านตะแกรงจะหยาบกว่าด้านสักหลาด โดยความแตกต่างของผิวกระดาษทั้งสองด้านจะมีผลต่อความเรียบ การดูดซึมน้ำและน้ำมัน โดยเฉพาะในด้านการพิมพ์ความแตกต่างของผิวกระดาษไม่ควรแตกต่างกันมากนัก ดังนั้นในการผลิตกระดาษปัจจุบันจะพยายามปรับความแตกต่างของผิวกระดาษ โดยมีการผลิตตะแกรงที่มีความเรียบสูงขึ้น ซึ่งวิธีตรวจสอบผิวกระดาษว่าด้านไหนเป็นด้านตะแกรงหรือด้านสักหลาด สามารถทำได้ 2 วิธี ดังนี้

1. การสังเกตว่าด้านไหนที่แสดงรอยตะแกรงจะเป็นด้านตะแกรง (WS)

2. การตรวจสอบโดยการฉีกขาดที่มุม และสังเกตรอยฉีกขาด โดยคว่ำกระดาษให้ด้านหนึ่งขนานกับพื้นแล้วฉีกที่มุม ถ้ารอยฉีกบริเวณมุมเป็นแนวกว้างของการลอกออกของเส้นใยมาก แสดงว่าเป็นด้านตะแกรง เพื่อให้แน่ใจลองพลิกกระดาษในด้านตรงข้ามแล้วฉีกที่มุมเทียบรอยที่ได้

2.4.1.6 ความพรุนของกระดาษ (Porosity)

กระดาษที่เรามองเห็นนั้นไม่ใช่ว่าจะทึบไปทั่วแผ่นจริงๆ แล้วมีลักษณะเป็นรูพรุนเล็กๆ อยู่ภายในแผ่นกระดาษ ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นเส้นใย และส่วนที่ไม่ใช้เส้นใย กระดาษโดยทั่วไปจะมีอากาศอยู่ประมาณร้อยละ 50 โดยปริมาตร อัตราส่วนของปริมาตรรูพรุนต่อปริมาตรทั้งหมดของแผ่นกระดาษนั้น เรียกว่า ความพรุนของกระดาษ วิธีวัดความพรุนของกระดาษโดยตรงทำได้ค่อนข้างยาก โดยทั่วไปจะใช้วัดเทียบกับค่าการยอมให้อากาศไหลผ่าน โดยวัดจากปริมาตรอากาศ (Total Volume) ที่นามารถไหลผ่านกระดาษในหนึ่งหน่วยเวลา ในสภาวะการทดสอบมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที ความพรุนของกระดาษจะแสดงถึงความต้านทานอากาศที่สามารถผ่านได้ด้วย ถ้ากระดาษมีความพรุนมาก หมายถึง ความต้านทานอากาศผ่านจะน้อย ความต้านทานอากาศซึมผ่านมีความสำคัญมากต่อการใช้งาน เช่น ถุง กระดาษ กระดาษทิชชู กระดาษกรอง กระดาษกันน้ำมัน เครื่องที่ใช้วัดความพรุนของกระดาษที่ใช้กันอยู่มีหลายแบบ เช่น เครื่องเบนท์เซน (Bentsen) และเกอร์เลย์ (Gurly) เครื่องเกอร์เลย์เป็นการวัด โดยการกำหนดให้อากาศคงที่ เวลาเปลี่ยนหน่วยที่ใช้วัดจะเป็นเวลาต่อปริมาตรอากาศ ซึ่งหลักการจะแตกต่างจากของเบนท์เซน ที่เป็นการวัดการต้านทานอากาศ โดยวัดเป็นปริมาณอากาศที่ไหลผ่านในระยะเวลาที่กำหนด หน่วยที่จะวัดเป็นปริมาตรต่อเวลา

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

2.4.1.7 ความเรียบของผิวกระดาษ (Smoothness)

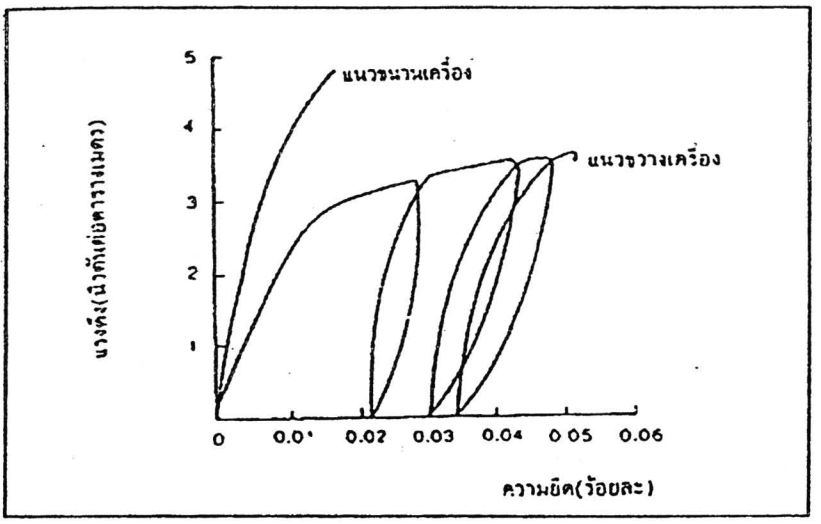
เป็นลักษณะผิวกระดาษที่สัมพันธ์กับความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษและความเรียบหยาบของผิวกระดาษทั้งสองด้าน ความเรียบมีความสำคัญ โดยเฉพาะทางด้านการพิมพ์ โดยจะแปรไปตามกระบวนการ และวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต การใช้เส้นใยสั้น ส่วนละเอียด และตัวเติมมากขึ้นจะเพิ่มความเรียบของผิวกระดาษ นอกจากนี้การรีดผิว เคลือบผิว ขัดผิว ก็มีผลต่อการเพิ่มความเรียบของผิวกระดาษเช่นกัน การวัดความเรียบใช้วิธีการวัดเช่นเดียวกับการวัดความพรุน ความเรียบของผิวกระดาษที่ใช้วัดได้จะขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการ คือ ความหยาบของผิวกระดาษ ความราบของผิวกระดาษ และการยุบตัวเมื่อรับแรงกด

2.4.2 สมบัติทางเชิงกลของกระดาษ (Mechanical Properties)

สมบัติเชิงกลของกระดาษเป็นตัวบ่งชี้ถึงศักยภาพในการใช้งานของกระดาษซึ่งหมายถึง การที่กระดาษมีความทนทานต่อการใช้งาน (Durability) และความสามารถในการต้านทานแรงที่มากระทำในลักษณะต่างๆ เช่น แรงดึง แรงเฉือน แรงบิด และแรงที่ทำให้กระดาษโค้งงอ ซึ่งแรงเหล่านี้เกิดขึ้นในหลายขั้นตอนตั้งแต่การผลิตกระดาษ การแปรรูปจนถึงการใช้งานกระดาษจะตอบสนองแรงที่มากระทำเหล่านี้ได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของกระดาษ ซึ่งสามารถวัดออกมาในรูปของสมบัติเชิงกลได้ ดังนั้นในการเลือกกระดาษเพื่อนำไปใช้งานจะต้องคำนึงถึงสมบัติทางเชิงกลของกระดาษด้วย ซึ่งสมบัติเชิงกลของกระดาษ แบ่งเป็น 2 ประเภท

2.4.2.1 สมบัติทางเชิงกลพื้นฐาน (Fundamental Mechanical Properties)

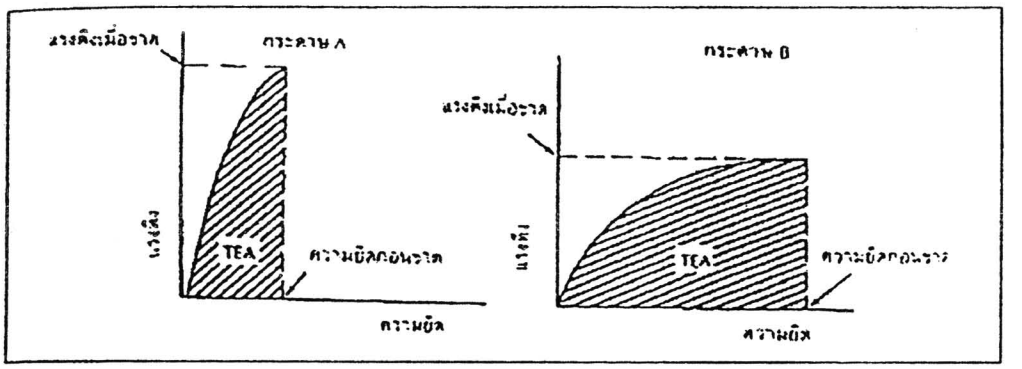
สมบัติทางเชิงกลที่บ่งบอกถึงพฤติกรรมของกระดาษที่เกิดขึ้นในขณะที่ได้รับแรงดึง ซึ่งกระดาษแต่ละชนิดจะมีพฤติกรรมในลักษณะเดียวกัน ซึ่งสามารถอธิบายได้ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเค้น และแรงเครียด (Stress-Strain Plot) ความเค้น (Stress) ในที่นี้ หมายถึง แรงที่กระทำให้วัตถุเกิดการยืดตัว ยกตัวอย่างเช่น แขวนตุ้มน้ำหนักไว้ที่ปลายลวด ลวดได้รับแรงดึงทำให้เกิดการยืดตัวขึ้น แรงที่กระทำเรียกว่า เทนไซส์สเตรศ (Tensile Stress) มีหน่วยเป็น แรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เช่น นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2) ความเครียด (Strain) ในที่นี้ หมายถึง การยืดตัวของวัตถุเมื่อถูกแรงดึง หน่วยที่ใช้เป็นร้อยละ โดยคิดจากความยาวที่เพิ่มขึ้นต่อความยาวเดิมของวัตถุ เช่น วัตถุเดิมยาว 100 มิลลิเมตร หลังจากได้รับแรงดึงมีความยาวเพิ่มขึ้นเป็น 105 มิลลิเมตร ดังนั้นวัตถุนี้จะมีความเครียด หรือความยืดเท่ากับร้อยละ 5 โดยพฤติกรรมของกระดาษอธิบายจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดได้ ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดของกระดาษ
ที่มา: วัสดุทางการพิมพ์, รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์, หน้า 37

จากภาพจะเห็นว่า ค่าแรงดึงของแนวขนานเครื่องจะสูงกว่าแนวขวางเครื่อง และความยืดตัวของแนวขวางเครื่องจะสูงกว่าแนวขนานเครื่อง อันเป็นผลเนื่องมาจากการเรียงตัวของเส้นใย ที่ระดับความยืดร้อยละ 0.005 ของกระดาษทุกชนิด ค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึง และแรงยืด จะเป็นสมการเส้นตรง โดยเมื่อได้รับแรงดึงของกระดาษจะมีการยืดตัวออก และสามารถหดตัวกลับไปที่ความยาวเดิมได้เมื่อเอาแรงออกเรียกพฤติกรรมนี้ของกระดาษว่า พฤติกรรมที่ยืดหยุ่นได้ (Elastic Behavior) แต่ที่ระดับความยืดตัวสูงกว่านี้กระดาษจะแสดงสมบัติคล้ายพลาสติก คือ เมื่อได้รับแรงดึงกระดาษจะยืดออกแล้วไม่สามารถหดตัวกลับไปที่ความยาวเดิมได้เมื่อเอาแรงออก ซึ่งเป็นลักษณะการยืดตัวของพลาสติก ที่ระดับความยืดร้อยละ 0.022 หรือ 0.03 ซึ่งเป็นวงจรที่สอง และสามของการยืดตัวของกระดาษ (Straining-Destraining Cycles) ในช่วงวงจรนี้ กระดาษยืดตัวออกโดยมีแรงกระทำที่คงที่ แต่ไม่สามารถหดตัวกลับไปที่ความยาวเดิมได้เมื่อเอาแรงออก จะเห็นได้ว่ากระดาษสามารถแสดงสมบัติทั้งของยางและพลาสติกได้เมื่อได้รับแรงดึง (Viscoselastic)

จากเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึง และค่าความยืดตัว สามารถจัดสมบัติเชิงกลพื้นฐาน โดยพิจารณาจากพื้นที่ใต้เส้นโค้งของแรงดึง และความยืดตัว หรือทีอีเอ (Tensile Energy Absorption, TEA) มีหน่วยเป็นพลังงานต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เช่น จูลต่อตารางเมตร (J/m^2) กระดาษแต่ละชนิดจะมีพื้นที่ภายใต้เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึง และความยืดตัวต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น รูปที่ 2.16 กระดาษ 2 ตัวอย่าง A และ B จะมีค่าทีอีเอ (TEA) ไม่เท่ากัน



รูปที่ 2.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึง และความยืดของกระดาษ A และ B
ที่มา: วัสดุทางการพิมพ์, รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์, หน้า 38

กระดาษ A มีค่าแรงดึงสูงกว่ากระดาษ B แต่กระดาษ B จะมีค่าทีอีเอ (TEA) สูงกว่า กระดาษ A ซึ่งมีแรงดึงสูงกว่า ทั้งนี้เพราะกระดาษ B มีค่าความยืดสูงกว่าจึงให้ค่าทีอีเอ (TEA) เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากค่าแรงดึง และความยืดตัว

2.4.2.2 สมบัติทางเชิงกลประยุกต์ (Applied Mechanical Properties)

สมบัติทางเชิงกลประยุกต์เป็นสมบัติของกระดาษที่บ่งชี้ถึงค่าความต้านทานแรงที่มากระทำต่อกระดาษในหลายลักษณะจนกระดาษขาด ได้แก่ แรงดึง แรงฉีก และแรงเฉือน สมบัติทางเชิงกลของกระดาษ ได้แก่ ความต้านแรงดึง และการยืดตัว ความต้านแรงดันทะลุ ความต้านแรงฉีกขาด ความทนต่อการพับขาด และความทรงรูป สมบัติทางเชิงกลเหล่านี้ ยกเว้นความต้านแรงดันทะลุจะขึ้นอยู่กับทิศทางการเรียงตัวของเส้นใยว่าจะเป็นแนวขนานเครื่อง หรือแนวขวางเครื่อง โดยทิศทางของเส้นใยจะทำให้ค่าสมบัติทางเชิงกลของกระดาษตามแนวขนานเครื่อง และขวางเครื่องแตกต่างกัน เช่น ความต้านแรงดึงขาดในแนวขนานเครื่องจะมีค่ามากกว่าแนวขวางเครื่อง หรือความต้านทานแรงฉีกขาดในแนวขนานเครื่องจะมีค่าน้อยกว่าแนวขวางเครื่อง การทดสอบสมบัติเชิงกลเหล่านี้ มีความหมายต่อการนำไปใช้งาน และการตรวจสอบด้านคุณภาพ

1. ความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) และการยืดตัว (Elongation) ความต้านแรงดึง หมายถึง ความสามารถในการรับแรงดึงสูงสุดที่กระดาษจะทนได้ก่อนจะขาดออกจากกัน มีหน่วยเป็นแรงต่อความกว้างของกระดาษที่ใช้ทดสอบ เช่น กิโลนิวตันต่อเมตร (kN/m^2) หรือปอนด์ต่อนิ้ว (lb/in) โดยค่าที่วัดได้จะเป็นสิ่งที่บ่งชี้ให้เห็นถึงความทนทาน และศักยภาพในการใช้งานของกระดาษซึ่งต้องรับแรงในขณะใช้งาน เช่น เพื่อการห่อของ ทำถุง ทำม้วนเทป โดยทั่วไปแล้วค่าต่ำสุดของความต้านแรงดึงของกระดาษแต่ละชนิดต้องการเพียงเพื่อไม่ให้แผ่นกระดาษฉีกขาดระหว่างการแปรรูปเพื่อใช้งาน เช่น การใช้กระดาษม้วนป้อนงานพิมพ์ นอกจากนี้ยังนำไปใช้สำหรับกระดาษที่ต้องการความต้าน

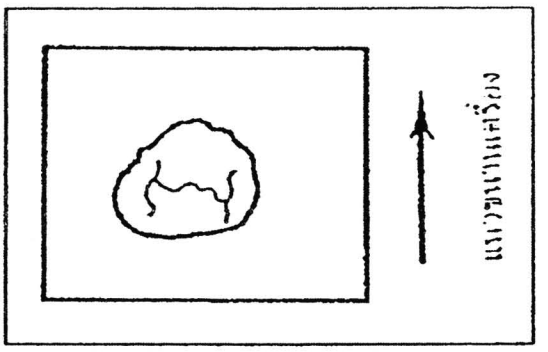
แรงดึงขาดเมื่อเปียก (Wet Tensile Strength) เพื่อให้แน่ใจว่ากระดาษไม่ยุ่ยง่ายเมื่อถูกน้ำในขณะใช้งาน โดยการตรวจสอบความต้านแรงดึงขาดขณะที่กระดาษยังเปียกอยู่

หลักการในการตรวจสอบความต้านแรงดึง นำกระดาษที่ได้รับการตัดแล้วตามมาตรฐานทดสอบโดยยึดไว้ระหว่างปากจับชิ้นทดสอบทั้งสอง ปากจับชิ้นทดสอบจะเคลื่อนที่ดึงจนชิ้นทดสอบขาด โดยดึงด้วยความเร็วคงที่ เครื่องทดสอบแบบนี้เรียกว่า แบบลูกตุ้ม (Pendulum Type) ที่วัดโดยปากกาจับข้างหนึ่งจะตรึงอยู่กับที่ ส่วนอีกข้างหนึ่งเคลื่อนที่ไปด้วยอัตราเร็วคงที่ เครื่องทดสอบแบบนี้เรียกว่า เครื่องทดสอบแบบอิเล็กทรอนิกส์

สมบัติการยืดตัวของกระดาษนับว่ามีความสำคัญมากดังที่ได้กล่าวในสมบัติทางเชิงกลพื้นฐานเกี่ยวกับค่าทีอีเอ (TEA) ของกระดาษแล้ว ค่าความยืดที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการเพิ่มทีอีเอ (TEA) ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกศักยภาพการใช้งานของกระดาษชนิดพิเศษที่ต้องการมีความยืดสูงมากพอที่จะทนแรงที่มากระทำได้ เช่น กระดาษที่ใช้ทำถุงหลายชั้น เพราะกระดาษที่มีความยืดตัวสูงจะไม่แตกเปราะง่าย การที่กระดาษมีค่าแรงดึงสูงเพียงอย่างเดียวไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ในลักษณะการใช้งานของกระดาษชนิดนี้ เพราะกระดาษจะเกิดการแตก เนื่องจากไม่มีความแข็งแรงพอจะรับแรงมาก จะทำให้เกิดการยืดตัวได้ ซึ่งความยืดตัวของกระดาษเพิ่มได้โดยเพิ่มการบดเยื่อ แต่ถ้าต้องการเพิ่มความยืดกระดาษให้สูงขึ้นอีกสามารถทำได้โดยทำให้กระดาษย่น ซึ่งเป็นการทำให้เกิดรอยย่นขนาดเล็ก (Microcrepe) บนผิวกระดาษยืดพิเศษ (Extensible Paper) กระดาษชนิดนี้จะให้ค่าทีอีเอ (TEA) สูง

2. ความต้านแรงดันทะลุ (Bursting Strength) ความต้านแรงดันทะลุ หมายถึง ความสามารถของกระดาษที่จะทนแรงดันได้สูงสุด เมื่อได้รับแรงกระทำในทิศทางตั้งฉากต่อผิวหน้ากระดาษ มีหน่วยเป็นกิโลปาสกาล (kPa) หรือ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรหรือปอนด์ต่อตารางนิ้ว ความต้านแรงดันทะลุนี้มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับความต้านแรงดึงในแนวขนานเครื่อง ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะการกระจายตัวของแรงที่มากระทำต่อชิ้นทดสอบ อธิบายได้ดังนี้

จากการที่พื้นที่ทดสอบมีลักษณะเป็นวงกลม ในการทดสอบเมื่อเครื่องทดสอบทำงาน แผ่นไดอะแฟรมจะถูกดันให้โป่งขึ้นจนทำให้กระดาษแตกทะลุ ก่อนที่กระดาษจะแตกออก กระดาษจะเกิดการแยกตัวออกไปในทุกทิศทุกทาง แต่เนื่องจากกระดาษมีความยืดในแต่ละทิศทางไม่เท่ากัน ดังนั้นความสามารถในการรับแรงที่มากระทำจึงไม่เท่ากันทุกทิศทาง แนวรอยแตกของชิ้นทดสอบที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะตั้งฉากกับแนวขนานเครื่องของกระดาษ เพราะกระดาษมีการยืดตัวในแนวที่ต่ำกว่าแนวขวางเครื่อง ด้วยเหตุนี้จึงสามารถบอกได้ว่า แนวรอยแตกเป็นแนวเดียวกันกับแนวขนานเครื่องของกระดาษ ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงรอยแตกของชิ้นทดสอบในการทดสอบความต้านแรงดันทะลุ
ที่มา: วัสดุทางการพิมพ์, รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์, หน้า 41

กระดาษที่จำเป็นต้องตรวจสอบความต้านแรงดันทะลุ จะเกี่ยวข้องกับการบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ กระดาษผิวกล่อง (Linerboard) ซึ่งจะนำมาใช้ผลิตผิวกระดาษลูกฟูก (Corrugated Board) หรือกล่องที่ใช้เพื่อการขนส่ง (Shipping Container) หลักการในการตรวจสอบความต้านทานแรงดันทะลุ วางชิ้นทดสอบระหว่างปากจับบน และล่างซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นวงกลมมีช่องกลมตรงกลาง แล้วเดินเครื่องทำงาน กลีเซอลีน (อยู่ภายในตัวเครื่อง) จะดันแผ่นยางไดอะแฟรมจนโป่งขึ้นดันจนกระดาษแตกทะลุ

3. ความต้านแรงฉีกขาด (tearing strength) ความต้านแรงฉีกขาด หมายถึง ความสามารถของกระดาษที่จะต้านแรงกระทำ ซึ่งจะทำให้ชิ้นทดสอบหนึ่งชิ้นขาดออกจากรอยฉีกนำเดิม หน่วยที่วัดได้เป็นมิลลินิวตัน (mN) หรือกรัม (gram) กระดาษที่จำเป็นที่จะต้องตรวจสอบความต้านแรงฉีกขาด ได้แก่ กระดาษทำถุง กระดาษพิมพ์และเขียน หลักการในการตรวจสอบความต้านแรงฉีกขาดทำโดยใส่ชิ้นทดสอบที่มีขนาดตามมาตรฐานกำหนด ในระหว่างปากจับบนแท่นเครื่อง และบนลูกตุ้ม ซึ่งเคลื่อนที่ได้ ใช้ใบมีดตัดชิ้นทดสอบเป็นการฉีกนำยาวประมาณ 2 เซนติเมตร ทำการทดสอบโดยปล่อยให้ลูกตุ้มเคลื่อนที่ ชิ้นทดสอบจะฉีกขาด ความต้านแรงฉีกขาดนี้ขึ้นกับความยาวของเส้นใยเซลลูโลสเป็นสำคัญ โดยเส้นใยยาวมีความต้านแรงฉีกขาดมากกว่าเส้นใยสั้น การเพิ่มปริมาณการบดเยื่อก็มีผลทำให้ความต้านแรงฉีกขาดของกระดาษเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามหากบดเยื่อมากเกินไปจนทำให้เส้นใยมีขนาดสั้นลงมาก ความต้านแรงฉีกขาดของกระดาษก็จะลดน้อยลง แม้ว่าเส้นใยเซลลูโลสจะเกิดพันธะกันได้ก็ตาม ทั้งนี้กระดาษในแนวขนานเครื่องมีความต้านแรงฉีกขาดน้อยกว่ากระดาษในแนวขวางเครื่อง

4. ความทนต่อการพับขาด (Fold Endurance) ความทนต่อการพับขาด หมายถึง จำนวนการพับไปพับมา (Double Folds) ของชิ้นทดสอบจนกระทั่งชิ้นทดสอบขาดออกจากกันภายใต้แรงที่กำหนด หน่วยที่ใช้เป็นจำนวนครั้ง หรือ $\log_{10}$ ค่าความทนทานต่อการพับขาดในแนวขนานเครื่องสูงกว่าแนวขวางเครื่อง ความทนต่อการพับขาดจะเป็นการคิดที่รวมความต้านแรงดึง การยืดตัว การแยกชั้นของกระดาษ และความต้านทานแรงกด ซึ่งจะชี้ให้เห็นถึงอายุการใช้งานของกระดาษ เช่น กระดาษ

ปก หลักการในการตรวจสอบความทนต่อการพับขาดที่จะทำโดยยึดปลายข้างหนึ่งของชิ้นทดสอบด้วยแรงคงที่ ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งถูกจับด้วยปากจับ แล้วพับไปมาด้วยความเร็วคงที่ และองศาตามมาตรฐานกำหนด จนกระทั่งชิ้นทดสอบขาด

5. ความทรงรูป (Stiffness) ความทรงรูป หมายถึง ความสามารถของกระดาษที่จะต้านทานแรงที่มากระทำให้กระดาษโค้งงอด้วยน้ำหนักกระดาษจากภายนอก หน่วยที่ใช้เป็น นิวตัน หรือนิวตันต่อเมตร หรือหน่วยอื่นที่เกี่ยวข้อง ซึ่งความต้องการค่าความทรงรูปของผู้ใช้งานอาจสูง หรือต่ำก็ได้ตามความเหมาะสมของกระดาษ เช่น กระดาษสำหรับการพิมพ์ระบบป้อนเป็นแผ่น กระดาษแข็งชนิดต่างๆ เช่น กระดาษแฟ้มปกแข็ง กระดาษการ์ดต่างๆ เช่น กระดาษโปสเตอร์ กระดาษทำถ้วย นอกจากนี้สมบัติด้านความทรงรูปของกระดาษนับเป็นสมบัติทางเชิงกลที่สำคัญที่สุดของกระดาษบรรจุภัณฑ์ ทั้งนี้เพื่อให้บรรจุภัณฑ์สามารถต้านทานการเสียรูป หรือการโป่งพองของสินค้า (Bulging) ในขณะบรรจุ และตั้งวางอยู่บนชั้นวางสินค้า หลักในการตรวจสอบ ใส่ชิ้นทดสอบในปากจับ ทำการทดสอบโดยแรงกระทำจะทำให้กระดาษโค้งงอไปเป็นมุม 7.5 องศา หรือ 15 องศา แล้วแต่ชนิดกระดาษ

2.4.3 สมบัติด้านทัศนศาสตร์ของกระดาษ (Optical Properties)

สมบัติด้านทัศนศาสตร์ หมายถึง สมบัติทางแสงของกระดาษที่ปรากฏแก่สายตา ได้แก่ ความขาวสว่าง (Brightness) ความทึบแสง (Opacity) สี (Color) ความมันวาว (Gloss) สมบัติเหล่านี้ของกระดาษไม่สามารถวัดค่าออกมาโดยอาศัยหลักการทางฟิสิกส์เพียงอย่างเดียวได้ แต่จะต้องประกอบด้วยหลักการทางจิตศาสตร์ร่วมด้วย ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการมองเห็นของสายตามนุษย์ ซึ่งต้องอาศัยดวงตาในการสังเกต และสมองตัดสินการรับรู้ในการมองเห็นอีกครั้ง ดังนั้นในการวัดค่าเกี่ยวกับสมบัติทางด้านทัศนศาสตร์จึงต้องประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนในการพิจารณา คือ แหล่งกำเนิดแสง กระดาษที่ถูกส่องสว่าง และดวงตามนุษย์ หรือเครื่องวัดแสงที่ทำหน้าที่สังเกตการณ์ และแปรผลของการสะท้อนแสง หรือการส่องผ่านของแสงที่กระทำต่อกระดาษ

สมบัติทางด้านทัศนศาสตร์ที่ปรากฏแก่สายตาทั้งหมดเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างแสงกับกระดาษ คือ เมื่อแสงตกกระทบแผ่นกระดาษจะเกิดปรากฏการณ์ 4 อย่าง การสะท้อนแสง การกระเจิงของแสง และการส่องผ่านของแสง ซึ่งสมบัติทางด้านทัศนศาสตร์ของกระดาษได้แก่

2.4.3.1 ความขาวสว่าง (Brightness)

ในวงการอุตสาหกรรมกระดาษจะหมายถึง ค่าการสะท้อนแสงของแสงสีน้ำเงินที่ช่วงคลื่น 457 นาโนเมตรเท่านั้น จุดประสงค์เดิมของการวัดความขาวสว่าง เพื่อต้องการดูผลของการฟอกเยื่อที่สำคัญ เยื่อกระดาษที่ยังไม่ได้ฟอกส่วนมากจะมีสีน้ำตาลเข้มจนถึงเหลืองอ่อน อันเนื่องจากลิกนินจะดูดซับแสงสี

น้ำเงินไว้ ทำให้ค่าการสะท้อนแสงที่ได้ในช่วงแสงสีน้ำเงินมีค่าต่ำ แต่เมื่อนำเยื่อไป ฟอกโดยการขจัดลิกนิน หรือเปลี่ยนโครงสร้างแล้ว เยื่อฟอกขาวที่ได้จะให้ค่าการสะท้อนแสงสีน้ำเงินสูงขึ้นมาก

2.4.3.2 ความทึบแสง (Opacity)

ความทึบแสงของกระดาษ เป็นคุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับกระดาษพิมพ์และเขียน กระดาษจะต้องทึบแสงพอที่จะบังภาพ หรืออักษรที่อยู่ด้านหลังไม่ให้ปรากฏจนเกิดปัญหาในการอ่าน และความชัดเจนของสิ่งที่พิมพ์ ความทึบแสงสามารถวัดได้โดยเปรียบเทียบค่าการสะท้อนแสงสีเขียวที่ช่วงคลื่น 557 นาโนเมตร ระหว่างกระดาษแผ่นเดียวที่รองหลังด้วยพื้นดำสนิท กับกระดาษที่วางซ้อนกันหนาจนแสงไม่ผ่านทะลุ ความทึบแสง และความขาวสว่างต่างขึ้นกับปัจจัยสำคัญ 2 ประการ คือ การกระเจิงแสง และการดูดซับแสง กระดาษที่ใช้เยื่อที่มีความขาวสว่างสูงมาก อาจมีปัญหาด้านความทึบแสง เพราะเยื่อจะมีความทึบแสงน้อยลง การใช้ตัวเติมช่วยเพิ่มมากกระเจิงแสงในเนื้อกระดาษจะช่วยปรับปรุงความทึบแสงให้ดีขึ้นได้

2.4.3.3 ความมันวาว (Specular Gloss)

ความมันวาว เป็นสมบัติด้านทัศนศาสตร์อย่างหนึ่งของกระดาษเคลือบผิว (Coated Paper and Board) หรือกระดาษอาร์ต โดยหลักการความมันวาว หมายถึง ลักษณะของผิวกระดาษที่จะสะท้อน ณ มุมที่กำหนด โดยมุมสะท้อนเท่ากับมุมตกกระทบ สำหรับกระดาษนิยมให้เชิงมุม 75 องศา กับเส้นปกติ ถ้าแสงที่สะท้อนในเชิงมุม (Specular) ดังกล่าวมีมากกว่าแสงที่สะท้อนแบบทั่วไป (Diffuse) ผิวกระดาษจะดูมันวาวมาก อย่างไรก็ตามกระดาษบางประเภทที่มีความมันวาวมาก เช่น กระดาษชุบไข (Waxed Paper) อาจใช้มุมอื่นในการวัด เช่น 20 องศา ความมันวาวของกระดาษกับความเรียบของผิวกระดาษมิได้มีความสัมพันธ์กันเสมอไป ความมันวาวเป็นความพอใจของผู้ใช้มากกว่า ความจำเป็นต่อการใช้งาน กระดาษอาร์ตด้าน (Matt Art) ซึ่งมีความมันวาวต่ำก็สามารถให้ผลงานพิมพ์คุณภาพสูงได้

2.4.3.4 ความขาว (Whiteness) ความขาว เป็นสมบัติที่แตกต่างจากความขาวสว่าง คนจะรู้สึกว่ากระดาษ หรือวัสดุใดมีสีขาวกว่าอีกสิ่งหนึ่ง ถ้ากระดาษนั้นสะท้อนแสงในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นออกมาสม่ำเสมอ กว่าการย้อม (Tinting) กระดาษขาวด้วยสีม่วง หรือสีน้ำเงินให้ดูขาวขึ้นก็เพราะแสงสีเหลือง และแสงสีแดงถูกดูดซับไว้มากขึ้น จึงถูกสะท้อนออกมาน้อยลง หากวัดค่าความขาวสว่างจะพบว่าลดลงเล็กน้อย เนื่องจากสีที่ใส่ลงไปในกระดาษจะถูกดูดกลืนแสงไว้ แต่สีน้ำเงิน จะมีผลกระทบต่อค่าความขาวสว่างน้อยกว่าสีอื่น การใช้สารฟอกนวลในกระดาษ เป็นการช่วยให้กระดาษมีการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นสีม่วง และสีน้ำเงินมากขึ้น กระดาษจึงดูขาวขึ้นเมื่อดูด้วยแสงแดด หรือแสงที่มีปริมาณรังสีอัลตราไวโอเลตใกล้เคียงกับแสงธรรมชาติในเวลากลางวัน

2.4.4 สมบัติด้านการกีดกั้น และด้านการต้านทานของกระดาษ (Barrier and Resistance Properties)

สมบัติด้านการกีดกั้น (Barrier Properties) หมายถึง ความสามารถของกระดาษในการป้องกันการซึมผ่านของสารใดๆ เข้าไปในเนื้อกระดาษสมบัติด้านการต้านทาน (Resistance Properties) หมายถึง ความสามารถของกระดาษในการต้านทานการซึมผ่านของสารใดๆ เข้าไปในเนื้อกระดาษ

กระดาษหลายชนิดที่ใช้เพื่อการสื่อสาร และการบรรจุภัณฑ์ ต้องมีสมบัติด้านการต้านทาน เช่น กระดาษออฟเซต กระดาษทำถุง ต้องมีความต้านทานการดูดซึมน้ำสูง และกระดาษกันไขมัน (Greaseproof Paper) ต้องมีความต้านทานการดูดซึมไขมันสูง สำหรับกระดาษเพื่อบรรจุภัณฑ์ต้องมีสมบัติด้านการกีดกั้นสูงต่อของเหลว ไอน้ำ อากาศ ไขมัน และออกซิเจน เพื่อป้องกันสินค้าที่บรรจุอยู่ภายใน โดยกระดาษจะมีการดูดซึมสารเมื่อสารซึมทะลุผ่านเข้าไปในเนื้อกระดาษ ซึ่งภายในประกอบด้วยรูพรุน และรูปิดจำนวนมากมาย ซึ่งรูเหล่านี้มีผลต่ออัตราการไหลผ่านของกระดาษของสารซึมทะลุ

2.4.4.1 การไหลผ่านกระดาษ

อันตรกิริยาระหว่างกระดาษ และสารซึมทะลุ ซึ่งอาจเป็นของเหลวหรือแก๊สจะมีผลต่อการไหลผ่านกระดาษ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าสารซึมทะลุเป็นอากาศ หรือแก๊ส อากาศจะไหลผ่านกระดาษได้ง่ายหรือไม่จะขึ้นอยู่กับขนาดของรูภายในเนื้อกระดาษ อากาศชื้นจะมีการไหลผ่านกระดาษได้ดีกว่าอากาศแห้ง เพราะกระดาษจะดูดซึมความชื้นไว้ ทำให้เส้นใยบวมพองส่งผลให้กระดาษขยายตัว ซึ่งเป็นการเพิ่มขนาดของรูภายในเนื้อกระดาษ แต่ถ้าสารซึมทะลุเป็นของเหลวการไหลผ่านจะขึ้นอยู่กับขนาดของรู มุมสัมผัส ที่ของเหลวทำบนผิวกระดาษและเวลาที่ของเหลวทำให้กระดาษเปียก

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการไหลของของเหลวเข้าไปในเนื้อกระดาษ ได้แก่ รูปร่าง และขนาดของรู (Pore Structure and Size) มุมสัมผัสระหว่างผิวของของเหลว และผิวกระดาษ เวลาที่ทำให้เปียก (Wetting Time) การบวมพองของเส้นใย (Fiber Swelling) และการแพร่กระจาย (Diffusion)

2.4.4.2 การทำให้กระดาษมีสมบัติด้านการต้านทาน

การทำให้กระดาษมีสมบัติด้านการต้านทานสามารถทำได้ 2 ลักษณะ ขึ้นอยู่กับความต้องการให้กระดาษต้านทานของเหลวชนิดใด เช่น น้ำมัน ไขมัน และความชื้น สามารถทำได้ ดังนี้

1. วิธีทางเชิงกล โดยการบดเยื่อหนักจนเส้นใยแตกแขนง และเกิดเส้นฝอยมากมาย ซึ่งมีผลทำให้เพิ่มความแข็งแรงของพันธะระหว่างเส้นใย เมื่อนำเยื่อไปทำกระดาษจะได้กระดาษเนื้อแน่น และ

บางใส สามารถต้านทานการซึมทะลุของน้ำมัน และไขมันได้ดี กระดาษชนิดนี้ได้แก่ กระดาษกลาสซีน (Glassine Paper) และกระดาษกรีซปรู๊ฟ (Greaseproof Paper)

2. วิธีทางเคมี หรือที่เรียกว่าการทำพาชเม็นท์ไทเซชั่น (Parchmentization) โดยการนำกระดาษไปผ่านในสารละลายซัลฟูริกจะละลายเซลลูโลสบนผิวกระดาษ ทำให้เซลลูโลสหลอมละลายติดกัน เมื่อแห้งจะได้กระดาษที่มีเนื้อแน่น และแสงผ่านได้ดี เช่น กระดาษเว็จเจ็ทอะเบิ้ลพาชเม็นท์ (Vegetable Parchment Paper) กระดาษที่ไม่มีรูพรุน รูปิด และเนื้อแน่นสามารถต้านทานการไหลผ่านของของเหลวได้ดี และยังทำให้อากาศไหลผ่านได้ยากอีกด้วย นอกจากนี้การทำให้กระดาษมีสมบัติด้านการต้านทานไขมัน อาจทำโดยการใช้แผ่นฟิล์มบางๆ ของสารสังเคราะห์ปิดทับรูพรุนของกระดาษ เช่น กระดาษใช้สารฟลูออโรคาร์บอน (Fluorocarbon) เติมเป็นส่วนผสมของกระดาษ

การทำให้มีสมบัติด้านการต้านการดูดซึมน้ำ ทำได้โดยเติมสารต้านทานการซึมน้ำ (Sizing Agent) ลงในส่วนผสมของกระดาษ ทำได้ 2 วิธี คือ

1. อินเทอร์นอล ไซซ์ซิ่ง (Internal Sizing) วิธีนี้เป็นการเติมสารต้านทานการซึมน้ำลงไปในส่วนผสมของกระดาษก่อนที่กระดาษจะเดินเป็นแผ่น สารต้านทานการซึมน้ำที่ใช้ ได้แก่ อลัม/โรซิน (Alum/Rosin) ไข และยางมะตอย

2. แอกซ์เทอร์นอล ไซซ์ซิ่ง (External Sizing) หรือที่เรียกว่าการฉาบผิวกระดาษ (Surface Sizing) เป็นการใส่สารต้านทานการซึมน้ำลงไปหลังจากที่กระดาษเดินเป็นแผ่นแห้งแล้ว สารต้านทานการซึมน้ำที่ใช้ ได้แก่ แป้ง กัม และพีวีเอ (Polyvinyl Alcohol, PVA)

การฉาบผิวจะช่วยปรับปรุงด้านการต้านทานการขูดขีด และการดึงถอนผิวกระดาษอีกด้วย การใส่สารต้านทานการซึมน้ำ แม้ว่าจะใส่ในระดับมากจนถึงขั้นที่เรียกว่าฮาร์ดไซด์ (Hard-Sized) แล้วก็ตาม จะไม่สามารถป้องกันการซึมน้ำเข้าไปภายในเนื้อกระดาษได้

2.4.4.3 การทำให้กระดาษมีสมบัติด้านกีดกั้น

การทำให้กระดาษมีสมบัติด้านการกีดกั้นเป็นการทำให้กระดาษมีสมบัติในการป้องกันการไหลผ่านของก๊าซ น้ำ ไอน้ำ น้ำมัน ไขมัน และสารเคมีอื่นๆ ซึ่งนับว่าเป็นสมบัติที่สำคัญมากของกระดาษบรรจุภัณฑ์ สามารถทำได้โดยการเคลือบผิวกระดาษ การฉาบชั้นฟิล์มบางๆ หรือลามิเนต และการอาบน้ำยา (Impregnation) ด้วยสารกีดกั้นแม้ว่าการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ที่นำมาปิดทับกระดาษโดยใช้สารยึดติดอาจใช้ได้ดี แต่ในปัจจุบันสารกีดกั้นที่ใช้มักเป็นไข พีอี (Polyethylene, PE) และพีวีดีซี (Polyvinnylidene Chloride, PVDC) ซึ่งจะใช้สารเหล่านี้เคลือบบนผิวกระดาษ สารเคลือบจะก่อตัวเป็นฟิล์มบางๆ เมื่อแห้งตัว และกระดาษที่ผ่านการทำด้วยวิธีนี้จะมีสมบัติในการป้องกันการซึมทะลุผ่านของน้ำ อากาศ ไขมัน และอื่นๆ สูง เหมาะสำหรับการทำกระดาษบรรจุภัณฑ์

2.4.4.4 การทดสอบสมบัติด้านการต้านทานการดูดซึมน้ำ

การทดสอบสมบัติด้านการต้านทานการดูดซึมน้ำ มีวิธีวัดค่าที่ทดสอบได้เป็น 2 แบบ คือ การทดสอบที่วัดเป็นปริมาณของน้ำที่ถูกกระดาษดูดซับไว้ ภายใต้ระยะเวลาที่กำหนด และการทดสอบที่วัดระยะที่น้ำซึมทะลุผ่าน ภายใต้ระยะทางที่กำหนด การทดสอบสมบัติด้านการต้านทานการดูดซึมน้ำ ทำได้ดังนี้ ความต้านทานการดูดซึมน้ำแบบคอบบ์เทสท์ (Cobb Test) เป็นการวัดปริมาณของน้ำที่ถูกกระดาษดูดซึมไว้ภายใต้ระยะเวลาที่กำหนด การทดสอบทำโดยใช้อุปกรณ์ที่เป็นรูปโลหะรูปวงแหวนมีพื้นที่ภายใน 100 ตารางเซนติเมตร มีปากจับสำหรับยึดชิ้นทดสอบ วางชิ้นทดสอบที่รู้น้ำหนักแน่นอนบนแผ่นยาง แล้วยึดด้วยปากจับให้แน่น เทน้ำที่รู้ปริมาตรแน่นอนลงไปในวงแหวน จับเวลา เมื่อถึงกำหนด เทน้ำออกซับให้แห้ง แล้วนำชิ้นทดสอบไปชั่งน้ำหนัก จดน้ำหนักกระดาษเปียกไว้ หาน้ำหนักของน้ำที่ถูกดูดซับไว้ รายงานหน่วยเป็นกรัมของน้ำที่ถูกดูดซับต่อพื้นที่กระดาษ 1 ตารางเมตร

2.5 แผ่นกระดาษกันกระแทก

วัสดุกันกระแทก (Cushioning Material) คือ วัสดุที่ถูกนำมาใช้เพื่อปกป้องสินค้าจากการสูญเสียเนื่องจากการกระแทกอย่างรุนแรง และ/หรือการสั่นสะเทือน ระหว่างกระบวนการขนส่ง เคลื่อนย้าย ขนถ่าย [8] วัสดุกันกระแทกที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ แผ่นกระดาษลูกฟูก โฟมพอสิสไตรีน โฟมพอลิยูริเทน โฟมพอลิเอทิลีน แผ่นพลาสติกอัดอากาศ ฝอยไม้และฝอยกระดาษ วัสดุแต่ละชนิดมีคุณลักษณะประจำตัวและความเหมาะสมต่อการใช้งานแตกต่างกันไป

2.5.1 วัสดุกันกระแทกที่ใช้ในการบรรจุผักและผลไม้สด [9]

ผักผลไม้สดเป็นสินค้าที่มีความบอบบาง ช้ำและเน่าเสียง่าย ในการบรรจุสินค้าเหล่านี้ลงในบรรจุภัณฑ์เพื่อส่งไปจำหน่ายควรมีการใช้วัสดุช่วยบรรจุด้วย เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการสั่นสะเทือนและการกระแทกในระหว่างเส้นทางขนส่งนั้น การเลือกวัสดุบรรจุภัณฑ์เพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนและการกระแทกนี้ จะต้องเข้ากับรูปทรงของผักและผลไม้ และสามารถจัดการเคลื่อนตัวของผักและผลไม้ภายในเมื่อได้รับการสั่นสะเทือนและบรรเทาแรงตกกระแทกได้

2.5.1.1 กระดาษ

กระดาษที่ใช้ห่อผักและผลไม้จะต้องนิ่ม เรียบ สะอาด ไม่มีสีและกลิ่น

2.5.1.2 กระดาษลูกฟูก

กระดาษลูกฟูกมักใช้ในรูปแบบของการขัดเป็นไส้กล่องตามแนวตั้ง เพื่อป้องกันการสัมผัสโดยตรงของผลไม้ และยังช่วยเสริมความแข็งแรงให้แก่ตัวกล่องลูกฟูก นอกจากนี้แผ่นกระดาษลูกฟูกยัง

สามารถใช้วางตามแนวราบเพื่อรองรับผักผลไม้ กระดาษลูกฟูกสามารถลดความเสียหายจากการกระแทกได้บ้าง ใช้ทำหน้าที่แผ่นรองตัวกั้นหรือแผ่นกั้น เพื่อเก็บสินค้าภายในบรรจุภัณฑ์ หรือทำหน้าที่เป็นตัวห่อหุ้มสินค้า กระดาษลูกฟูกมีข้อจำกัดในการดูดซับ แรงกระแทกอย่างรุนแรงและไม่คืนรูปกลับเป็นอย่างเดิม หลังถูกแรงกระทำ มีการดูดซึมความชื้นและอ่อนตัวลง ในสภาวะอากาศที่มีความชื้นสูง แต่เนื่องจากการที่สามารถนำกลับเข้ากระบวนการหมุนเวียนได้ จึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาจากเศษวัสดุเหลือใช้

2.5.1.3 เศษฝอยของไม้

เป็นวัสดุที่เหลือจากโรงงานทำเฟอร์นิเจอร์ที่ไสจากเนื้อไม้ เศษฝอยของไม้ควรเลือกเส้นเล็กๆ ไสจากไม้นิ่มเพื่อใช้จัดในบรรจุภัณฑ์ขนส่ง ช่วยลดพื้นที่ว่าง ส่วนใหญ่จะใช้กับผลไม้ที่มีขนาดใหญ่และผิวขรุขระ เช่น สับปะรด ปัจจุบันนิยมใช้ลดลง

2.5.1.4 ถาดเยื่อกระดาษขึ้นรูป

มีลักษณะเป็นถาดทำจากเยื่อกระดาษที่อัดเป็นรอยหลุมขนาดต่างๆ กันเพื่อวางรองรับผลไม้และกันไม่ให้ผลไม้เคลื่อนที่ ถาดเยื่อกระดาษขึ้นรูปสามารถช่วยลดความเสียหายจากการสั่นสะเทือนและการตกกระแทกได้บ้าง

2.5.1.5 ถาดพลาสติกขึ้นรูปร้อน

เป็นแผ่นพลาสติกที่นำมาขึ้นรูปด้วยความร้อน มีลักษณะเป็นถาดหลุมคล้ายคลึงกับถาดเยื่อกระดาษขึ้นรูป สามารถทนต่อการคายน้ำของผลไม้ได้

2.5.1.6 โฟมแผ่น

โฟมแผ่นทำจากพลาสติกหลายประเภท เช่น พอลิเอทิลีน (PE) พอลิยูริเทน (PU) หรือ พอลิสไตรีน (PS) มีคุณสมบัติยืดหยุ่นและป้องกันการกระแทกได้ดี

2.5.1.7 แผ่นพลาสติกอัดอากาศ

เป็นพลาสติกหน้าเรียบหนึ่งด้านและอีกหน้าเป็นปุ่มๆ อัดอากาศอยู่ภายใน แต่ละช่องสามารถป้องกันการสั่นสะเทือนและการกระแทกได้

2.5.1.8 โฟมตาข่าย

เป็นวัสดุป้องกันการสั่นสะเทือนและการกระแทกที่พัฒนาเพื่อใช้กับผักผลไม้โดยเฉพาะ ส่วนใหญ่ทำจาก PE มีคุณสมบัติป้องกันการสั่นสะเทือนและการกระแทกได้ดี สามารถยืดหยุ่นได้ ใช้กับผลไม้ขนาดต่างๆ กันโดยที่ผลไม้ยังสามารถหายใจและคายน้ำได้

2.5.2 กระดาษ

กระดาษ คือ แผ่นวัสดุเส้นใยเซลลูโลส (Cellulose Fibers) ที่ยึดจับเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Sheet) โดยการสานตัว (Interweaving) หรือเกิดพันธะ (Bonding) ระหว่างเส้นใย [10] โครงสร้างของเส้นใยประกอบด้วย ผนังเซลล์ปฐมภูมิ (Primary Wall) ผนังเส้นใยส่วนกลาง (Middle Lamella) ผนังเซลล์ทุติยภูมิ (Secondary Wall) และลูเมน (Lumen) ซึ่งอยู่ตรงกลางของเส้นใย

เส้นใยหรือเส้นใยเซลลูโลส เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น (Linear Polymer) เกิดจากการสังเคราะห์แสงของพืชได้เป็นน้ำตาลกลูโคสที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง จากนั้นพืชจะทำการเปลี่ยนรูปแบบโซ่เส้นตรง (Straight-chain Form) เป็นรูปแบบวงแหวนได้กลูโคส 2 รูปแบบ คือ แอลฟา-กลูโคสและเบตา-กลูโคส เมื่อทำให้เกิดพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) จะได้สตาร์ชและเซลลูโลสตามลำดับ

ดังนั้นในการทดสอบสมบัติใด ๆ ของกระดาษจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องกำหนดสภาวะที่ใช้ในการทดสอบอย่างชัดเจน คือ ก่อนทำการทดสอบต้องมีการปรับสภาวะของแผ่นตัวอย่างกระดาษ เช่น มาตรฐาน ISO 187 กำหนดให้นำแผ่นตัวอย่างปรับสภาวะที่อุณหภูมิ 23 $\pm$ 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 $\pm$ 2 ส่วนของประเทศไทยในเขตเมืองร้อนอาจมีการปรับสภาวะด้วย

2.6 กล้วย (Banana)

กล้วยเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว จัดอยู่ในวงศ์ Musaceae ลำดับ Scitaminaceae สกุล Musa เป็นพืชที่ชอบอากาศร้อนชื้น กล้วยที่ปลูกในปัจจุบันนี้ตามหลักฐานปรากฏว่ามีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมอยู่ในบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตั้งแต่แคว้นอัสสัมของอินเดีย พม่า ไทย ลาว มาเลเซีย ซึ่งในประเทศไทยจะพบกล้วยป่า Musa acuminate และกล้วยที่กลายพันธุ์จาก Musa acuminate และกล้วยปลูกพื้นเมืองขึ้นอยู่ทั่วไป ต่อมาในราวปี พ.ศ. 500 ได้มีการอพยพประชากรครั้งใหญ่จากตอนใต้ของประเทศจีน มุ่งลงสู่แหลมอินโดจีนและหมู่เกาะต่างๆ ในมหาสมุทรแปซิฟิก ในการอพยพนี้มีการนำพันธุ์พืชต่างๆ ติดตัวไปด้วย จึงพบว่าแถบหมู่เกาะฮาวาย ฟิลิปปินส์ สุมาตรา ซึ่งประชากรเคยอพยพลงมาจากแผ่นดินใหญ่ก็มีกล้วยปลูกอยู่ทั่วไปในต้นศตวรรษที่ 19 กล้วยหอมทอง (Gros Michel) และกล้วยหอมค่อม (Dwarf Cavendish) ได้ถูกนำเข้ามาจากหมู่เกาะคาริบเบียน รวมทั้งพันธุ์อื่นๆ อีกหลายพันธุ์ได้ถูกนำมาจาก

สวน Kew มารวบรวมไว้ที่โดมินิกัน เมื่อปี ค.ศ. 1902 ในเขตร้อนมีการปลูกกล้วยหลายๆ พันธุ์เพื่อใช้เป็นอาหาร ในการปลูกกล้วยที่สำคัญในตลาดการค้าของโลกสมัยนั้นคือ พันธุ์กล้วยหอมทอง ซึ่งถึงแม้จะไม่ต้านทานต่อโรคตายพราย (Parama Disease) ก็ตาม

คุณสมบัติเด่นที่ทำให้กล้วยเป็นพืชสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย คือ เป็นพืชที่สามารถปลูกได้แทบทุกพื้นที่ของประเทศ เจริญเติบโตแล้วและมีผลผลิตออกสู่ตลาดตลอดทั้งปี นอกจากนี้กล้วยสามารถรับประทานได้หลายรูปแบบ เช่น ผลสด ปรุงเป็นอาหารหรือแปรรูป เป็นต้น

การปลูกกล้วยในประเทศไทยมีตั้งแต่การปลูกเป็นกอเล็กๆ ในสวนหลังบ้านหรือริมรั้วหน้าบ้าน ปลูกแซมในสุวนผลไม้หรือปลูกเป็นพืชเดียว ขนาดแปลงตั้งแต่ 5-30 ไร่ โดยมีพื้นที่ปลูกกล้วยรวมทั้งประเทศประมาณ 820,000 ไร่ แบ่งเป็นพื้นที่ปลูกกล้วยไข่ประมาณ 90,000 ไร่ และเป็นพื้นที่ปลูกกล้วยหอมประมาณ 65,000 ไร่ ที่เหลือเป็นพื้นที่ปลูกกล้วยชนิดอื่นๆ กล้วยส่วนใหญ่จะบริโภคในท้องถิ่นเพียง 10% ของผลผลิตทั้งหมดที่จำหน่ายและทำรายได้ในรูปสินค้าต่างๆ จำหน่ายในประเทศและส่งออกทั่วโลก

ผลกล้วยทั้งหมดบนก้านดอกรวมเรียกว่า เครือ (Bunch) ส่วนผลกล้วยแต่ละกลุ่มแต่ละข้อเรียกว่า หวี (Hand) ส่วนแต่ละผลเรียกว่า ผลกล้วย (Finger) คุณภาพกล้วย หมายถึง จำนวนของหวีกล้วยในเครือๆ หนึ่ง กล้วยแต่ละพันธุ์จะมีความแตกต่างของผลในเรื่องของรูปร่าง ขนาด สีเปลือก สีของเนื้อ รสชาติ และความละเอียดของเนื้อไม่เหมือนกัน กล้วยรับประทานสดจะมีปริมาณน้ำตาลสูง ส่วนกล้วยที่ใช้ปรุงอาหารจะมีปริมาณของแป้งอยู่มาก กล้วยเครือหนึ่งอาจมีจำนวนหวีถึง 5-15 หวี และแต่ละหวีจะมีจำนวนผลตั้งแต่ 5-20 ผล ขนาดของผลเมื่อโตขนาดผลเฉลี่ยยาวประมาณ 5-15 เซนติเมตร กว้าง 2.5-5 เซนติเมตร ผลเมื่อสุกอาจมีสีเปลือกสีเขียว เหลืองหรือออกแดง แล้วแต่ชนิดหรือพันธุ์ของกล้วยนั้นๆ

ในการเก็บรักษากล้วยหอมขณะขนส่ง และก่อนการวางขายจึงเป็นปัญหาที่สำคัญในการผลิตกล้วยหอมเพื่อการส่งออก อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษากล้วยหอมและวิธีการเก็บรักษาจึงเป็นสิ่งสำคัญประการหนึ่ง การเก็บรักษาแบบควบคุมบรรยากาศ (CA Storage) เป็นวิธีการหนึ่งที่ต้องลงทุนสูงมาก และไม่เหมาะสมต่อการขนส่งและก่อนวางขาย ดังนั้นวิธีการเก็บรักษาแบบดัดแปลง (MA Storage) จึงเป็นวิธีที่อาจมีความเหมาะสมต่อการขนส่งกล้วยหอม โดยหลักการ คือ เพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้เพิ่มสูงขึ้นและลดระดับปริมาณก๊าซออกซิเจน ในการเก็บรักษาให้ต่ำลงก็น่าจะเป็นแนวทางที่เหมาะสมต่อพัฒนาการสุกและอายุการเก็บรักษากล้วยหอม

2.6.1 พันธุ์กล้วยในประเทศไทย [9]

กล้วยได้เริ่มมีการแพร่จากเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ไปยังหมู่เกาะต่างๆ ในมหาสมุทรแปซิฟิก พร้อมๆ กับการอพยพของประชากรตั้งแต่ต้นคริสตศักราชเป็นต้นมา และได้มีการแพร่กระจายไปยังกลุ่มประเทศแถบอาหรับ ยุโรป จนกระทั่งสู่ทวีปอเมริกา โดยปลูกมากที่คอสตาริก้าและฮอนดูรัส

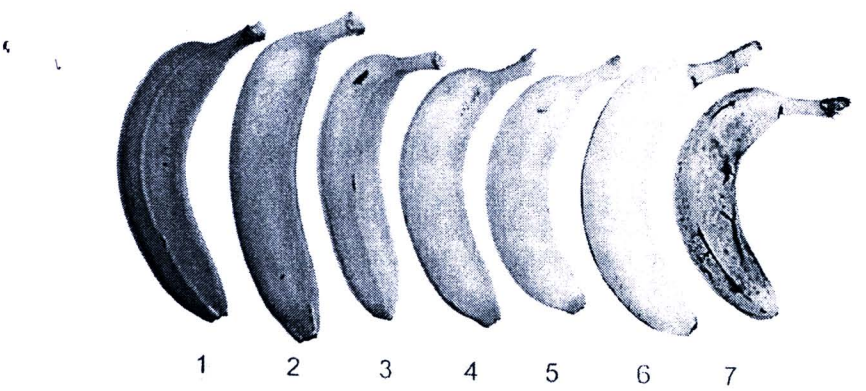
ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2498 (ค.ศ. 1955) ได้เริ่มมีการจำแนกชนิดของกล้วยตามลักษณะทางพันธุกรรม โดยใช้จีโนม (Genome) ของกล้วยเป็นตัวกำหนดในการแยกชนิด กล่าวคือ กล้วยที่รับประทานกันอยู่ในปัจจุบันจัดอยู่ใน section Eumusa โดยถือกำเนิดมาจากกล้วยป่า 2 species คือ Musa accuminata Colla (A genome) และ M. balbisiana Colla (B genome) ซึ่งกล้วยป่าทั้ง 2 ชนิดนี้มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบ Indo-Madayan การผสมพันธุ์ของกล้วย 2 ชนิดนี้ยังส่งผลให้เกิดพันธุ์ต่างๆ มากมาย ซึ่งมีโครโมโซมและยีโนมแตกต่างกันไป เช่น AA, AAA, AB, ABB, BB เป็นต้นได้จำแนกชนิดของกล้วยในประเทศไทยว่ามีอยู่ 15 ชนิด ตามวิธีการแบ่งดังกล่าว ต่อมาได้ทำการรวบรวมพันธุ์กล้วยที่พบในประเทศไทยได้ 125 สายพันธุ์และจากการจำแนกจัดกลุ่มแล้วพบว่า มี 20 พันธุ์ ในปีพ.ศ. 2523-2526 เบญจมาศ ศิลาย้อยและฉลองชัย แบบประเสริฐ แห่งภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ทำการสำรวจและรวบรวมพันธุ์ที่สถานีวิจัยปากช่องโดยรวบรวมได้ทั้งหมด 323 สายพันธุ์ และเมื่อจำแนกชนิดแล้วพบว่ามีอยู่ 59 สายพันธุ์

กล้วยหอมทอง (Musa acuminate, AAA group, Gros Michel subgroup, cultivar 'Hom Thong') จีโนม AAA กลุ่มย่อย Gros Michel มีลำต้นสูง 2.5-3.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 15 เซนติเมตร กาบและลำต้นด้านนอกมีสีดำเล็กน้อย ด้านในสีเขียวอ่อนและมีเส้นสีชมพู ก้านใบมีร่องค่อนข้างกว้างและมีปีก เส้นกลางใบสีเขียว ก้านช่อดอกมีขน ใบประดับรูปไข่ค่อนข้างยาว ปลายแหลม ด้านบนสีแดงอมม่วง มีไข ด้านล่างสีแดงซีด เครือหนึ่งมี 4-6 หวี หวีหนึ่งมี 12-16 ผล ผลใหญ่กว้าง 3-4 เซนติเมตร ยาว 21-25 เซนติเมตร ปลายผลมีจุกเห็นชัด เปลือกบาง เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทองแต่ที่ปลายจุกเปลี่ยนสีภายหลัง เนื้อสีส้มอ่อนๆ กลิ่นหอม รสหวาน

2.6.2 ขั้นตอนในการสุกของกล้วยหอมทอง

ในช่วงการสุกของกล้วยนี้ทำให้คุณค่าอาหารเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะแป้งซึ่งมักจะมีมากตอนผลกล้วยดิบจะเริ่มลดลง และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ซึ่งจากการวิเคราะห์ในกล้วยหอมคาเวนดิช กล้วยของมาเลเซียและกล้วยหอมทองได้ผลใกล้เคียงกัน

ในช่วงการสุกปริมาณแป้งลดลง แต่ปริมาณน้ำตาลมากขึ้น นั่นคือกล้วยมีรสหวานมากขึ้น ในกล้วยกินได้ที่มีจีโนม AA, AAA เช่น กล้วยไข่ กล้วยหอม ปริมาณของแป้งจะลดลงอย่างมากเมื่อกล้วยสุกโดยจะเริ่มลดเมื่อกล้วยเปลี่ยนสี สำหรับปริมาณของกรดตั้งแต่ดิบจนสุกจะค่อนข้างต่ำ ถ้ากล้วยนั้นมีจีโนม ABB ปริมาณแป้งลดลงแต่ไม่มากเท่ากล้วยในกลุ่มแรก ความหวานมากขึ้นแต่ไม่เท่ากลุ่มแรกเช่นกัน แต่ปริมาณของกรดมีค่อนข้างสูง ดังนั้นกล้วยเหล่านี้ เช่น กล้วยน้ำว้า กล้วยหักมุก มักจะมีแป้งมากเมื่อดิบ และแม้สุกแล้วปริมาณแป้งก็ยังมีมาก จึงทำให้เกิดความเหนียวและมีรสเปรี้ยวเล็กน้อย สำหรับกล้วยมีจีโนม ABB จะมีรสชาติอยู่ระหว่างกลาง ได้แบ่งขั้นตอนในการสุกของกล้วย หลังจากตัดมาบ่ม ดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.14 แสดงระยะการสุกของกล้วย

ระยะที่ 1	เปลือกเขียว ผลแข็ง ไม่มีการสุก
ระยะที่ 2	เริ่มเปลี่ยนสี จากสีเขียว จะมีสีเหลืองปนนิดๆ
ระยะที่ 3	เริ่มเปลี่ยนสี จากสีเขียว มีสีเหลืองปนมากขึ้นแต่ยังไม่สีเขียวมากกว่าสีเหลือง
ระยะที่ 4	เริ่มเปลี่ยนสี จากสีเขียวออกเหลือง และมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว
ระยะที่ 5	เปลือกเป็นสีเหลือง แต่ที่ปลายยังมีสีเขียว
ระยะที่ 6	ทั้งผลมีสีเหลือง (ผลสุก)
ระยะที่ 7	ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาลมากขึ้น (สุกมากเกินไป, เนื้อเริ่มอ่อนตัวและมีกลิ่นแรง)

2.6.2.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

กล้วยหอมทองมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ โดยสามารถตรวจสอบได้ทางประสาทสัมผัส ซึ่งการเกิดการเปลี่ยนแปลงนี้จะลดคุณค่าผลไม้ ซึ่งมีผลต่อการยอมรับจากผู้บริโภค การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สำคัญ ได้แก่

2.6.2.2 การสูญเสียน้ำหนัก (Weight loss)

การคายน้ำเป็นปัญหาสำคัญในการเก็บรักษา เนื่องจากทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนัก ความแน่นเนื้อ ผลเหี่ยว สีผิวไม่สวย ทำให้การสุกผิดปกติ ระบบผิว (Dermal System) ของพืชซึ่งได้แก่ ควิติเคิล (Cuticle), เซลล์ผิว (Epidermal cell), ปากใบ (Stomata), เลนติเซล (Lenticels), ขน (Trichome) และบาดแผลต่างๆ เป็นส่วนสำคัญที่มีผลโดยตรงต่อการสูญเสียน้ำของผลิตผล ผักใบสูญเสียน้ำทางปากใบ มันฝรั่งสูญเสียน้ำทางเลนติเซล มะเขือเทศสูญเสียน้ำทางรอยขั้วผล นอกจากนี้อัตราการคายน้ำยังขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรด้วย คือ ถ้าอัตราส่วนนี้มีค่าสูง ผลิตผลนั้นจะสูญเสียน้ำง่าย เช่น ผักใบจะสูญเสียน้ำได้มากกว่าผลไม้ ทำให้เกิดลักษณะใบเหี่ยว เงาะสูญเสียน้ำได้เร็วเพราะมีพื้นที่ผิวมาก สังเกตจากปลายขนจะกลายเป็นสีดำก่อน แม่ค้าจึงรดน้ำบ่อยๆ เพื่อเพิ่มความชื้น ลดอุณหภูมิและลดการสูญเสียน้ำหนักของเงาะ อัตราการสูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อของพืชยังขึ้นอยู่กับความดันไอต่างระหว่างภายนอกและภายในเนื้อเยื่อ โดยถ้ามีความแตกต่างมากจะทำให้อัตราการสูญเสียน้ำมาก ดังนั้นความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศจึงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของผัก ผลไม้ นอกจากนั้น อุณหภูมิก็มีผลต่อการคายน้ำเช่นกัน เพราะเมื่ออุณหภูมิขึ้นสูงจะทำให้ความดันไอของน้ำในเนื้อเยื่อเพิ่มขึ้นและขณะเดียวกันทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศลดลง จึงมีผลให้การคายน้ำของผัก ผลไม้เพิ่มขึ้น กล่าวว่าการสูญเสียน้ำเกิดจากค่าความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำภายในและภายนอก ของผลมะม่วง การสูญเสียน้ำระหว่างร้อยละ 5-10 ของน้ำหนัก ทำให้ผลเหี่ยว ความแน่นเนื้อลดลง รสชาติไม่ดี

2.6.2.3 ความแน่นเนื้อ (Firmness)

การอ่อนนิ่มของผลเป็นการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อที่พบได้ทั่วไปในระหว่างการสุกของผล โดยสาเหตุเกิดจากการเปลี่ยนแปลงภายในผนังเซลล์ ซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องมาจากการเสื่อมสลายของผนังเซลล์เองหรือของวัตถุที่เชื่อมผนังเซลล์เข้าด้วยกัน โดยเฉพาะในบริเวณของ middle lamella ดังหลักฐานการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนในผลอะโวคาโด แอปเปิ้ลและสาลี่ ซึ่งพบว่าบริเวณ middle lamella ของผลที่ยังไม่สุกจะมีบริเวณที่ติดสีที่ย้อมเข้ม แต่เมื่อผลสุกบริเวณนี้จะปรากฏให้เห็นเป็นบริเวณที่ติดสีที่ย้อมจาง แสดงให้เห็นว่าโมเลกุลสารในบริเวณนี้ถูกย่อยหายไป โดยกลไกในการนิ่มลงของผลในระหว่างการสุกยังไม่เป็นที่เข้าใจมากนัก แต่พบว่ามีการสูญเสียแรงเต่งและมี

การย่อยสลายแป้ง ทำให้ปริมาณแป้งลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าเอนไซม์ที่เร่งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและองค์ประกอบของผนังเซลล์น่าจะเป็นกลไกหลักในการทำให้เกิดการอ่อนนิ่มของผล

โดยทั่วไปผนังเซลล์ของพืชประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต 90-95% และโปรตีน 5-10% เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังมี lignin, cutin, suberin, phenolics, wax, silica และสารอนินทรีย์อื่นๆ องค์ประกอบสำคัญของผนังเซลล์ คือ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses) และเพกทิน (Pectin) ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้จะเชื่อมกันด้วยพันธะต่างๆ ทางเคมีที่มีความเฉพาะเจาะจง เมื่อพันธะที่ยึดองค์ประกอบเหล่านี้ถูกแยกออกจากกันจะมีผลทำให้เกิดการอ่อนนิ่มของผลได้ อย่างไรก็ตามองค์ประกอบของผนังเซลล์นี้อาจแตกต่างกันไปตามชนิดของเนื้อเยื่อและอวัยวะของพืชแต่ละชนิดและสายพันธุ์ โครงสร้างผนังเซลล์นั้นประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วนคือ ส่วนที่ทำหน้าที่ในการเชื่อมผนังเซลล์ ด้านนอกให้ติดกัน (Intercellular cement หรือ Middle lamella) ผนังเซลล์ชั้นที่ 1 (Primary cell wall) และผนังเซลล์ชั้นที่ 2 (Secondary cell wall) โดยองค์ประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์และชั้นระหว่างเซลล์พืช (Middle lamella) ประกอบด้วยเพกทินเป็นส่วนสำคัญ โดยสารประกอบเพกทินแบ่งเป็น 3 ชนิด คือ กรดเพกทิน (Pectinic acid) เพกทินและโปรโตเพกทิน (Protopectin) การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีนั้นเป็นผลให้มีการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อหรือทำให้เกิดการอ่อนนิ่มของผลในระหว่างการสุกได้โดยในขณะผลดิบความแน่นเนื้อของผลมีค่าสูงและจะลดลงเมื่อผลสุก

2.6.2.4 การรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง

การเก็บรักษาผลผลิตภายใต้สภาพบรรยากาศที่มีชนิด และ/หรือความเข้มข้นของก๊าซแตกต่างไปจากบรรยากาศปกติโดยทั่วไปจะเน้นความสำคัญที่ก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซที่มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อขบวนการเมตาบอลิซึมของผลผลิต หลักการเบื้องต้นของการเก็บรักษาในสภาพดัดแปลง คือ การเก็บรักษาผลิตผลในสภาพบรรยากาศที่มีออกซิเจนต่ำ และ/หรือคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศปกติ ในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม ทำให้ชะลออัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีน ตลอดจนยับยั้งการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในขบวนการสุกและเสื่อมสภาพ นอกจากนี้ยังสมารถลดความรุนแรงของการเกิดอาการสะท้านหนาว (Chilling injury) ตลอดจนความผิดปกติทางสรีรวิทยาและการเน่าเสียของผลิตผลบางชนิด ในบรรยากาศที่ไม่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูญเสียคาร์โบไฮเดรตเร็วกว่าในบรรยากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ 10%

2.6.2.5 บทบาทที่สำคัญของคาร์บอนไดออกไซด์

ในบรรยากาศมีคาร์บอนไดออกไซด์ 0.03% และการที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้นจะทำให้เกิดบทบาทสำคัญ เช่น ชะลออัตราการหายใจของพืชโดยทั่วไปเมื่อมีความเข้มข้นของ

คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเพิ่มขึ้น อัตราการหายใจของพืชจะลดลง ทำให้อายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามความเข้มข้นที่เหมาะสมนั้นจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้นั้นๆ การชะลออัตราการหายใจอาจได้ผลน้อยเมื่อใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นน้อยไป ในขณะที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงอาจทำให้เซลล์ของพืชหรือผลไม้นั้นเป็นอันตรายและเป็นสาเหตุทำให้เน่าเสียเร็วขึ้น ดังนั้นความเข้มข้นหรือปริมาณก๊าซนี้อาจควบคุมโดยการใช้วัสดุที่บรรจุ เช่น พลาสติกฟิล์มที่มีความสามารถในการยอมให้ก๊าซต่างๆ ซึมผ่านในอัตราที่แตกต่างกัน โดยทำการเลือกชนิดของพลาสติกฟิล์มให้เหมาะสม

2.6.2.6 บทบาทที่สำคัญของออกซิเจน

ความเข้มข้นของออกซิเจนระหว่าง 1-5% สามารถชะลอการสุกของผลไม้ได้หลายชนิด บทบาทของออกซิเจนในการชะลอการสุกงอมของกล้วยหอมทองนั้น ไม่ได้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการชะลอการสุกได้อย่างแท้จริง แม้ว่าความเข้มข้นของออกซิเจนที่ต่ำจะลด net respiration rate ของผลไม้ แต่ออกซิเจนจะมีบทบาทโดยตรงเกี่ยวกับการสุก ในปัจจุบันได้ยอมรับกันอย่างแพร่หลายแล้วว่าออกซิเจนเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการสร้างและการทำงานของก๊าซเอทิลีนในผลไม้

2.6.2.7 บทบาทที่สำคัญของเอทิลีน

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชชนิดเดียวที่มีสถานะเป็นก๊าซ สามารถแพร่กระจายไปยังส่วนต่างๆ ของพืชได้ง่ายทำให้มีอิทธิพลค่อนข้างกว้างขวางต่อการพัฒนาการของพืช โดยทั่วไปเอทิลีนจะไปเร่งการเสื่อมสภาพของพืชหรือส่วนของพืช ทั้งนี้เพราะเอทิลีนสามารถกระตุ้นเนื้อเยื่อทุกชนิดให้มีอัตราการหายใจสูงขึ้นได้ จากการศึกษาในผลไม้พบว่ากระบวนการสุกจะเกิดขึ้นไม่ได้หากไม่มีเอทิลีน และระหว่างการสุกก็ยังจำเป็นต้องมีเอทิลีน มิฉะนั้นแล้วการสุกจะเกิดไม่สมบูรณ์ การตอบสนองของผลไม้ต่อเอทิลีนพบว่า เนื้อเยื่อที่ยังอ่อนอยู่มีการตอบสนองไม่ดี เท่าเนื้อเยื่อที่บริบูรณ์ (Mature) แล้ว ก๊าซเอทิลีนเป็นก๊าซที่เกิดขึ้นภายในผลไม้ ขณะที่ผลกำลังสุกและเป็นฮอร์โมนพืชที่กระตุ้นให้ผลไม้สุกเร็วขึ้น ก๊าซเอทิลีนจึงได้ชื่อว่า Ripening Hormone หรือ Ripening Gas จากการศึกษาพบว่าในระยะผลแก่จัดนั้น จะมีการสร้างก๊าซเอทิลีนภายในพืช อัตราที่ต่ำมากและจะเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเดียวกับอัตราการหายใจที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นระยะที่กระบวนการต่างๆ เช่น การเปลี่ยนสีผิว การนิ่มของเนื้อเยื่อผลไม้ การสังเคราะห์น้ำตาล ฯลฯ กระบวนการสุกจะเริ่มขึ้น อัตราการสร้างก๊าซเอทิลีนจะถึงจุดสูงสุด และจะคงที่อยู่ระยะหนึ่งแล้วค่อยๆ ลดลงซึ่งอยู่ในระยะเดียวกับการหายใจที่ค่อยๆ ลดลง อัตราการสร้างก๊าซเอทิลีนจะมากน้อยต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ [8]

2.6.3 การเก็บเกี่ยว การบรรจุและการขนส่งกล้วยหอมทอง

การเก็บเกี่ยวกล้วยมักนิยมทำเมื่อกล้วยอายุ 3-4 เดือนหลังจากออกดอก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของกล้วยด้วย โดยพิจารณาจากขนาดเหลี่ยมกล้วยเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากความแก่ของกล้วยจะมีความสัมพันธ์เป็นอย่างมากกับมุมเหลี่ยมของผล ตลาดที่จะนำไปขายเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงเนื่องจากเกี่ยวข้องกับอายุการเก็บเกี่ยวกล้วย เช่น การส่งออกขายต่างประเทศควรตัดผลกล้วยที่มีความแก่ประมาณ 70% ซึ่งอ่อนกว่ากล้วยที่ตัดขายในประเทศ นอกจากการสังเกตจากเหลี่ยมผลแล้วยังอาจจะอาศัยหลักเกณฑ์อื่นๆ เช่น นับวันตั้งแต่กล้วยแทงช่อดอก นับจากวันที่เริ่มเห็นหวีตีนเต่า ดูอาการแห้งของขอบใบธง ดูอาการแห้งของดอกที่ติดปลายผล ดูขนาดผลโดยอาศัยเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาว ผลกลางของหวีที่ 1 หรือ 2 แต่การนับวันเพียงอย่างเดียวไม่แน่นอน เพราะอายุการเก็บเกี่ยวกล้วยในฤดูหนาวและฤดูร้อนไม่เท่ากัน ดังนั้นการเก็บเกี่ยวกล้วยควรพิจารณาจากหลายๆ อย่างประกอบกันเพื่อจะควบคุมกล้วยให้มีความแก่ตามที่ต้องการได้ดียิ่งขึ้น

ในการบรรจุกล้วยสามารถทำได้หลายวิธี เช่น ในหมู่เกาะคานารีจะบรรจุในหีบห่อหรือกล่องกระดาษทรงสูง ทางฝั่งตะวันออกของแอฟริกานิยมห่อกล้วยเป็นเครือแยกจากกัน ใช้หญ้ากรุเพื่อป้องกันการกระแทกแล้วหุ้มด้วยกระดาษมัดอย่างแน่นหนา ทางใต้ของแปซิฟิกจะบรรจุผลกล้วยเดี่ยวๆ ลงในกล่อง แต่ละกล่องหนักประมาณ 25-30 กิโลกรัม ในออสเตรเลียจะบรรจุลงในลังไม้หนัก 25 กิโลกรัม ในแต่ละลังจะเป็นกล้วยชนิดเดียวกัน ขนาดเดียวกัน ในลังกรุด้วยกระดาษให้มีช่องว่างอากาศระหว่างแผ่นไม้ แถบตะวันตกและแถบทะเลแคริเบียนจะส่งกล้วยออกต่างประเทศโดยตัดออกเป็นหวีๆ แล้วบรรจุลงในกล่องกระดาษแข็งหรือหีบไม้น้ำหนัก 12.5 กิโลกรัม ซึ่งมักเป็นการบรรจุหีบห่อที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน การบรรจุกล้วยเป็นหวีๆ จะมีข้อเสีย คือ กล้วยจะสุกไม่สม่ำเสมอกัน อาจจะแก้ไขโดยการตัดหวีกล้วยดิบที่มีขนาดและอายุสม่ำเสมอกัน ส่วนข้อดี คือ ทำให้มีโอกาสเลือกกล้วยหวีดีๆ จากเครือขนาดเล็กซึ่งจัดว่าไม่ได้มาตรฐานสำหรับการส่งออกเป็นเครือๆ ลดน้ำหนักบรรทุกลงและไม่เปลืองเนื้อที่ อุณหภูมิที่ใช้ในการขนส่งประมาณ 13-14 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 85-90% การเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่ต่ำสามารถชะลอการสุกของกล้วยได้ และการใส่โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตหรือด่างทับทิมในกล่องที่บรรจุเพื่อดูดซับก๊าซเอทิลีนที่กล้วยสร้างขึ้นมา

2.6.4 การบรรจุกล้วยหอมทองเพื่อการส่งออก

มีการปลูกกล้วยตามแหล่งต่างๆ ของโลกที่ต้องอยู่ในเขตร้อน เช่น อเมริกาใต้ อเมริกากลาง แอฟริกา เพื่อการค้า โดยตลาดจะเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตหนาว ตลาดที่สำคัญคือ ยุโรป อเมริกา แคนาดา เกาหลี ญี่ปุ่น กล้วยที่ผลิตได้จะขนส่งจากแหล่งผลิตในสภาพดิบมายังตลาด ซึ่งมีระยะทางไกล กล้วยที่ปลูกเป็นการค้านี้จะเป็นกล้วยหอม ในกลุ่มคาเวนดิช (Cavendish) เป็นกล้วยหอมเขียวที่มีผลผลิตสูง มี

เปลือกหนาและทนทานต่อการขนส่ง ประเทศฟิลิปปินส์เป็นประเทศหนึ่งที่ตั้งอยู่ในทวีปเอเชียและปลูกกล้วยหอมคาเวนดิชเป็นการค้าอันดับ 3 ของโลก

ประเทศไทยเป็นแหล่งกำเนิดของกล้วยหอมหลายชนิด แต่ที่ปลูกเป็นการค้าทั่วไปมี 4 ชนิด คือ กล้วยหอมทอง กล้วยไข่ กล้วยน้ำว้าและกล้วยเล็บมือนาง โดยกล้วยหอมในประเทศไทยเป็นกล้วยในกลุ่ม Gros Michel ในช่วงปี 2523 ประเทศไทยเคยส่งออกกล้วยหอมในปริมาณกว่า 12,679.04 ตัน แต่ก็เกิดปัญหาเรื่องความเสียหายเช่น การช้ำและเนื้อเละ เมื่อถึงตลาดปลายทาง จากนั้นจึงมีการพัฒนา คือ ได้มีการผลิตกล้วยหอมอินทรีย์ ส่งไปขายประเทศญี่ปุ่น เมื่อปี พ.ศ. 2535 โดยสหกรณ์การเกษตรท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี ทำสัญญาค้าขายกล้วยหอมทองกับสหกรณ์ผู้บริโภคโตโต้ ในปริมาณไม่มากนัก ซึ่งผลผลิตุที่ส่งไปจะไม่มีวางขายในตลาดทั่วไป ต่อมาได้มีการผลิตขึ้น ส่งไปยังสหกรณ์อื่นๆ จนปัจจุบันมูลค่าการส่งออกของกล้วยหอมทองประมาณ 24 ล้านบาท ผลกล้วยหอมจะถูกบรรจุในกล่องกระดาษเจาะรู ภายในกล่องใส่สารดูดซับก๊าซเอทิลีน ส่งออกทางเรือ โดยปรับให้อุณหภูมิในตู้เท่ากับ 15 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการขนส่งถึงปลายทางประมาณ 10 วัน เพื่อเป็นการสนับสนุนให้มีการส่งออกกล้วยหอมทองในปริมาณและมูลค่าที่สูงขึ้นในตลาดที่มีระยะทางไกล ได้ทดสอบวิธีการบรรจุกล้วยหอมเพื่อชะลอการสุกในระหว่างการขนส่ง โดยนำกล้วยหอมทองจากสวนเกษตรกร อำเภอท่ายาง เก็บเกี่ยวในระยะเหลี่ยมลบ แบ่งกล้วยออกเป็นหวี โดยใช้มีดคมปาดตรงแกน ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำผสมคลอรีน จุ่มในสารกำจัดเชื้อรา Thiabendazol ความเข้มข้น 500 ppm แล้วคัดเลือกเฉพาะหวีที่ 1-5 มาทำการทดสอบ กรรมวิธีคือ

2.6.4.1 บรรจุกล้วยในกล่องกระดาษเจาะรู

2.6.4.2 บรรจุกล้วยในกล่องกระดาษใส่สารดูดซับก๊าซเอทิลีน เช่น ด่างทับทิม ($KMnO_2$) หรือ ปูนขาว (CaO_2)

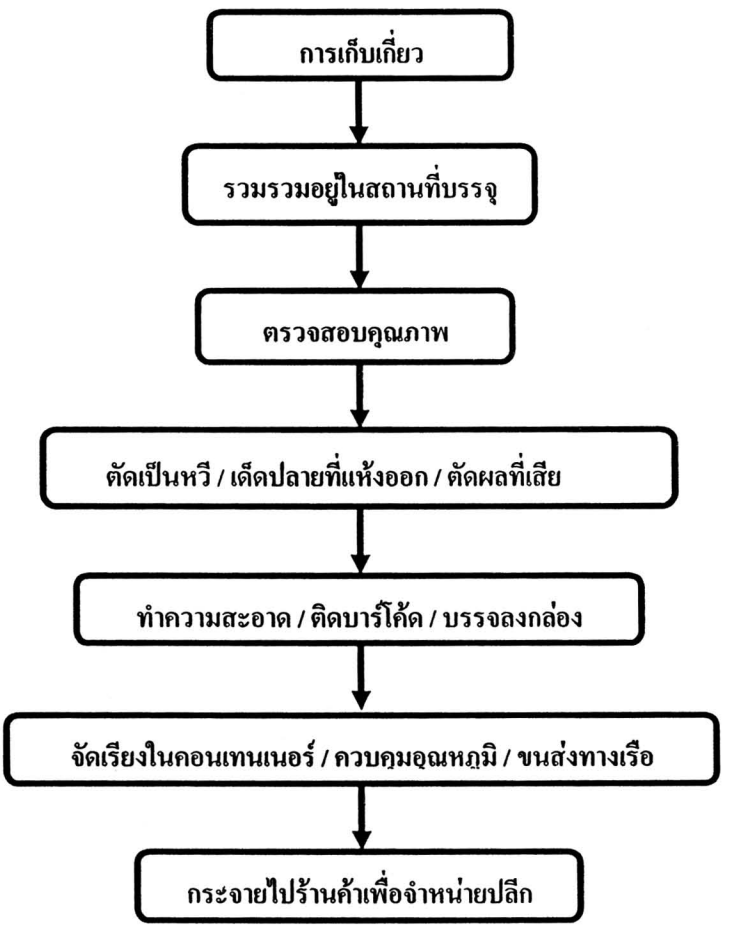
2.6.4.3 จุ่มกล้วยในสารละลายจิบเบอเรลลิน ความเข้มข้น 500 ppm. ก่อนบรรจุในกล่องกระดาษ ใส่สารดูดซับเอทิลีนและปูนขาว

2.6.4.4 บรรจุกล้วยในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนปิดสนิท ใส่สารดูดซับเอทิลีนและปูนขาว

2.6.4.5 ดูดอากาศออก

กล้วยที่บรรจุในกล่องกระดาษเจาะรูเป็นเวลา 10 วัน ยังคงสภาพดิบ โดยจะสูญเสียน้ำหนักไปเฉลี่ย 6.9% และเมื่อทำการรักษาเป็นเวลานาน 25 วัน กล้วยจะสุกโดยมีน้ำหนักหายไปประมาณ 13.5%

โดยทั่วไปกล้วยหอมทองจะสุกเองตามธรรมชาติหลังเก็บเกี่ยวมาแล้วประมาณ 14 วัน กล้วยที่จุ่มในสารละลายจิบเบอเรลลินแอซิด ความเข้มข้น 500 ppm ไม่มีผลในการยืดอายุเก็บรักษา แต่มีผลเสีย คือ เมื่อนำไปบ่มจะสุกช้าและมีสีซีด และยังมีริ้วสีเขียวติดที่ผลกล้วยอีกด้วย กล้วยที่บรรจุในกล่องกระดาษภายในมีปูนขาวเพื่อดูดความชื้นจะทำให้เปลือกกล้วยแห้ง เมื่อนำไปบ่มเปลือกจะมีสีเหลืองแห้ง สุกยาก และมีสีไม่สวย ดังนั้นการบรรจุกล้วยหอมทองในกล่องกระดาษเจาะรู ขนส่งทางเรือที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสเป็นวิธีการบรรจุที่ดีที่สุด และสามารถชะลอการสุกได้มากกว่า 10 วัน เมื่อขนส่งถึงปลายทางสามารถบ่มให้สุกและรับประทานได้ภายใน 4-5 วัน กรณีที่ใส่สารดูดซับเอทิลีนในกล่อง จะช่วยให้กล้วยไม่เกิดการสุกระหว่างขนส่ง และไม่ทำให้เกิดความเสียหายหรือมีผลกระทบต่อคุณภาพแต่อย่างใด นอกจากปัญหาเชื้อราสีดำบริเวณแผลรอยตัด



รูปที่ 2.15 แสดงการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวกล้วยหอมทอง เพื่อการส่งออก

2.6.5 การเปลี่ยนแปลงผลไม้เนื่องจากการขนส่ง

2.6.5.1 การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแรงทางกล (Mechanical damage)

ขณะเก็บเกี่ยว การคัดแยก การบรรจุ การเคลื่อนย้ายและการขนส่งหลังจากการเก็บเกี่ยวล้วนส่งผลให้เกิดแรงกระแทกกับผลไม้ ทำให้เกิดความเสียหาย โดยเฉพาะที่พบมาก คือ การเกิดความช้ำ เนื่องจากเนื้อเยื่อถูกทำลายบริเวณเนื้อเยื่อใต้ผิวของผลไม้เกิดสีน้ำตาล ซึ่งเป็นต้นเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส สี กลิ่น ดังนั้นการเสื่อมเสียโดยเกิดความช้ำเนื่องจากแรงกระทำจึงเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้คุณภาพและความสดของผลไม้ลดลง ความช้ำที่เกิดขึ้นนั้นเนื่องจากการกดทับ (Compression) การกระแทก (Impact) และการสั่นสะเทือน (Vibration) มักเกิดจากวิธีการบรรจุหีบห่อไม่เหมาะสมเกิดการสั่นสะเทือนและการเสียดสีในระหว่างการขนส่ง มีผลทำให้ผลไม้บอบช้ำ ความเสียหายจะรุนแรงมากขึ้นหากผิวถนนขรุขระหรือยานพาหนะไม่เหมาะสม ซึ่งแรงกระทำเชิงกลที่ทำให้เกิดความช้ำได้แก่

2.6.5.2 การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแรงกระทบ (Impact)

เป็นแรงจากการชน ตกกระทบ เนื่องจากการเก็บเกี่ยวเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บเกี่ยว การเคลื่อนย้ายบนสายพานลำเลียงผลไม้ หรือ ความบกพร่องของผู้ปฏิบัติ เช่น ภาชนะบรรจุตกหรือถูกโยน ส่งผลให้ผลไม้ที่บรรจุภายในเกิดการเคลื่อนที่กระทบกัน หรือ กระแทกกับตัวภาชนะบรรจุทำให้เกิดรอยช้ำ ความช้ำที่เกิดจากการชน (Impact bursting) เป็นลักษณะความช้ำที่พบมาก เกิดจากแรงกระทบขณะเก็บเกี่ยวและเคลื่อนย้าย เป็นผลมาจากแรงที่กระทำอย่างรวดเร็ว แรงกระทบอาจเกิดจากผลไม้หนึ่งกับอีกผลหนึ่ง หรือตกลงมาบนพื้นเรียบ ความเสียหายอาจจะพบที่ผิวนอกหรือด้านใน แต่การเปลี่ยนแปลงของสีและเนื้อเยื่อยังไม่เห็นทันที จะค่อยๆ ปรากฏขึ้นภายหลังขณะเก็บรักษา

2.6.5.3 การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแรงสั่นสะเทือน (Vibration)

เป็นแรงที่เกิดขึ้นจากการขนส่งและการเคลื่อนย้าย ซึ่งทำให้ผลไม้ภายในภาชนะบรรจุเกิดการเคลื่อนไหวตามแรงสั่นสะเทือนของพาหนะ การสั่นสะเทือนเปรียบเสมือนการกระแทกแต่เป็นการกระแทกที่มีการเคลื่อนย้ายด้วยระยะทางต่อหน่วยมิลลิเมตร เกิดบ่อยมาก มีหน่วยเป็น Hertz (Hz) ความช้ำจากแรงสั่นสะเทือนเป็นผลมาจากแรงที่กระทำอย่างต่อเนื่อง ขณะขนส่ง ผลไม้สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้ ทำให้เกิดการกระแทกเสียดสีกันเอง หรือเสียดสีกับภาชนะบรรจุ ทำให้ผิวถลอกและเกิดรอยช้ำ ดังนั้นในการบรรจุควรให้แน่นพอดีเพื่อป้องกันผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

2.6.5.4 การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแรงกดทับ (Compression)

เป็นแรงที่เกิดจากการซ้อนทับของภาชนะบรรจุ พบการสูญเสียจากแรงกดทับมีมาก

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นิทัศน์ ทิพยโสตนัยนา [10] ภาควิชาเทคโนโลยีการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ได้ทำการวิจัยเรื่องศึกษากระบวนการผลิตเยื่อกระดาษจากวัชพืชสามชนิดคือ ต้นหญ้าแฝกต้นธูปฤาษี และผักตบชวา โดยทดสอบคุณสมบัติของแผ่นกระดาษทำลูกฟูกที่ผลิตจากเยื่อวัชพืชเดี่ยวและผสมกันด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 10 สำหรับธูปฤาษี และร้อยละ 16 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง สำหรับหญ้าแฝกและผักตบชวา นำมาทำแผ่นกระดาษน้ำหนัก 120 แกรมด้วยเครื่องทำแผ่นกระดาษทดสอบ โดยผสมวัชพืชที่อัตราส่วนร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 75 ซึ่งใช้สารเติมแต่งในปริมาณคงที่คือ แคลเซียมคาร์บอเนต และสารแอลคิลคีตีนไดเมอร์ ร้อยละ 2, 1.2 และ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง หลังจากทดสอบสมบัติของกระดาษแล้วจึงทดลองขึ้นเป็นแผ่นกระดาษลูกฟูกด้วยเครื่องทำลอนทดสอบ จากการทดสอบคุณสมบัติพบว่า กระดาษจากเยื่อธูปฤาษีมีความหนา ปริมาณความชื้น และความต้านแรงฉีกขาดสูงสุด กระดาษจากเยื่อหญ้าแฝกมีความขาวสว่างสูงสุด ส่วนกระดาษลูกฟูกที่ผลิตจากเยื่อหญ้าแฝกหรือเยื่อผักตบชวามีความต้านทานแรงกดวงแหวน และความต้านทานแรงกดลอนสูงสุด จากการผสมเยื่อวัชพืชพบว่ากระดาษลูกฟูกมีสมบัติอยู่ในเกณฑ์ดี เมื่อเทียบกับกระดาษจากเยื่อรีไซเคิล และการผสมระหว่างเยื่อหญ้าแฝกร้อยละ 25 เยื่อธูปฤาษีร้อยละ 25 และเยื่อผักตบชวาร้อยละ 50 ในการผลิตเป็นกระดาษทำลูกฟูกมีสมบัติด้านต่าง ๆ ดีที่สุด เพราะมีค่าความต้านทานแรงกดวงแหวน และค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตอุตสาหกรรม

วุฒิรัตน์ พัฒนิบูลย์ พรชัย ราชตนะพันธุ์ และ พิชญา บุญประสม [13] ได้ทำการศึกษาเบื้องต้นของการผลิตสารดูดซับเอทิลีนโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตสารดูดซับเอทิลีนโดยใช้ดินสอพอง และ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) เป็นส่วนประกอบหลัก โดยจากการศึกษาพบว่า ที่อัตราส่วนน้ำหนักดินสอพองต่อน้ำที่ 2:1 ให้ของผสมที่มีความหนืดสูงที่สุด ซึ่งเหมาะสมต่อการนำไปผลิตสารดูดซับเอทิลีน จากนั้นนำดินสอพองผสมกับสารละลาย $KMnO_4$ ที่มีความเข้มข้น ร้อยละ1, 3, 5, และ 7 (w/w) แล้วนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 150 175 และ 200องศาเซลเซียส พบว่า การอบที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ระยะเวลาในการอบลดลง โดยตัวอย่างที่อบด้วยตู้อบลมร้อนจะใช้ระยะเวลาในการอบสั้นกว่าเครื่องอบแบบสุญญากาศ เมื่อนำตัวอย่างสารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตขึ้นไปทดสอบการดูดซับเอทิลีนเปรียบเทียบกับสารดูดซับในท้องตลาด พบว่า สารดูดซับเอทิลินที่ใช้ $KMnO_4$ ความเข้มข้นร้อยละ3 มีอัตราการดูดซับเอทิลีนใกล้เคียงกับสารดูดซับเอทิลีนในท้องตลาด และจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของตู้อบและ ความเข้ม

ของ $KMnO_4$ ต่ออัตราการดูดซับเอทิลีน นอกจากนี้ยังพบว่าตัวอย่างสารดูดซับเอทิลีนที่อบด้วยเครื่องอบแบบสุญญากาศมีอัตราการดูดซับเอทิลีนได้ดีกว่าตัวอย่างที่อบด้วยตู้อบลมร้อน

ลัดดา สนิทอารีผล สสุชล ว่องวุฒิ และอาภาศรี ชุ่มทรัพย์ไพศาล [3] ได้ศึกษาวิธีการผลิตกระดาษถนอมสายตาจากใบหญ้าแฝก โดยเริ่มจากผลิตเยื่อโดยนำใบหญ้าแฝกมาต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ แล้วนำมาฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้นร้อยละ 50 จากนั้นศึกษาผลของการเติมสารเคมีต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพกระดาษหญ้าแฝก โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารเคมีที่ผสมลงไป โดยใช้ปริมาณของสารแคลเซียมคาร์บอเนต 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง ปริมาณของแป้งดัดแปลงประจุบวก 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง ปริมาณของสารแอลคิลคีตีนไดเมอร์ 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.0 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง จากนั้นศึกษาสมบัติทางด้านกายภาพ สมบัติทางด้านเชิงกล และสมบัติทางด้านทัศนศาสตร์ต่างๆ ของกระดาษหญ้าแฝกซึ่งมีสีเหลืองนวล จึงนำไปเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ กับกระดาษถนอมสายตาทั่วไป จากนั้นนำไปฉาบผิวด้วยแป้งดัดแปลงประจุบวกโดยใช้แท่งเคลือบเบอร์ 0 แล้วนำไปพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ระบบพ่นหมึก

ธนา ธนเดชากุล เลอพงศ์ จารุพันธ์ และ งามทิพย์ ภู่วโรดม [14] ได้ศึกษาเชิงเปรียบเทียบความสามารถของฟิล์มชีวฐานที่เคลือบทับด่างทับทิมเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพในการกำจัดแก๊สเอทิลีน ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่ส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพต่อการกำจัดแก๊สเอทิลีนของสารด่างทับทิมบนแผ่นเยื่อกระดาษขึ้นรูปจากทางใบปาล์มน้ำมันสามารถเร่งการสุกของผลไม้จำพวกไคลแมกเทริกได้ วิธีการหนึ่งที่สามารถป้องกันการเสื่อมสภาพคือ การเคลือบเซลลูโลสอีเทอร์หรือไฮโดรโฟบิกสตาร์ชบนแผ่นเยื่อกระดาษขึ้นรูปการศึกษานี้เปรียบเทียบความสามารถของสารเคลือบทั้งสอง พบว่า แผ่นเยื่อกระดาษที่เคลือบด้วยเซลลูโลส อีเทอร์สามารถกำจัดแก๊สเอทิลีนได้ร้อยละ 46.04 ณ สภาวะปกติและร้อยละ 52.38 ณ สภาวะจำลองที่มีความชื้นอย่างยิ่งยวดในวันที่เริ่มทดลอง อย่างไรก็ตามพบว่า ความสามารถในการกำจัดแก๊สเอทิลีนมีแนวโน้มลดลงเมื่อผ่านการเก็บรักษาที่ 15 ทั้งในสภาวะห้องและสภาวะจำลอง หาเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดแก๊สเอทิลีนของด่างทับทิมเมื่อเคลือบด้วยไฮโดรโฟบิกสตาร์ช พบว่าแก๊สเอทิลีนถูกกำจัดได้ถึงร้อยละ 49.57 ณ สภาวะห้อง และ 54.77 ที่สภาวะจำลองในวันเริ่มการทดลองและลดลงเหลือร้อยละ 18.10 ที่สภาวะปกติความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 และกำจัดได้ร้อยละ 24.05 ที่สภาวะจำลองความชื้นอย่างยิ่งยวดในวันที่ 15 ของการทดลองดังนั้น การเคลือบแผ่นเยื่อกระดาษที่มีสารด่างทับทิมเป็นตัวกำจัดแก๊สเอทิลีนด้วยสารเคลือบไฮโดรโฟบิกสตาร์ จึงมีประสิทธิภาพดีกว่าสารเคลือบเซลลูโลสอีเทอร์

ปิติรัตน์ กลิ่นธรรม และคณะ [15] การผลิตสารดูดซับเอทิลีนเพื่อยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวกล้วยหอมทอง โดยใช้ดินสอพองและโพแทสเซียมเปอร์มังกาเนต เป็นส่วนประกอบหลักพบว่า น้ำหนักดินสอพองต่อน้ำที่ 2 : 1 ให้ของผสมที่มีความหนืดที่สุด เหมาะต่อการนำมาผลิตสารดูดซับเอทิลีน จากนั้นนำดินสอพองผสมกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์มังกาเนต ความเข้มข้น 1, 3, 5 และ 7% (w/w) ไปอบด้วยตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 150, 175 และ 200 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ระยะเวลาในการอบลดลง โดยตู้อบลมร้อนจะใช้เวลาการอบสั้นกว่าเครื่องอบแบบสุญญากาศ เมื่อทดสอบการดูดซับเอทิลีน พบว่าสารดูดซับเอทิลีนที่ใช้ 3% $KMnO_4$ มีอัตราการดูดซับเอทิลีนใกล้เคียงกับสารดูดซับเอทิลีนทางการทั้ง 2 ชนิด และสารดูดซับเอทิลีนที่อบด้วยเครื่องอบแบบสุญญากาศมีอัตราการดูดซับเอทิลีนเร็วกว่าตู้อบลมร้อน เมื่อนำสารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตขึ้นบรรจุในซองที่ทำจากกระดาษสาแบบบาง, กระดาษปรูฟและกระดาษทำโคม ไปวัดอัตราการดูดซับเอทิลีน พบว่าสารดูดซับเอทิลีนที่ซองกระดาษปรูฟมีอัตราการดูดซับเอทิลีนสูงกว่าซองกระดาษทำโคมและกระดาษสาแบบบาง ($p<0.05$) เมื่อหุ้มด้วยถุงพลาสติกชนิด OPP เจาะรู แล้ววัดอัตราการดูดซับเอทิลีน เปรียบเทียบกับสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า 2 ชนิด พบว่ามีอัตราการดูดซับเอทิลีนเร็วกว่าสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า เมื่อนำสารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตขึ้นไปใช้ในการเก็บรักษากล้วยหอมทอง เปรียบเทียบกับสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า 2 ชนิด พบว่าสารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตขึ้นมาสามารถยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองได้นาน 15 วัน ซึ่งใกล้เคียงกับสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองได้ 18 วัน

Ratanapat Hunsa-Udom and Lerpong Jarupan [13] นำใบของต้นปาล์มน้ำมันมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นกระดาษ โดยใช้กระบวนซัลเฟตหรือคราฟท์สำหรับการผลิตเยื่อกระดาษ การศึกษาทดลองพบว่าในต้นปาล์มน้ำมันมีค่าเยื่อผลตอบแทนมากที่สุด 29.19% ในสภาวะที่เหมาะสมคือ 16% active alkali (AA) charge, 25% sulfidity ในอัตราส่วนของสารละลายต่อน้ำคือ 5:1 ที่อุณหภูมิควบคุม 160 องศาเซลเซียส และศึกษาคุณสมบัติเชิงกลและทางกายภาพ และปรับปรุงด้วยการเติมสารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้ง(แป้งดัดแปลงประจุบวก)และสารต้านทานการซึมน้ำ(อัลคิลคีทีนไดเมอร์)เพื่อเพิ่มความคุ้มค่าของต้นปาล์มน้ำมัน การผลิตเป็นเยื่อกระดาษขึ้นรูปและคุณสมบัติความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ที่มีการตรวจสอบ