บทที่ 2
การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง การพัฒนากระดาษดูดซับเอทิลีนจากฟางข้าว กระดาษใช้แล้วและผงถ่านกัมมันต์เพื่อชะลอการสุกของผลไม้ ผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้า ศึกษาและรวบรวมวรรณกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ครอบคลุมเนื้อหาเกี่ยวกับ

2.1 ฟางข้าว
2.2 การผลิตเยื่อและการผลิตกระดาษ
2.3 วิธีผลิตกระดาษด้วยมือ
2.4 สมบัติของกระดาษ
2.5 กลไกการสุกของผลไม้
2.6 ถ่านกัมมันต์
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ฟางข้าว

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการเพาะปลูกพืชเป็นหลัก โดยมีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 65 ล้านไร่ หรือประมาณร้อยละ 20 ของพื้นที่ทั้งหมด และจากการรายงานของกรมพัฒนาที่ดิน พบว่าปริมาณตอซังข้าวและฟางข้าวในประเทศไทย มีปริมาณปีละ 50–60 ล้านตัน ฟางข้าวที่มีสภาพสมบูรณ์จะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ใบข้าว ปล้องข้าว และรวงข้าว ส่วนฟางข้าวที่ได้จากการเก็บด้วยตัดในแปลงนาจะมีส่วนประกอบของตอซังหรือกอข้าวรวมด้วย แต่จะอยู่ในลักษณะที่เป็นฟางแตก ทำให้แยกแยะได้ยากว่าเป็นส่วนใด ฟางข้าวแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

1) ฟางข้าวจากการเกี่ยวมือและนวดมือ เป็นฟางข้าวที่ได้จากการเกี่ยวข้าว และนำเมล็ดข้าวออกด้วยวิธีการเกี่ยวด้วยมือหรือใช้รถเกี่ยวข้าว ฟางข้าวจากการเกี่ยวด้วยมือจะถูกมัดเป็นระเบียบด้วยการตอก และถูกนำเมล็ดออกด้วยการตีด้วยไม้ หรืออาจเกี่ยวแบบไม่เป็นระเบียบ มีการแตกขาดเป็นเส้นจากกัน การนำเมล็ดข้าวออกด้วยการแยกด้วยเครื่องแยกเมล็ด หรือรถสีข้าว ฟางข้าวที่ได้จากการเกี่ยวมือจะมีลักษณะเป็นระเบียบ และฟางข้าวมีความสมบูรณ์ ไม่แตกเป็นเส้นเนื่องจากใช้แรงงานคนในการตีเมล็ดออก ซึ่งเป็นวิธีโบราณที่พบในบางท้องที่เท่านั้น เพราะปัจจุบันเกษตรกรหันมาใช้รถเกี่ยวข้าวแทน ซึ่งประหยัด สะดวก และรวดเร็วกว่ามาก

2) ฟางข้าวจากการเกี่ยวมือและนวดด้วยรถนวด เป็นฟางข้าวที่ได้จากการนำมัดข้าวจากการเกี่ยวมือเข้าเครื่องนวดหรือรถนวดที่อาศัยการปั่น ทำให้ฟางข้าว และเมล็ดแยกออกจากกัน โดยฟางจะ

ถูกแรงปั่นแยกออกทางด้านบนของเครื่อง และกองรวมกัน ส่วนเมล็ดข้าวที่มีน้ำหนักจะตกลงสู่ด้านล่างของเครื่องปั่นรวมกัน โดยใช้ถุงกระสอบรองรับ ลักษณะฟางที่ได้จากการนวดจะพบได้มากในพื้นที่ภาคอีสาน แต่ปัจจุบันเริ่มลดน้อยลง เนื่องจากเกษตรหันมาใช้รถเกี่ยวข้าวแทน

3) ฟางข้าวจากรถอัดฟางข้าว เป็นฟางข้าวที่ได้จากการตัดเก็บตอซังข้าว และอัดฟางข้าวที่กองในแปลงนาหลังการใช้รถเกี่ยวข้าว ซึ่งจะเป็นฟางผสมระหว่างตอซัง และฟางข้าวส่วนบน ฟางข้าวที่หล่นในแปลงนาหลังการเกี่ยวข้าวด้วยรถเกี่ยวข้าว จะเป็นฟางข้าวที่มีการแตกขาดเป็นเส้นเหมือนกับฟางข้าวที่แยกเมล็ดด้วยเครื่องนวดข้าว และฟางชนิดนี้จะถูกปล่อยทิ้งตามแปลงนาต้องใช้รถเก็บฟางข้าวรวบรวมอีกครั้ง ซึ่งจะได้ฟางข้าวจากการเกี่ยวข้าวร่วมกับฟางข้าวจากตอซังข้าว

2.1.1 การใช้ประโยชน์จากฟางข้าว มีหลายรูปแบบสามารถสรุปได้ดังนี้

1) ใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับเลี้ยงโค กระบือ

2) ใช้ทำปุ๋ยหมัก

3) ใช้ทำเป็นวัสดุปกคลุมดินหลังการหว่านเมล็ดพืช

4) ใช้ทำเป็นวัสดุคลุมดินสำหรับรักษาความชุ่มชื้นของดิน แก้ปัญหาดินเค็ม

5) ใช้เป็นวัสดุสำหรับการเพาะเห็ดฟาง

6) ใช้ทำเป็นที่มุงหลังคาหรือฝากระท่อม

7) ใช้ทำเป็นเชือกจุดไฟ ช่วยให้ก่อไฟง่าย

8) ใช้เป็นวัสดุผูกมัดหรือใช้แทนเชือก แต่ต้องนำมาแช่น้ำก่อนเพื่อให้ฟางนุ่ม

9) ใช้เป็นวัสดุสำหรับการปล่อยครั่ง

10) ใช้ผลิตเป็นเยื่อกระดาษ

11) ใช้สำหรับการแยกสกัดสารแทนนิน

2.1.2 การจัดเก็บฟางข้าว การจัดเก็บฟางข้าวเป็นการจัดเก็บเพื่อให้ใช้ประโยชน์จากฟางข้าวให้ได้นาน เนื่องจากฟางข้าวสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ การจัดเก็บฟางข้าวแบ่งเป็น 2 วิธี

1) การกองฟางในที่โล่ง เป็นวิธีการเก็บรักษาฟางข้าววิธีดั้งเดิมด้วยการกองฟางให้เป็นกองสูงโดยเลือกกองบนพื้นที่ที่เป็นเนินหรือบริเวณที่สูงไม่เสี่ยงต่อน้ำท่วม ลักษณะของกองฟางคล้ายระฆังคว่ำมีฐานกว้าง และค่อย ๆ เรียวลดขนาดลง การกองฟางด้วยฟางชนิดเกี่ยวมือสามารถกองเรียงเป็นชั้น ๆ อัดเรียงกันแน่น และกองสูงได้ดีกว่าฟางข้าวจากการใช้รถเกี่ยวหรือฟางข้าวที่ใช้รถนวด เนื่องจากฟางมีลักษณะคงสภาพเป็นลำต้นสมบูรณ์ สามารถจัดเรียงได้ง่าย การกองฟางข้าววิธีนี้พบได้ทั่วไปที่ชนบทที่มีความต้องการใช้ประโยชน์จากฟางข้าวน้อย เช่น เกษตรที่ใช้เป็นอาหารโคจำนวนน้อย การกองวิธีการนี้มีโอกาสทำให้ฟางข้าวเน่าเสียได้ง่าย โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝนหากดินมีความชื้นมาก

2) การกองในโรงเรือน เป็นวิธีการเก็บรักษาฟางข้าวที่ใช้ในเกษตรบางราย โดยเฉพาะเกษตรกรที่มีความต้องการใช้ฟางข้าวมาก และสามารถมีเงินทุนสร้างโรงเรือนเก็บได้ เช่น เกษตรที่มีอาชีพเพาะเห็ดฟาง เกษตรกรที่ต้องใช้ฟางคลุมแปลงเกษตร และเกษตรผู้เลี้ยงโคจำนวนมาก สามารถเก็บรักษาฟางข้าวได้นานหลายปี เนื่องจากมีหลังคาป้องกันฝนได้ แต่มีค่าใช้จ่ายสูงมากเมื่อเทียบกับการกองในที่โล่ง

2.1.3 การกำจัดฟางข้าว ที่นิยมมีดังนี้

1) การปล่อยทิ้งฟางข้าวไว้ในทุ่งนา เป็นวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรนิยมใช้กันทั่วไปในพืนที่ปลูกข้าวนาปี จะเกิดการย่อยสลายตามธรรมชาติ ปัจจุบันเกษตรกร ประมาณ 50% เลือกใช้วิธีการดังกล่าว โดยเฉพาะในพื้นที่ทำนาปีที่มีการปลูกข้าวเพียงครั้งเดียวต่อปีเนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่าย เสียค่าใช้จ่ายน้อย ใช้แรงงานและเวลาในการจัดการน้อย แต่ว่าปริมาณธาตุอาหารที่จะสะสมในดินอาจมีน้อย เนื่องจากการทิ้งฟางข้าวไว้นานจนกว่าจะถึงฤดูทำนาอาจทำให้ปริมาณของฟางข้าวลดลง และธาตุอาหารสูญเสียไป

2) การนำฟางข้าวไปเลี้ยงสัตว์และขาย เป็นวิธีการที่เกษตรกรใช้มานาน การขายฟางข้าวให้กับเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์จะใช้เครื่องจักรนวดข้าว ทำให้มีความสะดวกยิ่งขึ้นในการขนย้ายและเก็บรักษา พร้อมทั้งความต้องการใช้ประโยชน์ของฟางข้าว ซึ่งมีเกษตรกรประมาณ 30% เลือกใช้วิธีนี้ แต่อาจทำให้ดินสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ไปเรื่อย ๆ ถ้ามีการขนย้ายฟางข้าวออกจากทุ่งนาอย่างต่อเนื่องกันในแต่ละปี

3) การเผาฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยววิธีนี้ นิยมใช้กันเฉพาะในพื้นที่ทำนาเขตชลประทานซึ่งมีการปลูกข้าวสองครั้งต่อปี เกษตรกรประมาณ 15% จะเผาฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวข้าวนาปี เพื่อเตรียมพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปรังต่อไป เพราะการเผาฟางข้าวทำให้การเตรียมพื้นที่เพาะปลูกสะดวกขึ้น โดยมีค่าใช้จ่ายน้อยช่วยทำลายวงจรชีวิตของแมลงศัตรูพืชและเชื้อโรคที่มีการระบาดในพื้นที่ได้ แต่การเผาฟางข้าวจะทำลายสิ่งมีชีวิตที่เป็นประโยชน์ที่อยู่ในดิน โครงสร้างของดินถูกทำลาย ดินสูญเสียธาตุอาหาร เช่น คาร์บอน และไนโตรเจนไปในบรรยากาศ และก่อมลพิษโดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออไซด์ ส่วนฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมจะแปรสภาพเป็นรูปขี้เถ้าที่สูญเสียไปกับลมได้ง่าย

4) การใช้ฟางข้าวเป็นพลังงานทดแทน ฟางข้าวมีศักยภาพเพียงพอที่จะนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ด้วยการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของหม้อต้มน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม นำไปผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า วิธีการนี้มีการปฏิบัติกันน้อยมาก เป็นการเพิ่มมูลค่าของฟางข้าวให้สูงขึ้น แต่ยุ่งยากในการเก็บรวบรวมและมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูง

5) การทำปุ๋ยหมักจากฟางข้าว เป็นการนำฟางข้าวหมักร่วมกับมูลสัตว์ปุ๋ยเคมีหรือจุลินทรีย์เมื่อหมักแล้วฟางข้าวจะเปลี่ยนสภาพจากเดิมเป็นผงเปื่อยยุ่ยมีสีน้ำตาลปนดำ สามารถนำไปใช้

ได้ทันทีแต่เกษตรกรนำมาใช้น้อยมาก เพราะยุ่งยากในการปฏิบัติและมีค่าใช้จ่าย เสียเวลาและแรงงาน อย่างไรก็ตามการหมักจะทำให้ปริมาณธาตุอาหารพืชเพิ่มสูงขึ้น สามารถนำมาใช้ได้ง่าย เนื่องจากฟางข้าวจะมีขนาดเล็กลง และความเป็นประโยชน์ต่อพืชจะมากกว่าฟางข้าวที่ไม่ได้หมัก

6) การไถกลบฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว วิธีนี้เป็นการไถกลบฟางข้าวที่มีอยู่ในนาภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้วลงไปในดิน ในขณะที่ดินยังมีความชื้น และปล่อยทิ้งไว้เพื่อให้เกิดการย่อยสลายในดิน กลายเป็นแหล่งอินทรียวัตถุและธาตุอาหารพืชให้กับดิน หลังจากการเก็บเกี่ยวข้าว เกษตรกรประมาณ 50% ที่ทิ้งฟางข้าวไว้ในทุ่งนา โดยเฉพาะตอซังข้าว เมื่อเข้าสู่ต้นฤดูฝน เกษตรกรจะเตรียมดินครั้งที่หนึ่ง แล้วปล่อยน้ำเข้านาให้ท่วมวัสดุ หมักทิ้งไว้เพื่อให้ตอซังข้าวและฟางข้าวเกิดการย่อยสลายแล้วจึงไถครั้งที่สอง หลังจากนั้นจึงปลูกพืชหลักต่อไป วิธีการนี้มีความเหมาะสมในการอนุรักษ์ธาตุอาหารในดินนาได้เพราะหลังการเก็บเกี่ยวข้าว ฟางข้าวส่วนมากถูกทิ้งไว้ในทุ่งนาอยู่แล้ว และเกษตรกรส่วนมากมีการใช้เครื่องจักรเตรียมดิน

2.2 การผลิตเยื่อและการผลิตกระดาษ

2.2.1 วัตถุดิบ

วัตถุดิบสำหรับการผลิตเยื่อและกระดาษในอุตสาหกรรมกระดาษ คือ วัตถุดิบจากไม้ยืนต้นและ วัตถุดิบที่ไม่ใช่ไม้

2.2.1.1 วัตถุดิบจากไม้ยืนต้น แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ไม้เนื้ออ่อน เป็นไม้จำพวก Coniferous หรือ Gymnosperm มีใบเป็นรูปเข็ม ไม่ผลัดใบ เช่น Spruce, Pine และ Fir ในประเทศไทยมีเพียง 2 ชนิด คือ สนสองใบ และสนสามใบ เส้นใยของไม้ประเภทนี้มีความยาวเฉลี่ย ประมาณ 3 มิลลิเมตร

2. ไม้เนื้อแข็งเป็นไม้จำพวก Angiosperms โดยทั่วไปมีใบกว้าง ยกเว้นไม้บางชนิด เช่น สนทะเล และสนประดิพัทธ์ ในเขตอบอุ่นไม้จำพวกนี้จะผลัดใบ เส้นใยของไม้ประเภทนี้มีความยาวเฉลี่ยประมาณ 1–2 มิลลิเมตร เช่น Eucalyptus, Birch, Aspen และไม้ใบกว้างต่าง ๆ ในประเทศไทย เยื่อที่ได้จากไม้ประเภทนี้เรียกว่า เยื่อใยสั้น

2.2.1.2 วัตถุดิบที่ไม่ใช่ไม้ (Non–wood) แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. ส่วนที่เหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ชายอ้อย เป็นต้น
2. พืชตระกูลหญ้า เช่น ไม้ไผ่ หญ้าขจรจบ เป็นต้น
3. พืชเส้นใยต่างๆ ได้แก่

(1) เส้นใยที่ได้จากส่วนเปลือกและต้น เช่น Hemp, Ramie, Flax, ปอกระเจา ปอแก้ว และปอสา เป็นต้น

(2) เส้นใยที่ได้จากส่วนใบ (Leaf fiber) เช่น Abaca, สับปะรด ป่านศรนารายณ์ (รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์, 2539, น. 4-6)

2.2.2 องค์ประกอบทางเคมีของไม้

1. เซลลูโลส ประกอบด้วย โมเลกุลของ Cellobiose Unit ต่อเรียงกันเป็นสารโพลีเมอร์

2. เฮมิเซลลูโลส ประกอบด้วย โมเลกุลของน้ำตาลประเภท Hexose, Pentose แบบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ Glucose เช่น Galactose, Mannose และ Arabinose ต่อกันเป็นสายยาว

3. ลิกนิน เป็นพวกสารโพลีเมอร์มีโครงสร้างที่ซับซ้อนมากในเนื้อไม้ บางประเภทมีลิกนินแทรกอยู่ระหว่างสายโซ่โพลีเมอร์ทำหน้าที่เป็นสารยึดเส้นใยให้ติดกัน

4. สารสกัดที่พบในเนื้อไม้ ประกอบด้วย สารจำพวก Resin Acid และ Fatty Acid

2.2.3 กระบวนการผลิตเยื่อ

2.2.3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบหลัก ได้แก่ เนื้อไม้ที่มีลักษณะแข็งหรือเป็นก้อน เช่น ไม้สน หรือมีลักษณะเป็นเส้น เช่น ฟางข้าว จะต้องทำการตัดให้วัตถุดิบมีขนาดพอสมควรที่จะนำไปใช้ในการผลิตเยื่อ หากเป็นไม้ที่เป็นท่อนหรือซุงต้องลอกเปลือกออกก่อนจึงนำเข้าเครื่องสับให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ซึ่งชิ้นไม้เล็ก ๆ เรียกว่า Chip (ณรงค์ วุทธเสถียร, 2526, น. 520-521)

2.2.3.2 การเตรียมเยื่อ

หลักจากการเตรียมวัตถุดิบที่แตกต่างกันตามลักษณะของวัตถุดิบ โดยผลสุดท้ายของ กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ คือ ทำให้วัตถุดิบมีลักษณะเป็น Chip เพื่อจะนำมาเตรียมเยื่อกระดาษ (ธีรพร วงศ์รัตน์, 2507, น. 287) โดยมีวิธีการเตรียม 3 วิธี ได้แก่ วิธีเชิงกล วิธีเคมี และวิธีกึ่งเคมี ซึ่งวิธีการเตรียมเยื่อทั้งสามมีกรรมวิธีจะทำให้ได้เยื่อที่แตกต่างกัน

1. วิธีเตรียมเยื่อ

1.1 วิธีเชิงกล เป็นวิธีที่เยื่อถูกบดให้เส้นเยื่อละเอียดด้วยลูกโม่หินหรือเหล็กมีน้ำฉีดอยู่ตลอดเวลาเพื่อป้องกันลูกโม่ติด เยื่อกระดาษชนิดนี้จะมีความละเอียด และสม่ำเสมอมาก เยื่อชนิดนี้ยังมีสิ่งเจือปน ได้แก่ พวกคาร์โบไฮเดรต ลิกนิน เกลือแร่ และยาง เช่นเดียวกับเนื้อไม้จึงมีสมบัติไม่ดีนัก เพราะไม่ใช่เยื่อเซลลูโลสที่บริสุทธิ์ เหมาะสำหรับใช้ทำกระดาษที่ไม่ต้องการความเหนียว ความสะอาด

เช่น กระดาษหนังสือพิมพ์ กระดาษปิดผนัง กระดาษเช็ดมือ และกระดาษห่อของชนิดเลว เป็นต้น ข้อดี คือ ราคาถูก และได้ปริมาณเยื่อสูง

1.2 วิธีเคมี เป็นวิธีที่ทำให้เยื่อที่ได้มีความสะอาดมาก เพราะถูกต้มด้วยน้ำยาเคมีในหม้อต้ม ภายใต้ความดันจนกระทั่งเส้นใยของไม้แยกจากกัน โดยเยื่อจะมีความนุ่ม และเหนียวฟอกให้ขาวได้ง่าย จึงใช้ทำกระดาษได้หลาย ๆ ชนิด ที่ใช้กันแพร่หลายสำหรับทำกระดาษพิมพ์และเขียน เช่น กระดาษสมุด กระดาษอนามัย กระดาษห่อของ กระดาษทำถุงซีเมนต์ กระดาษลูกฟูกสำหรับทำกล่อง แต่จะได้ปริมาณเยื่อที่ใช้ทำกระดาษน้อย

1.3 วิธีกึ่งเคมี นำวัตถุดิบไปต้มน้ำยาเคมีอย่างอ่อน เพื่อให้เนื้อไม้อ่อนตัว แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบดทำด้วยเหล็ก สมบัติต่าง ๆ ของเยื่อจะอยู่กึ่งกลางระหว่างชนิด 1 กับชนิด 2 เยื่อชนิดนี้นับว่ามีความสำคัญมาก เพราะสามารถนำวัตถุดิบมาใช้ได้หลายชนิด รวมถึงพืชเส้นใยอื่น ๆ เช่น หญ้าชนิดต่าง ๆ ชานอ้อย และฟางข้าว ให้ปริมาณการผลิตสูง ราคาถูก และทำกระดาษได้หลายชนิด ตั้งแต่กระดาษหนังสือพิมพ์ไปถึงกระดาษปอนด์อย่างดี กระดาษสาที่ผลิตด้วยมือในภาคเหนือก็ใช้วิธีนี้ในการเตรียมเยื่อเช่นกัน

2. การล้างและการร่อนเยื่อ

หลังจากผ่านการเตรียมเยื่อโดยวิธีใดวิธีหนึ่งเรียบร้อยแล้วจะส่งเยื่อไปล้างเอาน้ำยาต้มหรือสารเคมีเพื่อขจัด สิ่งสกปรกที่ตกค้างอยู่ออกให้หมด หลังจากนั้นนำเยื่อที่ล้างแล้วไปผ่านตะแกรงทำการร่อนเยื่อแบบต่าง ๆ เพื่อเอาสิ่งแปลกปลอมออกให้หมด ซึ่งเยื่อในขั้นตอนนี้จะมีสีน้ำตาล

3. การฟอกเยื่อ

ถ้าต้องการเยื่อที่มีสีขาวต้องนำเยื่อไปฟอก กระบวนการฟอกเยื่อที่นิยมใช้กันได้แก่ ขบวนการ CEHD มีรายละเอียดดังนี้ (เจษฎา สุวรรณ, 2542, น. 24–25)

C = Chlorination ฟอกคลอรีน

E = Alkali Extraction ล้างโซดาไฟ

H = Hypo chloride ฟอกไฮโปคลอไรด์

D = Chlorine Dioxide ฟอกคลอรีนไดออกไซด์

ข้อแรกเป็นการฟอกด้วยสารคลอรีน หลังจากนั้นนำไปฟอก หรือต้มด้วยโซดาไฟ การฟอกสองขั้นแรกนี้เป็นการดึงเอาลิกนินที่คงเหลือหลังการต้มเยื่อออก หลักจากนั้นก็เป็นการฟอกเส้นใยให้มีสีขาวด้วยน้ำยาฟอกขาวไฮโปคลอไรด์ แต่เนื่องจากความขาวของเส้นใยยังไม่มากพอ และเพื่อให้ได้เยื่อซึ่งมีความขาวสูง โดยที่ตัวเส้นใยไม่เกิดปัญหาด้านคุณภาพ จึงต้องใช้ก๊าซคลอรีน ไดออกไซด์ ซึ่งก๊าซนี้มีสมบัติดีกว่าน้ำยาไฮโปคลอไรด์ เพราะไม่ทำให้คุณภาพของเส้นใยด้านความเหนียวลดลง

2.2.4 ขั้นตอนการผลิตกระดาษ

1. การเตรียมเยื่อ นำเยื่อมาตีให้กระจายตัวในน้ำ จากนั้นส่งไปบดเยื่อในเครื่องนวดเยื่อ เพื่อให้เยื่อมีความเหนียว เป็นการปรุงแต่งเยื่อให้มีสภาพเหมาะสมในการทำแผ่นกระดาษในขั้นตอนนี้จะมีการเติมสารเคมีหลายประเภทเพื่อปรุงแต่งเยื่อตามชนิดของกระดาษใช้งาน เช่น ชันสน และสารส้ม เพื่อป้องกันการดูดซึมของเหลว (Sizing) จะต้องทำให้กระดาษพิมพ์ และกระดาษเขียนทุกชนิดมีอัตราการดูดซึมของเหลวพอสมควร นอกจากนี้จะเติมสีเพื่อย้อมกระดาษให้มีสีหรือใส่แต่น้อยเพื่อให้ดูสวยงาม เช่น ใส่สีน้ำเงิน และม่วงเพื่อข่มสีเหลืองในเนื้อกระดาษทำให้ดูขาวขึ้น หากต้องการให้กระดาษมีความเหนียวเพิ่มขึ้นก็จะต้องเติมสารเพิ่มความเหนียวลงไป เช่น Modified Starch Gum Arabic ถ้าผลิตเป็นกระดาษเพื่องานพิมพ์ หรืองานเขียน ก็นิยมเติมสารจำพวกดินขาว แคลเซียมคาร์บอเนต และไทเทเนียมไดออกไซด์ ใช้เป็นสารเติมแต่ง ใส่ลงไปเพื่อให้กระดาษมีผิวเรียบ ดูดซึมหมึกพิมพ์ได้ดี เพิ่มความทึบแสงในการพิมพ์หมึกลงบนเนื้อกระดาษ

2. การผลิตเป็นแผ่นกระดาษ เมื่อเตรียมเยื่อจนได้ที่ดีแล้ว ก็ส่งเข้าเครื่องผลิตแผ่นกระดาษเพื่อทำให้เป็นแผ่นโดยส่งน้ำเยื่อเข้าหัวฉีด เพื่อโปรยออกเป็นแผ่นบาง ๆ บนตะแกรงซึ่งจะวิ่งวนตลอดเวลา การเกิดเป็นแผ่นกระดาษบนตะแกรงคล้ายกับการทำกระดาษสาด้วยมือ คือ ใช้ตะแกรงมุ้งลวดตาถี่ตักน้ำ และเยื่อให้ติดตะแกรงซึ่งลอกเป็นแผ่นออกมาได้ เมื่อน้ำเยื่ออยู่บนตะแกรงจะดึงน้ำออกจากทางด้านล่าง ซึ่งจะทำให้กระดาษเริ่มแห้ง เมื่อออกจากตะแกรงแล้วจะเข้าสู่ชุดลูกกลิ้งลักษณะเป็นลูกกลิ้งขนาดใหญ่สองลูกกดกันอยู่โดยมีผ้าสักหลาดหนา ๆ รองรับอยู่เพื่อไม่ให้กระดาษขาด การกดนี้จะบีบน้ำในกระดาษออกมาอีก โดยตามมาตรฐานแล้วต้องมีชุดลูกกลิ้งอยู่ 3 ชุด กระดาษเมื่อออกจากชุดลูกกลิ้ง จะมีความแห้ง หลังจากนี้นำไปอบในลูกอบ เป็นลูกทรงกระบอกทรงกลมภายในลูกอบจะมีไอน้ำแรงดันปานกลางถึงแรงดันสูงในการอบให้กระดาษแห้งในเครื่องผลิตกระดาษจะมีลูกอบจำนวนมาก หรือจำนวนน้อยขึ้นอยู่กับความหนาของกระดาษ กระดาษที่รีดออกมาจากชุดลูกอบจะมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 5–10 ขึ้นกับประเภทของกระดาษ

3. การแปรรูปกระดาษ หลังจากการผลิตกระดาษเป็นแผ่นใหญ่แล้ว จะนำกระดาษไปแปรรูปหลายรูปแบบ เช่น การนำไปตัดซอยเป็นม้วนเล็ก ๆ หรือนำไปตัดเป็นขนาดที่ต้องใช้งาน หากต้องใช้เป็นกระดาษอาร์ตใช้ทำหนังสือก็จะมีการเคลือบผิวกระดาษ ทำให้ผิวเรียบและมัน

2.3 วิธีผลิตกระดาษด้วยมือ

2.3.1 การเตรียมเยื่อ

2.3.1.1 การแช่และทำความสะอาดวัตถุดิบ แช่วัตถุดิบในน้ำสะอาดเป็นเวลา 1 วัน ให้วัตถุดิบอ่อนตัวลง และให้สิ่งสกปรกต่าง ๆ เช่น เศษผง เศษฝุ่นหลุดออกทำให้วัตถุดิบสะอาด

2.3.1.2 การต้มและการล้างเยื่อ

1) การต้มด้วยขี้เถ้า ใช้ภาชนะใส่น้ำตั้งบนไฟจนเดือดแล้วใส่วัตถุดิบและใส่ขี้เถ้าลงไปตามความเหมาะสม ใช้เวลาต้ม 3–5 ชั่วโมง แต่เยื่อที่ได้จากการต้มด้วยขี้เถ้ามักจะมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากอัตราส่วนของขี้เถ้าไม่แน่นอน และยังทำให้เยื่อที่ต้มเสร็จแล้วสกปรก

2) การต้มโดยใช้โซดาไฟ การใช้โซดาไฟจะใช้เวลาในการต้มเพียง 1–2 ชั่วโมง

3) การล้างเยื่อ โดยการล้างสารเคมีหลังจากต้มด้วยขี้เถ้าหรือโซดาไฟแล้ว จะต้องนำไปล้างเพื่อกำจัดเศษผง เมือก ขี้เถ้าและโซดาไฟออกจนหมดยิ่งล้างมากเท่าไรจะได้เยื่อที่มีคุณภาพมากขึ้น

2.3.2 การทำแผ่นกระดาษ มี 2 วิธีดังนี้

1. วิธีตักช้อน นำเยื่อที่ผ่านการเตรียมมาแล้วละลายลงในบ่อช้อนลึก 80 เซนติเมตร ใช้ไม้กวนเยื่อให้มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ในขั้นตอนนี้เพื่อให้เยื่อได้มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ทางกรมส่งเสริมอุตสาหกรรมได้แนะนำให้ใช้ ยางกระเจี๊ยบสดมาคั้นเอาเมือก ผสมกับน้ำให้มีความเข้มข้น 1:1 นำน้ำยางกระเจี๊ยบสดที่ความเข้มข้น 1:1 ใส่ลงในบ่อ ตักเยื่อในอัตราส่วน 1:30 ของน้ำเยื่อโดยปริมาตร จะทำให้เยื่อกระจายตัวโดยสมบูรณ์ เกิดความสม่ำเสมอกันบนแผ่นกระดาษ (อารยา ดำรงค์ศักดิ์, 2531, น.6) การตักช้อนโดยทั่วไปจะใช้ตะแกรงไนลอน และตะแกรงมุ้งลวดขึงอยู่บนเฟรมไม้ทำการตักช้อนเยื่อขึ้นมา โดยการตักต้องอาศัยความชำนาญมากเพราะความหนาบางที่ต่างกันอยู่ที่การตักช้อนนั่นเอง

2. วิธีแตะ โดยการนำเยื่อที่เตรียมมาแล้วทำเป็นก้อน ๆ ให้เท่า ๆ กันจากนั้น นำมาใส่ลงในกระบอกไม้ไผ่ โดยจะผสมกับน้ำเล็กน้อยกวนให้เยื่อแตกตัวฟูขึ้นมาอย่างสม่ำเสมอเทลงบนตะแกรงชนิดกรุด้วยผ้ามุ้ง หรือผ้าใยบัว ขึงตึงกับเฟรมที่ทำด้วยไม้ ให้ลอยตัวในน้ำใช้หลังมือแตะ ๆ ให้เยื่อได้กระจายตัวออกไปทั่วตะแกรงอย่างสม่ำเสมอ แล้วยกตะแกรงขึ้น ซึ่งวิธีแตะจะได้ความหนามากกว่า และเรียบสม่ำเสมอ หากผู้แตะมีความชำนาญ อีกประการหนึ่งวิธีแตะสามารถนำเยื่อไปชั่งน้ำหนักก่อนได้ ดังนั้นจึงทำให้ได้ค่าน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษสม่ำเสมอกันทุกแผ่น แต่วิธีการแตะจะใช้เวลาในการผลิตมากกว่าการช้อนตัก

2.3.3 การทำให้แห้ง

โดยการนำตะแกรงไปตากแดด หรืออบแห้งซึ่งชาวบ้านไม่นิยมจึงยังนิยมใช้วิธีดั้งเดิมคือ ใช้ความร้อนจากแสงแดดเมื่อแห้งดีแล้วจึงแกะกระดาษออก

2.4 สมบัติของกระดาษ

2.4.1 สมบัติทางลักษณะทางโครงสร้าง

กระดาษเป็นแผ่นวัสดุซึ่งมิได้มีเนื้อเดียวกันและมีความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษไม่เท่ากันตลอดทั้งแผ่น ทั้งนี้เพราะโครงสร้างของกระดาษประกอบขึ้นจากการสานตัวของเส้นใยและมีสารเติมแต่งอุดช่องว่างระหว่างเส้นใยลักษณะทางโครงสร้างของกระดาษ จึงเป็นตัวบ่งชี้การจัดเรียงตัวขององค์ประกอบต่าง ๆ ภายในเนื้อกระดาษ เช่น การกระจายตัวของเส้นใย ทิศทางการเรียงตัวในแนวขนานเครื่องของเส้นใย ซึ่งจะมีผลต่อสมบัติอื่น ๆ ของกระดาษ

1. น้ำหนักมาตรฐาน (Basis weight or Grammage) หมายถึง น้ำหนักของกระดาษต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ที่เก็บในสภาวะอุณหภูมิและความชื้นที่ได้มีการควบคุมตามมาตรฐานกำหนด น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษจะเป็นประโยชน์ในด้านการควบคุมการผลิตกระดาษ โดยจะควบคุมปริมาณเนื้อกระดาษที่ใช้ หน่วยที่ใช้วัดน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษจะเป็น กรัมต่อตารางเมตร ตามระบบสากลทั่วไป แต่บางประเทศจะมีการใช้เป็นหน่วยปอนด์ต่อตารางฟุต หรือ ปอนด์ต่อ 3,000 ตารางฟุต ในปัจจุบันมาตรฐาน ISO และ TAPPI ซึ่งเป็นมาตรฐานในการทดสอบกระดาษให้ใช้คำว่า Grammage แทน Basis weight

2. ความหนา (Thickness) หมายถึง ระยะห่างที่ตั้งฉากระหว่างผิวด้านบนและผิวด้านล่างของกระดาษ ภายใต้สภาวะการทดสอบที่กำหนด หน่วยที่ใช้ในสหรัฐอเมริกาจะระบุเป็น นิ้ว (Inchs) หรือ มิล (Mil) ในระบบ SI จะวัดเป็นหน่วยไมโครเมตร (Micrometer) แต่ส่วนใหญ่จะวัดเป็น มิลลิเมตร (Millimeter) ความหน้าของกระดาษจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับน้ำหนักมาตรฐาน แรงกดของลูกกดขณะเดินแผ่น การบดเยื่อ และชนิดของเยื่อที่ใช้ เป็นต้น

3. ความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ (Formation) เป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่ง สำหรับกระดาษโดยความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษเกิดขึ้นจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกระดาษ เช่น เส้นใย สารเติมแต่งต่าง ๆ ที่นำมาผสมกันมีความแตกต่างกันใน ขนาด รูปร่าง ความหนาแน่น ดัชนีหักเหของแสง และองค์ประกอบทางเคมี นอกจากนี้ยังขึ้นกับขั้นตอนการผสมและการเดินแผ่น ซึ่งล้วนแต่มีผลต่อการกระจายตัวและจับตัวกันของสารผสมเหล่านี้ทั้งสิ้น ปัจจุบันยังไม่มีวิธีวัดที่กำหนดเป็นมาตรฐาน หน่วยที่ใช้จะคิดเป็นสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษพื้นที่ขนาดเล็ก คือ 100 SD/X โดยที่ X เป็นน้ำหนักมาตรฐานเฉลี่ย และ SD เป็นความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4. ทิศทางของเส้นใย (Directionality) ในการผลิตกระดาษเส้นใยจะเรียงตัวในแนว x – y plane เป็นส่วนใหญ่ ถ้าแบ่งตามทิศทางของเครื่องจักรผลิตกระดาษ ซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 แนว คือ แนวขนานเครื่อง (Machine Direction: MD) และแนวขวางเครื่อง (Cross Direction: CD) หรือแนวขวางเกรน (Cross Grain Direction) โดยเส้นใยจะเรียงตัวตามแนวขวางเครื่อง (MD) มากกว่าแนวขวางเครื่อง (CD)

5. ความพรุน (Porosity) ลักษณะเป็นรูพรุนเล็ก ๆ อยู่ภายในแผ่นกระดาษ ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นเส้นใย และส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย โดยทั่วไปจะมีอากาศอยู่ประมาณร้อยละ 50 โดยปริมาตร อัตราส่วนของปริมาตรรูพรุนต่อปริมาตรทั้งหมดของแผ่นกระดาษนั้น เรียกว่า ความพรุนของกระดาษ

6. ความเรียบของผิวกระดาษ (Smoothness) เป็นลักษณะผิวกระดาษที่สัมพันธ์กับความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษและความเรียบหยาบของผิวกระดาษทั้งสองด้าน (รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์, 2539, น. 37–46)

2.4.2 สมบัติเชิงกล

สมบัติเชิงกลของกระดาษเป็นตัวบ่งชี้ถึงศักยภาพในการใช้งานของกระดาษ ซึ่งหมายถึง การที่กระดาษมีความทนทานต่อการใช้งาน (Durability) และความสามารถในการต้านทานแรงที่ทำให้กระดาษโค้งงอ ซึ่งแรงเหล่านี้ในหลายขั้นตอน ตั้งแต่การผลิตกระดาษ การแปรรูปจนถึงการใช้งาน กระดาษจะตอบสนองแรงที่มากระทำเหล่านี้ได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของกระดาษ ซึ่งสามารถวัดออกมาได้ในรูปสมบัติเชิงกลได้ สมบัติทางเชิงกลของกระดาษ ได้แก่ ความต้านแรงดึง และการยืดตัว ความต้านแรงดันทะลุ ความต้านแรงฉีกขาด ความทนต่อการพับขาด ความคงรูป

(1) สมบัติทางเชิงกลพื้นฐาน รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์ (2539, น. 47–51) ได้กล่าวถึงสมบัติทางเชิงกลไว้ว่าเป็นสมบัติทางเชิงกลที่บ่งบอกถึงพฤติกรรมของกระดาษ ที่เกิดขึ้นในขณะที่ได้รับแรงดึง ซึ่งกระดาษแต่ละชนิดจะมีพฤติกรรมในลักษณะเดียวกัน สามารถอธิบายได้โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเค้นและความเครียด (Stress–Strain plot) เพื่อให้เข้าใจมากขึ้นจึงควรรู้ความหมายของคำว่า แรงเค้น และความเครียด ดังนี้

– แรงเค้น (Stress) หมายถึง แรงที่กระทำให้วัตถุเกิดการยืดตัว ยกตัวอย่างเช่น แขวนตุ้มน้ำหนักไว้ที่ปลายลวด ลวดจะได้รับแรงดึง ทำให้เกิดการยืดตัวขึ้น เรียกแรงที่กระทำว่า เทนไซล์สเตรส (Tensile stress) มีหน่วยเป็น แรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2)

– ความเครียด (Strain) หมายถึง การยืดตัวของวัตถุเมื่อถูกแรงดึง หน่วยที่ใช้เป็นร้อยละ โดยคิดจากความยาวที่เพิ่มขึ้นต่อความยาวเดิมของวัตถุนอกจากแรงเค้น และความเครียดแล้ว

– Tensile Energy Absorption หรือ TEA เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึง และความยืดวัดจากพื้นที่ใต้เส้นโค้งของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและความยืดของกระดาษ มีหน่วยเป็นพลังงานต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ จูลต่อตารางเมตร (J/m^2)

(2) สมบัติทางเชิงกลประยุกต์ รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์ (2539, น. 51–56) ได้กล่าวถึงสมบัติทางเชิงกลประยุกต์ว่าเป็นสมบัติเชิงกลของกระดาษที่บ่งชี้ค่าความต้านทางแรงที่มากระทำต่อกระดาษในหลายลักษณะจนกระดาษขาด สมบัตินี้จะขึ้นกับทิศทางการเรียงตัวของเส้นใยว่า จะเป็นแนวขนาน

เครื่อง (MD) หรือแนวขวางเครื่อง (CD) โดยทิศทางของเส้นใยจะทำให้ค่าสมบัติทางเชิงกลของกระดาษตามแนวขนานเครื่องและขวางเครื่องแตกต่างกัน นอกจากนี้ความชื้นก็มีผลต่อสมบัติดังกล่าวเช่นเดียวกัน การทดสอบสมบัติเหล่านี้ มีความสำคัญต่อการนำกระดาษไปใช้งาน การตรวจสอบ และการควบคุมคุณภาพ สมบัติดังกล่าวที่ทดสอบโดยทั่วไป ได้แก่

– ความต้านแรงดึงขาด (Tensile Strength) และการยืดตัวก่อนขาด (Elongation) หมายถึง ความสามารถในการรับแรงดึงสูงสุดที่กระดาษจะทนได้ก่อนจะขาดออกจากกัน มีหน่วยเป็นแรงต่อความกว้างของกระดาษที่ใช้ทดสอบ เช่น กิโลนิวตันต่อเมตร (kN/m) หรือปอนด์ต่อนิ้ว (lb/in)

– ความต้านแรงดันทะลุ (Burst Strength) หมายถึง ความสามารถของกระดาษที่จะทนแรงดันได้สูงสุด เมื่อได้รับแรงกระทำในทิศทางตั้งฉากต่อผิวหน้ากระดาษ มีหน่วยเป็น กิโลปาสคาล (kPa) หรือ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

– ความต้านแรงฉีกขาด (Tearing resistance) หมายถึง ความสามารถของกระดาษที่จะต้านแรงกระทำ ซึ่งจะทำให้ชิ้นทดสอบหนึ่งชิ้นขาดออกจากรอยฉีกเดิมหน่วยที่วัดได้เป็น มิลลินิวตัน (mN) หรือ กรัม (Gram)

– ความทนต่อการพับขาด (Folding Endurance) หมายถึง จำนวนการพับไปพับมา (Double Folds) ของชิ้นทดสอบจนกระทั่งชิ้นทดสอบขาดออกจากกันภายใต้แรงดึงที่กำหนด หน่วยที่ใช้วัดเป็นจำนวนครั้ง หรือ log10 ในระบบ SI ค่าความทนทานต่อการพับขาดในแนวขนานเครื่องสูงกว่าแนวขวางเครื่อง

– ความคงรูป (Stiffness) หมายถึง ความสามารถของกระดาษที่จะต้านทานแรงที่มากระทำให้กระดาษโค้งงอด้วยน้ำหนักกระดาษจากภายนอก หน่วยที่ใช้วัดเป็น นิวตันเมตร หรือ นิวตัน หรือหน่วยอื่นที่เกี่ยวข้อง

2.4.3 สมบัติด้านทัศนศาสตร์

สมบัติด้านทัศนศาสตร์ หมายถึง สมบัติทางแสงของกระดาษที่ปรากฏแก่สายตา ได้แก่ ความขาวสว่าง (Brightness) ความทึบแสง (Opacity) ความขาว (Whiteness) ความมันวาว (Gloss) สมบัติเหล่านี้ของกระดาษไม่สามารถวัดค่าออกมาโดยอาศัยหลักการทางฟิสิกส์เพียงอย่างเดียวได้ แต่จะต้องประกอบด้วยหลักการทางจิตวิทยาร่วมด้วย ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการมองเห็นของสายตามนุษย์ ซึ่งต้องอาศัยดวงตาในการสังเกตและสมองตัดสินการรับรู้ในการมองเห็นอีกครั้ง ดังนั้นในการวัดค่าเกี่ยวกับสมบัติทางด้านทัศนศาสตร์จึงต้องประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนในการพิจารณา คือ แหล่งกำเนิดแสง กระดาษที่ถูกส่องสว่าง และดวงตามนุษย์หรือเครื่องวัดแสงที่ทำหน้าที่สังเกตการณ์และแปลผลของการสะท้อนแสงหรือการส่องผ่านของแสงที่กระทำต่อกระดาษ

ความขาวสว่าง (Brightness) ในวงการอุตสาหกรรมกระดาษ จะหมายถึง ค่าการสะท้อนแสงของแสงสีน้ำเงินที่ช่วงคลื่น 457 นาโนเมตร (nm) เท่านั้น จุดประสงค์เดิมของการวัดความขาวสว่างเพื่อต้องการดูผลของการฟอกเยื่อเป็นสำคัญเยื่อกระดาษที่ยังไม่ได้ฟอกส่วนมากจะมีสีน้ำตาลเข้มจนถึงเหลืองอ่อน อันเนื่องจากลิกนินจะดูดซับแสงสีน้ำเงินไว้ ทำให้ค่าการสะท้อนแสงที่ได้ในช่วงแสงสีน้ำเงินมีค่าต่ำแต่เมื่อนำเยื่อไปฟอกโดยการขจัดลิกนิน หรือเปลี่ยนโครงสร้างแล้ว เยื่อฟอกขาวที่ได้จะให้ค่าการสะท้อนแสงที่ช่วงแสงสีน้ำเงินสูงขึ้นมาก ความขาวสว่างเป็นเกณฑ์การวัดทางฟิสิกส์ ซึ่งไม่สามารถที่จะใช้บ่งชี้สมบัติด้านสีของกระดาษ เพราะกระดาษที่มีความขาวสว่างเท่ากัน อาจมีเฉดสีขาวต่างกัน ขึ้นอยู่กับการแต่งสี อย่างไรก็ตามเมื่อระดับความขาวสว่างสูงมากขึ้น ปัญหานี้จะลดน้อยลง

ความขาว (Whiteness) เป็นสมบัติที่แตกต่างจากความขาวสว่างคนจะรู้สึกว่า กระดาษหรือวัสดุใดมีสีขาวกว่าอีกสีหนึ่ง ถ้ากระดาษนั้นสะท้อนแสงในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นออกมาสม่ำเสมอกว่าการย้อม (Tinting) กระดาษขาวด้วยสีม่วงหรือสีน้ำเงินทำให้ดูขาวขึ้นก็เพราะแสงสีเหลืองและแสงสีแดงถูกดูดซับไว้มากขึ้น จึงสะท้อนออกมาย้อยลง หากเราวัดค่าความขาวสว่าง จะพบว่า ลดลงเล็กน้อย เนื่องจากมีทุกสีที่ใส่ลงไปในกระดาษจะถูกดูดกลืนแสงไว้ แต่สีน้ำเงินจะมีผลกระทบต่อค่าความขาวสว่างน้อยกว่าสีอื่น การใช้สารฟอกนวลในกระดาษ เป็นการช่วยกระดาษให้มีการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นสีม่วงและสีน้ำเงินมากขึ้น กระดาษจึงดูขาวขึ้นเมื่อดูด้วยแสงแดด หรือแสงที่มีปริมาณรังสีอัลตราไวโอเลตใกล้เคียงกับแสงธรรมชาติในเวลากลางวัน ความขาวที่ผู้ใช้พอใจอาจเปลี่ยนแปลงได้ หรือแตกต่างกันในที่ต่างๆ การวัดความขาวจึงยุ่งยากและซับซ้อนกว่าความขาวสว่าง โดยเฉพาะเมื่อกระดาษมีสารฟอกนวล โดยหลักการจะประเมินค่าความขาวจากการวัดค่าไตรสติมูลัส (Tristimulus Values) ของกระดาษ แล้วคำนวณค่าดัชนีความขาว (Whiteness Index)

2.4.4 สมบัติด้านการกีดกั้นและด้านการต้านทานของกระดาษ

สมบัติด้านการกีดกั้น (Barrier Property) หมายถึง ความสามารถของกระดาษในการป้องกันการซึมทะลุผ่านของสารใด ๆ เข้าไปในเนื้อกระดาษ สมบัติด้านการต้านทาน (Resistance Property) หมายถึง ความสามารถของกระดาษในการต้านทานการซึมทะลุผ่านของสารใด ๆ เข้าไปในเนื้อกระดาษ

กระดาษหลายชนิดที่ใช้เพื่อการสื่อสารและการบรรจุภัณฑ์ ต้องมีสมบัติด้านการต้านทาน เช่น กระดาษออฟเซต กระดาษทำถุง ต้องมีความต้านทานการดูดซึมน้ำสูง และกระดาษกันไขมัน (Greaseproof Paper) ต้องมีความต้านทานการดูดซึมไขมันสูง สำหรับกระดาษเพื่อการบรรจุภัณฑ์ต้องมีสมบัติด้านการกีดกั้นสูงต่อของเหลว ไอน้ำอากาศ ไขมัน และออกซิเจน เพื่อปกป้องสินค้าที่บรรจุอยู่ภายใน

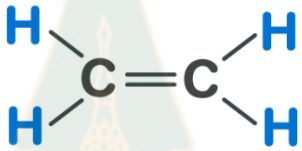
กระดาษจะมีการดูดซึมสารเมื่อสารซึมทะลุผ่านเข้าไปในเนื้อกระดาษ ซึ่งภายในประกอบด้วยรูพรุน และรูปิดจำนวนมากมาย ซึ่งรูเหล่านี้มีผลต่ออัตราการไหลผ่านกระดาษของสารซึมทะลุ สมบัติ

ด้านการกีดกั้นและด้านการต้านทานของกระดาษ ได้แก่ การไหลผ่านกระดาษ การทำให้กระดาษมีสมบัติด้านการต้านทาน การทำให้กระดาษมีสมบัติด้านการกีดกั้น การทดสอบสมบัติด้านการต้านทานการดูดซึมน้ำ (อิทธิศานติ์ วชิรานุภาพ, 2542, น. 19–20)

2.5 เอทิลีนและกลไกการสุกของกล้วย

2.5.1 เอทิลีน

เอทิลีน หรือ ก๊าซเอทิลีน (Ethylene: C_2H_4) คือ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก เกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติสามารถติดไฟได้ โดยทั่วไปเอทิลีนอยู่ในรูปก๊าซที่มองไม่เห็นและไม่มีกลิ่น สูตรโครงสร้างของเอทิลีนแสดงในภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของเอทิลีน

ที่มา: https://byjus.com/chemistry/ethylene/ สืบค้นเมื่อ 8 ตุลาคม 2567

โดยทั่วไปเอทิลีน เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น การเผาไหม้น้ำมัน ถ่านหิน ไอเสียจากการสันดาปภายในเครื่องยนต์ การสูบบุหรี่ การเชื่อมโลหะ และพบเอทิลีนได้ในผลไม้สุก

เอทิลีนที่พบในผักผลไม้ เป็นฮอร์โมนที่ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช พบได้ตามธรรมชาติเมื่อผลไม้สุก หรือเมื่อผลไม้เกิดการบอบช้ำในระหว่างการขนส่ง โดยเอทิลีนจะส่งผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาในพืช เช่น การสุกของผลไม้ การออกดอก เอทิลีนที่พบในผักผลไม้มีปริมาณน้อยไม่ก่อให้เกิดอันตรายเมื่อเทียบกับเอทิลีนที่พบจากการสันดาปในเครื่องยนต์

เอทิลีน สามารถส่งผลกระทบในเชิงบวกและเชิงลบต่อพืช ผลกระทบเชิงบวกของเอทิลีน เช่น ใช้เร่งการสุกของผลไม้ ทำให้ผลไม้มีอัตราการสุกสม่ำเสมอ ทำให้สีของผักผลไม้มีความสม่ำเสมอ ใช้เร่งการงอกของเมล็ด ผลกระทบเชิงลบของเอทิลีน เช่น ทำให้ผักเกิดสีเหลือง การเกิด สีน้ำตาล (Browning) และทำให้ใบพืชหลุดร่วง

2.5.2 กล้วยหอม

กล้วยหอมเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญและเป็นประเด็นยุทธศาสตร์ในการพัฒนาด้านการเกษตร ในปี 2562 ภาครัฐได้ให้ความสำคัญกับการปลูกกล้วยหอมทองโดยส่งเสริมให้เกษตรกรเพาะปลูกกล้วยหอมทอง และเป็นพืชที่จัดอยู่ในพืชมีมูลค่าสูงเพื่อสร้างรายได้ (crash crop) (กรมส่งเสริมการเกษตร,

2563) และมีการนำเข้ามาขายในห้างสรรพสินค้าขนาดกลาง และร้านสะดวกซื้อ เช่น ร้านเซเว่นอีเลฟเว่น ที่มียอดขายเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง โดยมีกล้วยหอมทองที่จำหน่ายผ่านร้านเซเว่นอีเลฟเว่น สูงถึงวันละเกือบ 100,000 ผล (สำนักจัดซื้อของเซเว่นอีเลฟเว่น ซีพี ออลล์, 2558)

กล้วยหอมทองมีการปลูกมากในจังหวัดภาคกลาง เช่น ปทุมธานี เพชรบุรี และสระบุรี เป็นต้น โดยจังหวัดเพชรบุรีเป็นแหล่งผลิตกล้วยหอมทองขนาดใหญ่อันดับ 2 ของประเทศไทย ในปี 2561 มีปริมาณผลผลิตสูง 29,870 ตัน จังหวัดเพชรบุรีเป็นจังหวัดที่ผลิตกล้วยหอมทองเพื่อขายในประเทศมากที่สุด (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2563) โดยขายในห้างสรรพสินค้าขนาดกลางและร้านสะดวกซื้อ

กล้วยเป็นผลไม้ที่มีสีสวย แต่สุกเร็วและเละง่าย (Smith et al., 1989) การรักษาคุณภาพของกล้วยให้ดี เป็นที่ต้องการของตลาด จึงต้องมีการปฏิบัติที่ดีทั้งก่อนและหลังเก็บเกี่ยว กล้วยหอมเมื่อสุกผลจะขาดหลุดจากขั้วได้ง่ายทำให้ไม่เป็นที่ต้องการของตลาดผลไม้สด อายุของกล้วยหอมตั้งแต่ออกดอกจนถึงเริ่มเก็บเกี่ยวใช้เวลา 3 เดือน เมื่อผ่าตามขวางของผลดูจะเห็นว่าผลค่อนข้างกลม ไม่มีเหลี่ยม การเก็บเกี่ยวกล้วยมักจะเก็บเมื่อผลยังดิบ และให้ไปสุกที่ตลาด การปฏิบัติที่ดีก่อนการเก็บเกี่ยวทำโดยการห่อคลุมเครือกล้วยด้วยถุงพลาสติก ที่เจาะรูระบายอากาศ ซึ่งเป็นถุงที่เปิดทั้งโคนและปลายผ้า ผูกโคนด้วยเชือกและปล่อยชายด้านล่าง ห่อคลุมไว้ตั้งแต่ดอกพัฒนาเป็นผลหมดทั้งเครือ และควรพ่นสารเคมีป้องกันการทำลายของโรคและแมลงก่อนการห่อคลุมถุง การเก็บเกี่ยวกล้วยขึ้นอยู่กับตลาดที่จะนำกล้วยไปขาย ถ้าเป็นตลาดใกล้ในจังหวัดเดียวกัน การตัดกล้วย อาจตัดได้เมื่อผลแก่เต็มที่ แต่ถ้าส่งขายต่างจังหวัดที่ใช้เวลาเดินทางมากขึ้น ต้องตัดให้อ่อนกว่านั้น ส่วนการส่งขายต่างประเทศ ต้องใช้เวลาขนส่งนาน จึงต้องเก็บผลที่มีอายุประมาณ 70% เพราะต้องการให้ผลนั้นมีสีเขียวอยู่ได้ในอุณหภูมิห้อง 2–7 วัน หรืออยู่ในห้องเย็นได้ 5–20 วัน (เบญจมาศ, 2558, และ สำนักงานสหกรณ์จังหวัดเพชรบุรี, ม.ป.ป.)

การบรรจุหีบห่อสำหรับการส่งออกทำโดยแบ่งเครือกล้วยออกเป็นหวี คัดกล้วยที่ได้ตามขนาดและมีความสมบรูณ์ หลังจากนั้นจะตัดเกสร ล้างทำความสะอาดผลกล้วย ตัดครึ่งหวีกล้วย ตัดแต่งผลที่เสียหาย แช่น้ำ 5 นาที ล้างยางออก เป่าลมตามช่อง เพื่อกำจัดแมลงและทำให้กล้วยแห้ง จากนั้นจึงบรรจุกล่อง เพื่อรอการส่งออก กล่องที่บรรจุกล้วยแล้ว จะถูกนำไปที่ท่าเรือด้วยรถห้องเย็นที่ปรับอุณหภูมิ 13–14 องศา เพื่อป้องกันการสะสมของเอทิลีน ที่กล้วยปล่อยออกมาในระหว่างการขนส่ง (เบญจมาศ, 2558) แต่สำหรับการขายภายในประเทศ จะตัดกล้วยที่มีความแก่เต็มที่ (สำนักงานสหกรณ์จังหวัดเพชรบุรี, ม.ป.ป.) กล้วยหอมทองโดยลักษณะตามธรรมชาติ ไม่ค่อยเหมาะต่อการส่งออกเพราะสุกง่าย แม้ไม่บ่มก็สุกได้เร็ว จึงจำเป็นต้องเก็บรักษาในอุณหภูมิที่เย็น และวิธีการอื่น ๆ ในการลดเอทิลีนเพื่อป้องกันกล้วยสุกระหว่างการเดินทาง เช่น สารดูดซับเอทิลีน หรือ สารที่ยั้บยั้งการทำงานของเอทิลีน อย่างไรก็ตาม ยังพบว่ากล้วยหอมทองที่ผลิตได้มีการสูญเสียเกิดขึ้นในระหว่างการ

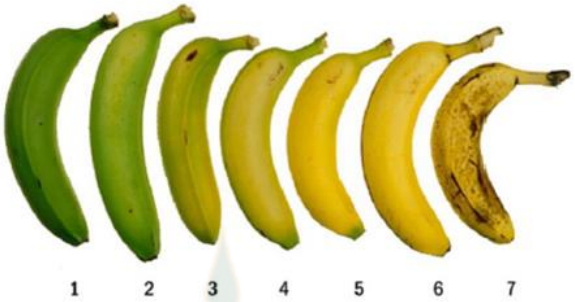
ส่งออกโดยปัญหาที่พบ ได้แก่ ผลกล้วยหอมทองเกิดการสุกในระหว่างการขนส่งเข้าสู่ประเทศผู้รับซื้อ จึงไม่สามารถส่งออกกล้วยหอมทองได้ตามปริมาณการสั่งซื้อที่ตลาดต่างประเทศต้องการ เนื่องจากมีการเปลี่ยนสีของผลในระยะเวลาเพียง 3–4 วัน และตามด้วยการหลุดร่วงของผล

2.5.2 กลไกลการสุกของกล้วย

การสุก เป็นระยะที่กล้วยมีการเจริญเติบโตเต็มที่ มีการเปลี่ยนแปลงหลายอย่างทั้งทางสรีรวิทยา และการเปลี่ยนแปลงทางเคมี มีการผลิตเอทิลีนมากขึ้นอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการแสดงถึงการเริ่มต้นของกระบวนการสุก โดยหลังจากการปลูกกล้วยหอมแล้วประมาณ 10–11 เดือน จะเริ่มเก็บเครือได้ โดยมีระยะหลังปลูกถึงแทงปลี 7–8 เดือน และหลังจากแทงปลีจนเก็บเครือได้ 70–80 วัน โดย 1 เครือ จะมีหวีประมาณ 6–10 หวี และ 1 หวี มีประมาณ 10–16 ผล หรือมากกว่า

กล้วยเป็นผลไม้ประเภท Climacteric Fruit ซึ่งหลังการเก็บเกี่ยวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงหลายอย่าง ทั้งการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในผล ได้แก่ ความเข้มข้นของเอทิลีนภายในผลและการผลิตเอทิลีนมากขึ้น อัตราการหายใจเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการแสดงถึงการเริ่มต้นของกระบวนการสุก จะสังเกตเห็นการเปลี่ยนสีของเปลือก โดยปกติที่เปลือกกล้วยจะที่มีแคโรทีนอยด์และสารแซนโทฟิลล์เป็นองค์ประกอบ เมื่อกล้วยยังไม่สุกจะเห็นเปลือกเป็นสีเขียว โดยสารแคโรทีนอยด์จะถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์บดบังเอาไว้ แต่เมื่อกล้วยเข้าสู่กระบวนการสุกคลอโรฟิลล์จะสลายตัวไป สีของแคโรทีนอยด์จึงปรากฏให้เห็น (จริงแท้, 2546) จะพบการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัส เกิดการนิ่มลงของเนื้อเยื่อ (Softening) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผนังเซลล์ เช่น สารประกอบพวกเพกทิน (Pectin) โมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตเปลี่ยนแปลงไป เช่น แป้งเปลี่ยนเป็นน้ำตาล หรือน้ำตาลชนิดหนึ่งเปลี่ยนเป็นอีกชนิดหนึ่ง อัตราส่วนของน้ำตาลกับกรดเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของน้ำหนักเนื้อและเปลือกขณะที่เกิดการสุก ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสูญเสียน้ำ การเปลี่ยนแปลงสารระเหย (Volatile) และการเกิดกลิ่น โดยปกติเมื่อกล้วยสุกจะมีทั้งปริมาณและชนิดของสารระเหยเพิ่มมากขึ้น และการเกิดกลิ่นเป็นผลมาจากการสร้างสารผสมของสารระเหยหลายชนิด (Seymour et al.,1993; Goulao & Oliveira, 2008) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการสุกนั้น จะมีความสัมพันธ์กับระยะการสุกของผล และเป็นตัวกำหนดคุณภาพของผลไม้

กล้วยหอม มีระยะการสุก 7 ระยะ แสดงในภาพที่ 2.2 และตารางที่ 2.1



ภาพที่ 2.2 ระยะการสุกของกล้วยหอมทอง

ที่มา: Tilman Ringer & Michael Blanke. (2021).

ตารางที่ 2.1 แสดงระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงของกล้วย

ระยะเวลา/ชื่อระยะ	ลักษณะผลกล้วย
ระยะที่ 1. Green	เปลือกเขียว ผลแข็ง ไม่มีการสุก
ระยะที่ 2. Green with a trace of yellow	เริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นเหลืองนิด ๆ
ระยะที่ 3. More green than yellow	เปลี่ยนจากเขียวเป็นเหลือง แต่มีสีเขียวมากกว่าเหลือง
ระยะที่ 4. More yellow than green	เปลือกมีสีเหลืองมากกว่าเขียว
ระยะที่ 5. Green tip	เปลือกเป็นสีเหลืองแต่ปลายยังเขียวอยู่
ระยะที่ 6. All yellow	ผลมีสีเหลืองทอง (ผลสุก)
ระยะที่ 7. Yellow flecked with brown	ผิวสีเหลืองมีจุดกระสีน้ำตาล (สุกเต็มที่มีกลิ่น)

ที่มา: คณาจารย์ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร, (2559, น. 30)

จากภาพที่ 2.2 ระยะการสุกของกล้วยหอมทอง และตารางที่ 2.1 แสดงระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงของกล้วยเป็น 7 ระยะ ระยะที่ 1 กล้วยเปลือกเขียว ผลแข็ง ไม่มีการสุกไม่มีกลิ่นหอม ระยะที่ 2 เปลือกกล้วยส่วนใหญ่เป็นสีเขียว บางส่วนเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นเหลืองนิด ๆ เริ่มสุก ยังไม่มีกลิ่น ระยะที่ 3 เปลือกกล้วยเปลี่ยนจากเขียวเป็นเหลืองมากขึ้น เปลือกมีสีเขียวมากกว่าเหลือง ยังไม่มีกลิ่น ระยะที่ 4 เปลือกกล้วยเปลี่ยนจากเขียวเป็นเหลืองมากขึ้น เปลือกมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว ยังเหลืองไม่ทั่วทั้งผล ยังมีเปลือกส่วนที่เป็นสีเขียวอยู่ เริ่มสุกเริ่มมีกลิ่นหอมอ่อน ๆ เนื้อนิ่มลง ระยะที่ 5 เปลือกกล้วยมีสีเหลืองเกือบทั่วผล มีการสุกมากขึ้น แต่ปลายและขั้วยังเป็นสีเขียวอยู่มีกลิ่นหอมอ่อน ๆ เนื้อนิ่มลง ระยะที่ 6 ทั้งผลมีสีเหลือง มีการสุกเต็มที่ ปลายและขั้วเป็นสีเหลืองเกือบทั้งหมด มีกลิ่นหอม เนื้อนิ่มลง ระยะที่ 7 ผิวสีเหลือง และเริ่มมีจุดสีน้ำตาลประปราย (สุกเต็มที่) มีกลิ่นหอมชัดเจน เนื้อนิ่มลง (เบญจมาศ, 2545)

ตารางที่ 2.2 รูปร่างตามขวางของผลกล้วยเมื่ออายุต่างกัน

ร้อยละความสุก	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
รูปร่างตามขวางของกล้วย				
เหลี่ยมที่ผล	ผลมีเหลี่ยมเห็นชัด	ผลมีเหลี่ยมเห็นชัดน้อยลง	ผลแทบจะไม่มีเหลี่ยม	ผลไม่มีเหลี่ยม

ที่มา: ดัดแปลงจาก เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2545, น. 130.

รูปร่างตามขวางของผลกล้วยเมื่ออายุต่างกันในตารางที่ 2.2 ทำให้สามารถระบุร้อยละความสุกของกล้วยโดยพิจารณาจากรูปร่างตามขวางและลักษณะของเหลี่ยมบนผลกล้วยได้ โดยร้อยละความสุก 70% ผลกล้วยมีเหลี่ยมเห็นชัด ร้อยละความสุก 80% ผลกล้วยมีเหลี่ยมเห็นชัดน้อยลง ร้อยละความสุก 90% ผลกล้วยแทบจะไม่มีเหลี่ยม ร้อยละความสุก 100% ผลกล้วยจะกลมไม่มีเหลี่ยม

ในช่วงที่ผลสุก พบว่าช่วงนี้จะมีการสร้างเอทิลีนเป็นจำนวนมาก ดังนั้นอัตราการหายใจ และปริมาณเอทิลีนจึงมีความสัมพันธ์กัน เมื่อมีปริมาณเอทิลีนสูง จะเร่งให้มีการเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสุกของผลไม้ ซึ่งปัจจัยใดที่มีผลต่อการยับยั้งการสร้างเอทิลีนหรือมีผลทำลายเอทิลีน ก็จะชะลอการสุกของผลไม้ได้ จากหลักการนี้จึงนำมาใช้ประโยชน์ในการควบคุมการสุกของผลไม้ให้เกิดหรือไม่ให้เกิดขึ้นได้ตามที่ต้องการ

การสุกจะเกิดขึ้นอย่างปกติเมื่อผลไม้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม เช่น ผล แก่จัดเต็มที่ อุณหภูมิพอเหมาะ ความชื้นสัมพัทธ์พอเหมาะ มีออกซิเจนเพียงพอ ในทางตรงกันข้ามถ้าผล ยังไม่แก่จัด อุณหภูมิต่ำหรือสูงไป หรือมีคาร์บอนไดออกไซด์สูง ทำให้ผลสุกช้าลง และอาจเกิดการสุกอย่างผิดปกติ มีการสร้างเอทิลีนน้อยลง และการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ภายในผลอาจเกิดไม่สมบูรณ์ เช่น ผิวไม่เปลี่ยนสี ผลเหี่ยว (พีรเดช, 2557)

2.6 ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นถ่านที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงและมีรูพรุนขนาดเล็ก อยู่ภายในเป็นจำนวนมาก ถ่านกัมมันต์เกิดจากการนำเอาวัตถุดิบจากธรรมชาติ ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาผ่านกระบวนการก่อกัมมันต์แล้วทำให้วัตถุดิบนั้นมีโครงสร้างรูพรุน และมีพื้นที่ผิวจำเพาะภายในสูงขึ้น ซึ่งโครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์จะมีลักษณะคล้ายรังผึ้ง โดยถ่านกัมมันต์จะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก 87–90% และมีธาตุอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ และไนโตรเจน เป็นองค์ประกอบด้วย ปริมาณที่พบจะมีมากหรือน้อยเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ

ในปัจจุบันสามารถผลิตถ่านออกมาได้หลายรูปแบบ ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของถ่านกัมมันต์ตามลักษณะทางกายภาพ ได้ดังนี้

1. ถ่านกัมมันต์แบบผง (Powdered Activated Carbon: PAC) คือถ่านกัมมันต์ที่ถูกบดจนสามารถผ่านตะแกรงร่อนขนาด 60 เมชได้ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 250 ไมโครเมตร) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 และได้นำถ่านกัมมันต์แบบผงมาใช้ในการวิจัยนี้

2. คาร์บอนแบบเกล็ดหรือแบบเม็ด (Granular Activated Carbon: GAC) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ทำจากวัตถุดิบที่เป็นเม็ด หรือเป็นถ่านกัมมันต์แบบผงที่นำมาเติมตัวประสานแล้วถูกอัดเป็นเม็ด

3. ถ่านกัมมันต์แบบอัดแท่ง (Extruded Activated Carbon) เป็นถ่านที่นำมาขึ้นรูปเป็นแท่งทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.8–55 มิลลิเมตร

4. ถ่านกัมมันต์เคลือบอนุภาค (Impregnated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ชนิดพิเศษที่ได้เติมโมเลกุลสารอนินทรีย์ลงไปในโครงสร้าง เช่น โลหะเงิน ไอโอดีน ไอออนบวก เช่น อะลูมิเนียม แมงกานิส สังกะสี เหล็ก ลิเทียม และแคลเซียม

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่มีรูพรุนขนาดตั้งแต่ 20 อังสตรอม ถึง 20,000 อังสตรอม โดยปกติวัสดุรูพรุน สามารถจำแนกขนาดรูพรุนได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. ไมโครพอรัส (Microporous) เป็นรูพรุนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2 นาโนเมตร

2. เมโซพอรัส (Mesoporous) เป็นรูพรุนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 2–50 นาโนเมตร

3. แมคโครพอรัส (Microporous) เป็นรูพรุนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 50 นาโนเมตร

เนื่องจากวิธีการเตรียมที่แตกต่างกันขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์จึงมีความแตกต่างกัน จากสมบัติของรูพรุนที่อยู่ภายใน เช่น พื้นที่ผิวของรูพรุน (Pore Surface Area) ปริมาตรของรูพรุน (Pore Volume) และการกระจายขนาดรูพรุน (Pore Size Distribution) ทำให้ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับสูงมาก จึงถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในงานด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อกำจัดสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ออกจากก๊าซและของเหลว ถ่านกัมมันต์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น ใช้ในกระบวนการทำสารเคมีให้บริสุทธิ์ หรือในกระบวนการนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ดูดซับก๊าซ เนื่องจากมีสมบัติที่ดี เหมาะสมแก่การใช้งาน และมีราคาไม่แพงมาก ทำให้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประกอบด้วยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการผลิตกระดาษจากฟางข้าว วิธีการเตรียมเส้นใยแบบต่าง ๆ ปริมาณการเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในขั้นตอนการผลิตกระดาษ การทดสอบสมบัติของกระดาษ และแนวทางการใช้กระดาษผสมผงถ่านกัมมันต์ในการชะลอการสุกของผักผลไม้ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

Leulee Nortoualee (2564) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อจากฟางข้าวจำนวน 3 ชนิด ซึ่งเป็นพันธุ์พื้นเมืองของลาว ได้แก่ ข้าวหนอน ข้าวโพนงาม 3 และข้าวถิ่นแก้ว โดยใช้ฟางข้าวชนิดละ 20 กรัม ต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้นร้อยละ 0.5, 1, 2, 4 และ 6 โดยน้ำหนักฟางข้าวแห้งต่อปริมาตร โดยเติมน้ำยาต้มเยื่อ 30 เท่าของน้ำหนักฟางข้าวแห้ง ใช้อุณหภูมิ 90–100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที พบว่า ฟางข้าวโพนงาม 3 ให้ผลผลิตของเยื่อมากที่สุด การปรับปรุงสมบัติของกระดาษโดยใช้เยื่อกระดาษเปียก 50 กรัม ผสมกับแป้งมันสำปะหลังต้มสุก และแป้งข้าวเจ้าที่ต้มสุกร้อยละ 6 ได้กระดาษมีความแข็งแรงเพิ่มสูงมากขึ้น และพบว่ากระดาษฟางข้าวที่ทำการปรับปรุงด้วยแป้งข้าวเจ้าต้มสุกร้อยละ 6 ที่ผ่านการอัดเป็นกระดาษที่มีความต้านทานแรงดึงสูงที่สุด

สุประภาดา วาดวงษ์ศรี และคณะ (2564) ได้พัฒนาและผลิตกระดาษจากตอซังข้าวโพดเพื่อชะลอการสุกของผลไม้ โดยการนำตอซังข้าวโพดซึ่งมีส่วนประกอบ คือ เปลือก ต้น และใบ มาปรับสภาพเส้นใยโดยแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ความเข้มข้นร้อยละ 6 สารละลายกรดอะซิติก ความเข้มข้นร้อยละ 5 และสารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต นำเยื่อจากเปลือก ต้น และใบ ผสมแป้งมันสำปะหลังดัดแปร ขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ขนาด 20 × 30 เซนติเมตร ศึกษาสมบัติทางกายภาพ พบว่ากระดาษจากตอซังข้าวโพดแบบรวมมีคุณภาพดีที่สุด จึงนำมาพัฒนาเป็นกระดาษเพื่อชะลอการสุกของผลไม้โดยผสมผงถ่านกัมมันต์ พบว่าสามารถรับน้ำหนักได้มากที่สุด 100 กรัม ระยะเวลาในการดูดซึมน้ำผ่านพื้นผิวของกระดาษจากตอซังข้าวโพด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3 นาที 43 วินาที และผลการศึกษาการชะลอการสุกของกล้วยหอมทองเมื่อครบ 15 วัน พบว่ากล้วยหอมทองมีลักษณะของการสุกช้า เนื่องจากสีของเปลือกเปลี่ยนแปลงช้า เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นหอมเล็กน้อย และมีการสูญเสียน้ำหนักมีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด 0.3 กรัมเมื่อเทียบกับไม่มีการห่อผลกล้วยหอมทอง

ปริญญา ไกรวุฒินันท์ และคณะ (2563) ได้ผลิตกระดาษดูดซับเอทิลีนผสมผงถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่และตอซังข้าวโพด เพื่อศึกษาผลของผงถ่านกัมมันต์ต่อการชะลอการสุกและคุณภาพของกล้วยหอมทอง โดยศึกษาอัตราส่วนของผงถ่านกัมมันต์ต่อปริมาณเยื่อกระดาษร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) พบว่ากระดาษผสมผงถ่านกัมมันต์สามารถยืดอายุการเก็บรักษาและการเปลี่ยนสีของกล้วยหอมทองได้ โดยกระดาษผสมถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่และซังข้าวโพด (ร้อยละ 30 และ 40 (น้ำหนัก/น้ำหนัก)) สามารถยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองได้ยาวนานกว่าชุดควบคุมโดยสามารถเก็บได้ถึง

12 วัน โดยสภาพเปลือกกล้วยยังมีสีเหลือง ขณะที่กล้วยในชุดควบคุมสามารถเก็บรักษาได้เพียง 6 วัน โดยมีคุณภาพที่ไม่ดีและมีสีดำ

จิตตา สาตร์เพ็ชร์ และคณะ (2563) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของกระดาษดูดซับเอทิลีนจากกาบกล้วยที่มีผงถ่านกัมมันต์เป็นองค์ประกอบที่ความเข้มข้นต่างกัน เพื่อยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง โดยนำกาบกล้วยสดย่อยในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5% จากนั้นล้างทำความสะอาดนำไปอบแห้ง แล้วนำไปขึ้นรูปกระดาษโดยเติมผงถ่านกัมมันต์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 10, 20 และ 30% โดยน้ำหนักเยื่อแห้ง จากขึ้นรูปกระดาษแล้วทดสอบสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ (1) ความต้านทานทานแรงฉีกขาด (2) อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และ (3) ประสิทธิภาพในการดูดซับเอทิลีน พบว่ากระดาษกาบกล้วยผสมผงถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 ยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองได้นานที่สุด โดยยืดอายุการเก็บรักษาได้ 12 วันที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 ± 5 และดูดซับ เอทิลีนได้คงเหลือ 0.05 ppm โดยลักษณะทางกายภาพ การเปลี่ยนแปลงทางเคมี และทางสรีรวิทยาของกล้วยหอมทองหลังการเก็บรักษามีคุณภาพดีที่สุด

ศิริพร เต็งรัง และคณะ (2561) ได้ศึกษาการผลิตกระดาษดูดซับเอทิลีนจากเปลือกทุเรียน เพื่อใช้ยืดอายุการเก็บรักษาผัก และผลไม้ เริ่มโดยสกัด และฟอกขาวเส้นใยขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษจากนั้นนำมาเตรียมกระดาษดูดซับเอทิลีนโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุดูดซับ 3 แบบ ในปริมาณที่เท่ากัน คือ ชนิดผง เม็ด และแท่ง พบว่า กระดาษดูดซับเอทิลีนที่ใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงมีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงที่อุณหภูมิห้องได้ดีที่สุด คือ สามารถเก็บรักษามะม่วงได้นาน 10 วันจากนั้นศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมของถ่านกัมมันต์ชนิดผง พบว่ามีประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซเอทิลีนมากกว่า 95% ในชั่วโมงแรกมีการดูดซับใกล้เคียงกับสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าที่มีน้ำหนักสารดูดซับเท่ากัน โดยกระดาษเติมผงถ่านกัมมันต์ 5% มีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงที่อุณหภูมิห้องดีที่สุด คือ สามารถเก็บรักษามะม่วงได้นาน 15 วัน

Ratchadaporn (2562) ศึกษากระดาษแอ๊กถีฟด้วยการคลือบ (Active Coated Paper) เพื่อนำมาห่อมะม่วงเพื่อควบคุมเชื้อรา โรคแอนแทรคโนส และชะลอการสุกของผลไม้ นำกระดาษมาเคลือบด้วยสารละลาย vanillin chitosan ที่ปริมาณซีโอไลต์และถ่านกัมมันต์ที่ 0.1%, 0.2%, และ 0.4% ของปริมาณสารดูดซับ เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณของสารดูดซับที่เหมาะสม และปริมาณเอทิลีนที่ถูกดูดซับได้ จากนั้นเลือกสภาวะที่ดีที่สุดนำมาทดลองห่อมะม่วงน้ำดอกไม้ ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 90% เป็นเวลา 30 วัน พบว่ากระดาษที่เคลือบด้วยซีโอไลต์ที่ 0.2% ดูดซับเอทิลีนได้ดีที่สุด ร่องรอยการเกิดเชื้อราน้อยลง รวมทั้งสมบัติของมะม่วง ได้แก่ ค่าการสูญเสียน้ำหนัก ค่าความแน่นเนื้อ ค่าของแข็งละลายน้ำ มีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับกระดาษธรรมดาที่ไม่ได้เคลือบ

Warsiki (2562) ศึกษาการเคลือบกระดาษลูกฟูกด้วยสารดูดซับเอทิลีนเพื่อใช้ยืดอายุมะม่วง โดยนำมะม่วงบรรจุลงในกล่องที่ภายในกล่องที่เคลือบด้วยสารดูดซับเอทิลีน เป็นเวลา 10 วัน ทำการทดลองบรรจุมะม่วงลงในกล่องลูกฟูก 3 รูปแบบ คือ กล่องที่ไม่มีสารเคลือบ กล่องที่มีสารเคลือบถ่านกัมมันต์ และกล่องที่มีสารเคลือบถ่านกัมมันต์ผสมโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต แล้วศึกษาสี ความแน่นเนื้อ ค่าของแข็งที่ละลายได้ของผลมะม่วง พบว่ามะม่วงที่บรรจุในกล่องเคลือบสารดูดซับเอทิลีนจะเก็บได้นานกว่าแบบไม่เคลือบ และมะม่วงที่บรรจุในกล่องเคลือบสารดูดซับเอทิลีนถ่านกัมมันต์ผสมโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต จะเก็บได้นานกว่ากล่องที่เคลือบสารดูดซับแบบถ่านกัมมันต์อย่างเดียว

Phatchariya (2566) ศึกษาวัสดุบรรจุภัณฑ์โฟมคอมพอสิตจากยางธรรมชาติแป้งข้าวด้วยวิธีดันลอปโดยเติมถ่านกัมมันต์เพื่อดูดซับก๊าซเอทิลีนที่ปล่อยออกมาจากกล้วยหอม โดยศึกษาการเติมถ่านกัมมันต์ในปริมาณ 0–20 phr ศึกษาสมบัติเชิงกล สัญฐานวิทยา สมบัติทางความร้อนของ Biocomposite Foam พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์สมบัติเชิงกลของวัสดุจะลดลง อุณหภูมิกลายเป็นแก้วเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อเสถียรภาพทางความร้อนของวัสดุ โดยทดลองบรรจุกล้วยหอมทองเป็นเวลา 12 วัน และศึกษาการลดลงของน้ำหนัก ความแน่นเนื้อ ของแข็งที่ละลายได้ ลักษณะทางกายภาพ สีของกล้วย พบว่าเมื่อเติมถ่านกัมมันต์ที่ 15 phr สามารถดูดซับเอทิลีนได้มากที่สุด และมีศักยภาพในการเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับกล้วย

ปริญญา ไกรวุฒินันท์และคณะ (2563) ได้ศึกษาการผลิตกระดาษดูดซับเอทิลีนผสมผงถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ และซังข้าวโพด เพื่อศึกษาผลของผงถ่านกัมมันต์ต่อการชะลอการสุก และคุณภาพของกล้วยหอมทอง โดยวางแผนการศึกษาเป็น 6 ระดับ โดยศึกษาอัตราส่วนของผงถ่านกัมมันต์ต่อปริมาณเยื่อกระดาษ ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 จากผลการศึกษาพบว่า กระดาษผสมผงถ่านกัมมันต์สามารถยืดอายุการเก็บรักษา และการเปลี่ยนสีของกล้วยหอมทองได้ โดยกระดาษผสมผงถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ และซังข้าวโพดร้อยละ 30 และ 40 สามารถยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองได้ยาวนานกว่าชุดควบคุมโดยสามารถเก็บได้ถึง 12 วัน โดยสภาพเปลือกกล้วยยังมีสีเหลือง ขณะที่กล้วยในชุดควบคุมสามารถเก็บรักษาได้เพียง 6 วัน โดยมีคุณภาพที่ไม่ดี และสภาพเปลือกกล้วยมีสีดำ

ศักยะ สมบัติไพรวัลย์ (2555) ได้ศึกษาการชะลอการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้โดยผงถ่านกัมมันต์ดูดซับเอทิลีน จากการศึกษาพฤติกรรมการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้ ใช้มะม่วงอายุ 110 วันหลังดอกบาน และเก็บรักษาเป็นเวลา 12 วัน พบว่า เมื่อผลมะม่วงมีการสุกเพิ่มขึ้นค่าความแน่นเนื้อ และปริมาณกรดที่สามารถไทเทรตได้มีค่าลดลงส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ pH และความถ่วงจำเพาะ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลง สี เปลือก และเนื้อ พบว่ามีค่ามากขึ้นก่อนที่ผลจะเน่าเสีย ดังนั้น Ethylene Absorber สามารถชะลอการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้ได้

จะเห็นได้ว่าแนวคิดในการพัฒนากระดาษจากฟางข้าวผสมกระดาษใช้แล้วผสมผงถ่านกัมมันต์เพื่อนำมาประยุกต์ใช้เป็นกระดาษยืดอายุกล้วยหอม มีโอกาสที่จะเก็บกล้วยหอมได้นานขึ้น ผ่านกระบวนการดูดซับเอทิลีนที่ออกมาจากผลกล้วยหอมด้วยผงถ่านกัมมันต์ ซึ่งจะแสดงให้เห็นในการทดลองขั้นตอนต่อไป