บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

2.1.1 กระดาษและองค์ประกอบของกระดาษ

กระดาษ (paper) คือ แผ่นที่เกิดจากการฟอร์มตัวของเส้นใยและองค์ประกอบที่ไม่ใช่เส้นใย ในกระดาษเส้นใยเซลลูโลสจะอยู่เชื่อมกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส น้ำสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับเส้นใยได้เช่นกัน ดังนั้นกระดาษจะสูญเสียความแข็งแรงเมื่อเปียกน้ำ การใช้น้ำในการขึ้นรูปกระดาษจะช่วยให้เส้นใยเซลลูโลสสามารถสร้างพันธะกันได้ เนื่องจากแรงแคปิลารี (capillary) ของน้ำดึงเส้นใยให้เข้ามาเชื่อมติดกัน และอาจมีบางส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ จึงเกิดเป็นพันธะไฮโดรเจน ถึงแม้ว่าความแข็งแรงของพันธะไฮโดรเจนจะอ่อนกว่าพันธะโควาเลนท์ (covalent bond) แต่การที่มีพันธะไฮโดรเจนเชื่อมต่อกันเป็นจำนวนมากตลอดความยาวของเส้นใย จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกระดาษได้ [1] เมื่อจำแนกตามองค์ประกอบของกระดาษ จะแบ่งได้ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเส้นใย และส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย

2.1.1.1 เส้นใย (fibers)

วัตถุดิบที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมเยื่อ (pulp) และกระดาษ (paper) ส่วนใหญ่จะเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากพืช ทั้งไม้ยืนต้นและไม้ล้มลุก รวมถึงเส้นใยจากฝ้าย (cotton) แฟลกซ์ (flax) ป่าน ปอ และพืชชนิดอื่นๆ เช่น สับปะรด ผักตบชวา กล้วย เป็นต้น ซึ่งหาได้ง่ายจากธรรมชาติ เนื่องจากมีปริมาณมาก และสามารถเกิดขึ้นใหม่ได้เรื่อยๆ เส้นใยที่นำมาใช้ในการผลิตเยื่อและกระดาษอาจได้จากส่วนของลำต้น (stem) ใบ (leaf) หรือแม้แต่ผล (fruit) ซึ่งเส้นใยที่ได้จากพืชจะแบ่งออกได้ 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

2.1.1.1.1 เส้นใยที่มาจากเนื้อไม้ (wood fiber) ได้แก่ ไม้เนื้อแข็ง (hardwood) ซึ่งมีลักษณะเส้นใยสั้น ได้จากพืชตระกูลไม้ผลัดใบ และไม้เนื้ออ่อน (softwood) ซึ่งมีลักษณะเส้นใยยาว ได้มาจากพืชตระกูลสน

หอสมุดกลาง สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความแตกต่างระหว่างไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็งอยู่ที่ชนิดของเซลล์ที่พบในเนื้อไม้เป็นหลัก โดยเซลล์ที่พบในไม้เนื้ออ่อน ได้แก่ เทรคีด (tracheid) และเซลล์พาเรงคิมา (parenchyma cell) ส่วนเซลล์ที่พบในไม้เนื้อแข็ง ได้แก่ เซลล์เวสเซล เซลล์ไฟเบอร์ และเซลล์พาเรงคิมา

2.1.1.1.2 เส้นใยที่ไม่ได้มาจากเนื้อไม้ (non-wood fiber) เช่น เส้นใยจากเปลือกไม้ (bark) ลำต้น (stem) หรืออาจเป็นส่วนเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น ชานอ้อย ฟางข้าว เป็นต้น

เนื้อไม้ คือ เนื้อเยื่อลำเลียงน้ำทุติยภูมิ (secondary xylem) ดังนั้นเนื้อไม้จึงพบเฉพาะในพืชที่มีการเจริญเติบโตทุติยภูมิ (secondary growth) ที่เกิดต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลานาน จนกระทั่งมีปริมาณมากพอที่จะเกิดลักษณะของการเป็นเนื้อไม้

2.1.1.2 **ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย** (non-fibrous materials)

ได้แก่ สารเติมเต็ม (filler) ที่เติมลงไปในกระดาษแล้วทำให้สมบัติเชิงแสงของกระดาษดีขึ้น เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต เป็นต้น สารเพิ่มความแข็งแรงต่าง ๆ รวมทั้งสีย้อม (dye)

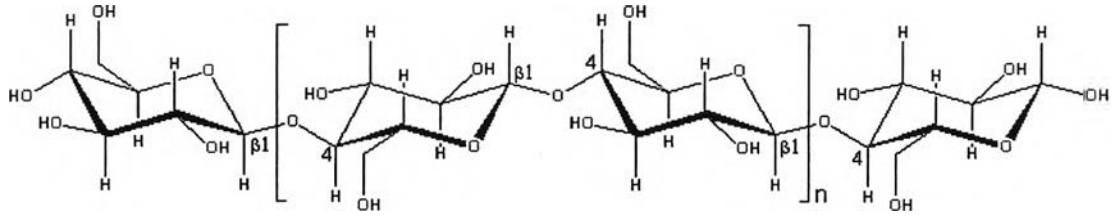
2.1.2 **เคมีของเส้นใย** (Fiber chemistry)

ส่วนประกอบหลักของพืช ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งจะมีปริมาณแตกต่างกันไปขึ้นกับชนิดของพืชและภาวะที่พืชเจริญเติบโต ดังนั้นจึงต้องศึกษาโครงสร้างและส่วนประกอบของพืชชนิดนั้นด้วย เพื่อการนำไปใช้งานให้เหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุด [2]

2.1.2.1 **เซลลูโลส** (cellulose)

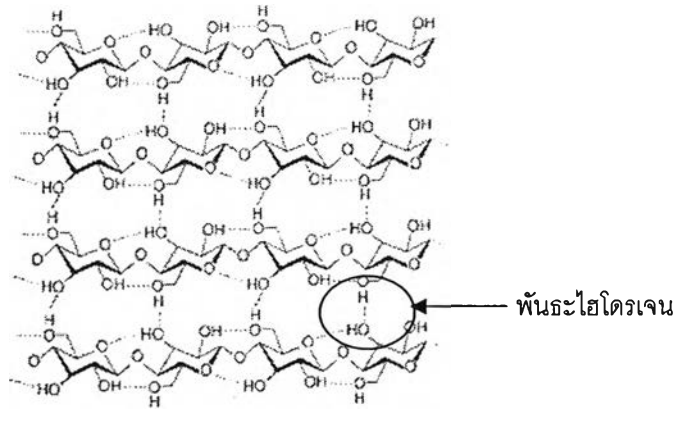
เป็นส่วนประกอบที่มีมากที่สุด ประมาณร้อยละ 40 – 45 ในเนื้อไม้ จึงเป็นส่วนประกอบหลักของเส้นใย ช่วยให้ความแข็งแรงแก่พืช ในธรรมชาติมักพบเซลลูโลสอยู่รวมกับลิกนิน แทนนิน เพนโตแซน กัม ไขมัน และสารที่ทำให้เกิดสี เป็นต้น [2]

เซลลูโลสเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดพอลิแซคคาไรด์เชิงเส้นตรง ไม่มีแขนงย่อย มีสูตรทางเคมีโดยทั่วไปคือ $-(C_6H_{10}O_5)-_n$ เมื่อ n คือหน่วยซ้ำ (repeating unit) หรือจำนวนหน่วยของดี-กลูโคสทั้งหมดที่ประกอบกันเป็นโครงสร้าง สายพอลิเมอร์ของเส้นใยประกอบด้วยหน่วยย่อยของกลูโคสในรูปของ β-D-glucopyranose เพียงอย่างเดียว เรียงต่อกันเป็นโครงสร้างคล้ายลูกโซ่ แต่ละโมเลกุลจับกันด้วยพันธะ β-1,4 glucosidic ที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 1 ของกลูโคสกับคาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 4 ของกลูโคสโมเลกุลถัดไป [2] ดังแสดงในภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 โครงสร้างของเซลลูโลส [3]

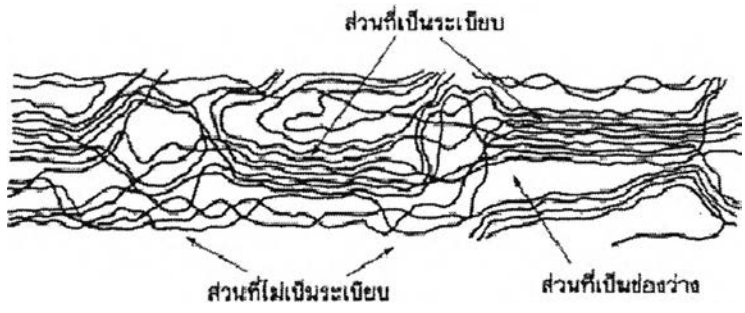
แต่ละโมเลกุลในสายเซลลูโลสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group,-OH) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 กับออกซิเจนที่อยู่ในวงแหวนที่อยู่ในโมเลกุลถัดไป และเชื่อมต่อระหว่างสายเซลลูโลสที่ขนานกันด้วยคาร์บอนตำแหน่งที่ 6 กับออกซิเจนที่เชื่อมระหว่างโมเลกุลของกลูโคสในอีกสายหนึ่ง [2] ดังแสดงในภาพที่ 2-2 ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้เส้นใยมีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength) สูง ความแข็งแรงนี้สำคัญมากในผนังเซลล์พืช [4] เนื่องจากให้ความแข็งที่จำเป็นพอเพียงต่อการพยุงลำต้นและกิ่งก้าน [5]



ภาพที่ 2-2 ลักษณะการจัดเรียงตัวของโมเลกุลกลูโคสในเซลลูโลสที่มีพันธะไฮโดรเจนทั้งภายในโมเลกุลและระหว่างโมเลกุล [4]

เนื่องจากแต่ละสายของเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลถึง 3 หมู่ จึงทำให้เซลลูโลสมีความชอบน้ำ (hydrophilic) แต่เซลลูโลสละลายได้ยากในน้ำ เพราะมีแรงดึงดูดภายในและระหว่างโมเลกุลมาก และมีแรงวันเดอร์วาลส์ระหว่างหมู่ที่มีขั้ว [6]

เซลลูโลสประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ บริเวณที่เรียกว่า ส่วนผลึก (crystalline region) ซึ่งโมเลกุลจัดเรียงตัวกันอย่างหนาแน่น เป็นระเบียบ มีความหนาแน่นสูง จึงมีความแข็งแรงสูง แข็งไม่เปราะง่าย สามารถต้านทานต่อตัวทำละลายหรือสารเคมี ส่วนอีกบริเวณเรียกว่า ส่วนอสัณฐาน (amorphous region) เป็นบริเวณที่มีการจัดเรียงตัวอย่างหลวม ๆ และมีความหนาแน่นต่ำ รับน้ำและความชื้นได้ดี บริเวณนี้จึงไม่ค่อยแข็งแรง เป็นบริเวณที่เชื่อมกันกับวัสดุอื่น มีความยืดหยุ่น และมีความเหนียว [7,8] ดังแสดงในภาพที่ 2-3



<u>ภาพที่ 2-3</u> บริเวณที่เป็นส่วนผลึก (ส่วนที่เป็นระเบียบ) และส่วนอสัณฐาน (ส่วนที่ไม่เป็นระเบียบ) ของเซลลูโลส [8]

คุณสมบัติของเซลลูโลสขึ้นอยู่กับความยาวของสายเซลลูโลส (degree of polymerization, DP) ซึ่งเซลลูโลสจากเนื้อไม้จะมีความยาวประมาณ 300 – 1700 หน่วย ในทางอุตสาหกรรมเซลลูโลสส่วนมากได้จากเนื้อไม้และฝ้าย ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษและกระดาษแข็ง [4]

<u>ลักษณะทางกายภาพของเซลลูโลส</u>

- เซลลูโลสไม่ละลายน้ำ แต่จะละลายในกรดและด่าง
- เซลลูโลสส่วนใหญ่จะมีการดูดซับ หรือการคายไอน้ำ หรือของเหลวอื่นๆ ในบรรยากาศรอบตัวของมันจนกระทั่งถึงจุดสมดุล โดยสมดุลของความชื้นของเซลลูโลสจะแปรเปลี่ยนไปตาม ความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศนั้น ปริมาณความชื้นของเซลลูโลสมีผลต่อสมบัติทางกายภาพบางประการ เช่น เมื่อความชื้นสูงขึ้น ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength) ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น

- เซลลูโลสที่เป็นเส้นใยเดี่ยว จะไม่มีค่าความหนาแน่นที่แน่นอน ค่าความหนาแน่นจะแปรเปลี่ยนไปตามแหล่งที่มา หรืออาจเปลี่ยนไป เนื่องจากการปรับปรุงทางเคมี [8]

เนื่องจากเซลลูโลสไม่ละลายน้ำ แต่สามารถละลายในกรดหรือด่าง ถ้าแบ่งเซลลูโลสตามลักษณะการละลายในกรด – ด่าง จะได้ดังนี้ [2]

(1) แอลฟา เซลลูโลส (α-cellulose) เป็นเซลลูโลสที่ไม่สามารถละลายได้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5 % ที่อุณหภูมิห้อง แต่สามารถกรองจากสารละลายและล้างก่อนที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษและพอลิเมอร์ แอลฟาเซลลูโลสมีความยาวของสายเซลลูโลสมากที่สุด จึงมีความสำคัญในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ

(2) เบต้า เซลลูโลส (β-cellulose) เป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายได้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5 % ที่อุณหภูมิห้อง และสามารถตกตะกอนได้ในสารละลายที่มีสภาพเป็นกรด เบต้าเซลลูโลส จึงแยกได้จากส่วนที่ตกตะกอนในสารละลายด่าง

(3) แกมมา เซลลูโลส (γ-cellulose) เป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายได้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5 % ที่อุณหภูมิห้อง และละลายได้ในสารละลายกรด แต่ตกตะกอนโดยใช้แอลกอฮอล์ แกมมาเซลลูโลสจึงแยกได้จากส่วนที่เป็นน้ำในสารละลายด่าง

- เบต้าเซลลูโลสและแกมมาเซลลูโลสมีความยาวของสายเซลลูโลสต่ำ และเมื่อทั้ง 2 ชนิดรวมกันจะเรียกว่า เฮมิเซลลูโลส [9]

2.1.2.2 เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose)

พบมากเป็นอันดับ 2 รองจากเซลลูโลส มีอยู่ประมาณร้อยละ 20 – 30 ในเนื้อไม้ [1] เฮมิเซลลูโลสเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดพอลิแซคคาไรด์คล้ายเซลลูโลส ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เช่นเดียวกัน แต่สายพอลิเมอร์ประกอบด้วยหน่วยย่อยของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด ได้แก่ กลูโคส (glucose) แมนโนส (mannose) กาแลกโตส (galactose) ซึ่งเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 6 อะตอม (C6) และไซโลส (xylose) กับอราบิโนส (arabinose) ซึ่งเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม (C5) [7,10]

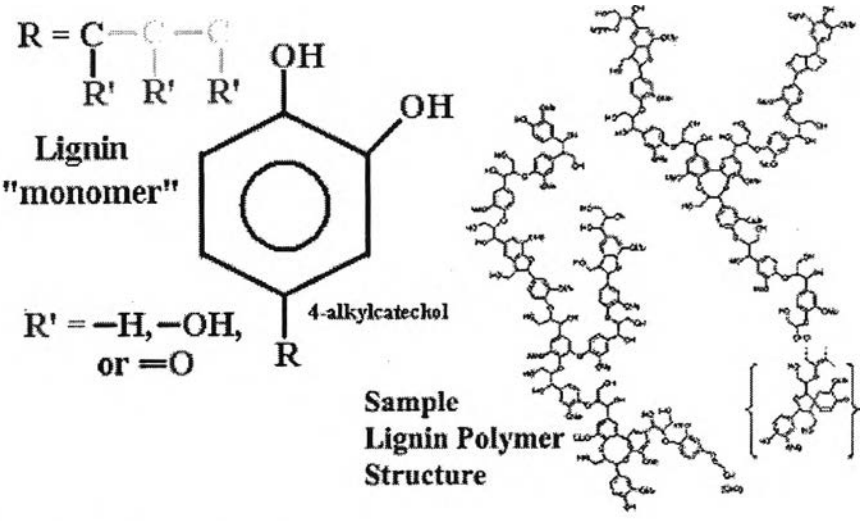
สายเฮมิเซลลูโลสส่วนมากจะประกอบด้วยพอลิเมอร์ของน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม โดยมีน้ำตาลไซโลสอยู่มากที่สุด แต่ละโมเลกุลเชื่อมกันด้วยพันธะ β-1,4 glucosidic bond และมีกิ่งที่ตำแหน่ง (1,2), (1,3) และ (1,6) โดยเฉลี่ยแล้วเฮมิเซลลูโลสมี DP เท่ากับ 100-200 [10]

ส่วนประกอบและโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสในเยื่อใยยาวจะแตกต่างจากเยื่อใยสั้น เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสไม่มีส่วนที่เป็นผลึกจึงถูกทำปฏิกิริยาได้ง่าย โดยจะละลายได้ในด่างและละลายได้ดีมากในกรด อีกทั้งเฮมิเซลลูโลสยังสามารถละลายได้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 17.5 ซึ่งเซลลูโลสไม่สามารถละลายได้ จึงถูกไฮโดรไลซ์ได้ง่ายกว่าเซลลูโลส ลักษณะทางกายภาพของเฮมิเซลลูโลส เป็นวัสดุแข็ง สีขาว เชื่อมต่อกับเซลลูโลสและลิกนินในเส้นใยไม้ เฮมิเซลลูโลสช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่กระดาษ โดยเฉพาะความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength) ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (burst strength) และความทนต่อการพับ (folding endurance) [10]

2.1.2.3 **ลิกนิน (lignin)**

เป็นองค์ประกอบของเนื้อไม้ที่มีมากเป็นอันดับที่ 3 รองจากเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส คือประมาณร้อยละ 21 – 25 ในเนื้อไม้ มักพบรวมอยู่กับเซลลูโลส พบมากในส่วนของผนังเซลล์ชั้นที่สอง (S2) และที่บริเวณมิดเดิลลาเมลลา (middle lamella) ของพืชชั้นสูง พืชที่อ่อนอยู่จะพบในปริมาณเล็กน้อย จะพบมากขึ้นเมื่อพืชอายุมากขึ้น [7,10]

ลิกนิน เป็นสารที่ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนรวมกันเป็นหน่วยย่อยของเฟนิลโพรเพน (phenyl propane) ซึ่งเป็นสารอะโรมาติก ลิกนินไม่ละลายน้ำ ไม่มีสมบัติทางการยืดหยุ่น เพราะฉะนั้นจึงทำให้พืชที่มีลิกนินมากมีความแข็งแรงทนทาน ลิกนินถูกสังเคราะห์โดยกระบวนการ lignification และมีโครงสร้างซับซ้อน [2] ดังแสดงในภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 สูตรโครงสร้างของลิกนิน [11]

ลิกนินสามารถละลายได้ในสารละลายด่าง เมื่อชิ้นไม้ถูกต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิสูง (170 องศาเซลเซียส) ดังนั้นลิกนินจึงถูกแยกออกจากชิ้นไม้ได้ง่ายในขั้นตอนการทำเยื่อ (pulping) [7] เนื่องจากในลิกนินมีหมู่โครโมฟอร์ (chromophore) เป็นองค์ประกอบ เมื่อทำปฏิกิริยาทางเคมีกับแสงและความชื้น จะทำให้กลายเป็นสีเหลือง ดังนั้นการที่มีลิกนินหลงเหลืออยู่ จะส่งผลต่อความเหลืองของกระดาษ

2.1.2.4 **สารแทรก** (extractives)

สารแทรก เป็นสารที่ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างในเนื้อไม้ ส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารมวลโมเลกุลต่ำ และอยู่ภายนอกเซลล์ สารจะถูกหลั่งออกมานอกเซลล์ หลังจากที่เนื้อไม้ถูกทำลายด้วยแรงเชิงกล แมลง หรือเชื้อรา สารแทรกจะพบอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของพืช ได้แก่ ลำต้น ราก ใบ และเปลือกไม้ สารแทรกมีทั้งที่สามารถละลายได้ในน้ำหรือตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) [7]

สารแทรกแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้คือ

- กลุ่มของเทอร์ปีนอยด์ (terpenoids) และสเตียรอยด์ (steriods)
- กลุ่มไขมันและแวกซ์ (fats and waxes)
- กลุ่มสารฟีนอลิก (phenolic constituents)
- กลุ่มสารประกอบอนินทรีย์ (inorganic component)

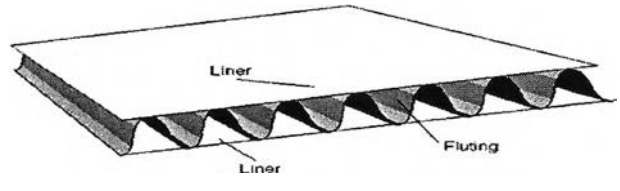
2.1.3 กระดาษลูกฟูก (Corrugated board)

กระดาษลูกฟูก (corrugated board) มีความสำคัญอย่างมากในการใช้ขนส่งสินค้า โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม และในปัจจุบันก็มีการใช้กล่องกระดาษลูกฟูกมากขึ้นเรื่อย ๆ ข้อดีของกระดาษลูกฟูกมีดังนี้ [12,13]

- มีคุณสมบัติเชิงกลดีเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอื่น ๆ บางชนิด กระดาษลูกฟูกถูกออกแบบให้สามารถนำมาเรียงซ้อนกันได้ สามารถทนต่อแรงกดทั้งด้านบน และด้านข้าง รวมถึงมีความสามารถในการทนต่อแรงดันทะลุ
- ความแข็งแรงกับราคา ค่อนข้างคุ้มทุนกัน เนื่องจากต้นทุนการผลิตต่ำ
- กระดาษลูกฟูกสามารถนำมาออกแบบได้หลากหลาย โดยสามารถตัดและพับเป็นขนาดและรูปแบบต่างๆ ได้มากมายนับไม่ถ้วน รวมถึงสามารถนำมาพิมพ์ให้มีรูปแบบ สีสันสวยงามด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์ที่ทันสมัยได้ และสามารถออกแบบให้เข้ากับท้องถิ่นได้
- แหล่งวัตถุดิบที่ใช้สามารถนำมารีไซเคิลใหม่ได้ และจัดหาได้ง่าย
- มีความสามารถในการปกป้องรักษาสินค้าที่ดีเยี่ยม กระดาษลูกฟูกสามารถป้องกันสินค้าระหว่างการจัดส่ง และสามารถปรับเปลี่ยนให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้ ในกรณีที่สินค้ามีความต้องการพิเศษ เช่น น้ำหนักมาก แตกง่าย

2.1.3.1 โครงสร้างของกระดาษลูกฟูก

กระดาษลูกฟูก (corrugated board) คือ กระดาษที่ประกอบด้วยลอนลูกฟูก (corrugating medium หรือ flute) ซึ่งมีลักษณะเป็นคลื่น และกระดาษผิวกล่อง (liner board) ซึ่งทำหน้าที่เป็นแผ่นประกบด้านเดียวหรือทั้ง 2 ด้าน ดังแสดงในภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-5 โครงสร้างของกระดาษลอนลูกฟูก [13]

2.1.3.2 วัสดุที่ใช้ทำกระดาษลูกฟูก

- กระดาษผิวกล่อง (liner board) ทำจากเยื่อเคมี (chemical pulp) ซึ่งส่วนมากมาจากกระบวนการคราฟท์หรือซัลไฟต์ หรือเยื่อกึ่งเคมี (semi - chemical pulp) โดยใช้เยื่อใยยาว (softwood pulp) ที่เป็นเยื่อบริสุทธิ์ (virgin pulp) เป็นหลักเนื่องจากกระดาษต้องการความแข็งแรงมาก กระดาษผิวกล่องที่ผลิตจากเยื่อบริสุทธิ์เรียกว่า kraftliner การใช้เยื่อรีไซเคิลจะมีสัดส่วนน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณของเส้นใยทั้งหมดของแผ่นกระดาษผิวกล่อง ส่วนกระดาษผิวกล่องที่ผลิตจากเยื่อรีไซเคิลจะเรียกว่า testliner ซึ่งเยื่อรีไซเคิลแต่ละชนิด เช่น ที่มาจากโรงงานกล่องกระดาษจากสำนักงาน หรือบ้าน จะมีคุณภาพต่างกัน ความแข็งแรงของกระดาษมาจากพันธะระหว่างเส้นใย เมื่อถูกรีไซเคิลเส้นใยจะสั้นลง และอุ้มน้ำได้น้อยลง ส่งผลให้พันธะระหว่างเส้นใยลดลงด้วย เนื่องจากความแข็งแรงจะลดลงในแต่ละรอบของการรีไซเคิล เส้นใยจึงมีคุณภาพต่ำ และไม่แข็งแรง [13,14]

- กระดาษลอนลูกฟูก (corrugated medium) ทำจากเยื่อกึ่งเคมี (semi–chemical pulp) โดยใช้เยื่อใยสั้น (hardwood pulp) เนื่องจากต้องการความแกร่งมากกว่าความแข็งแรง กระดาษลอนลูกฟูกที่ผลิตจากเยื่อบริสุทธิ์ จำเป็นในการใช้งานบางประเภท เช่น ในภาวะที่มีความชื้นสูง ส่วนกระดาษลอนลูกฟูกที่ผลิตจากเยื่อรีไซเคิล จะใช้ได้หลากหลายความต้องการ [13]

2.1.3.3 ชนิดของแผ่นกระดาษลูกฟูก

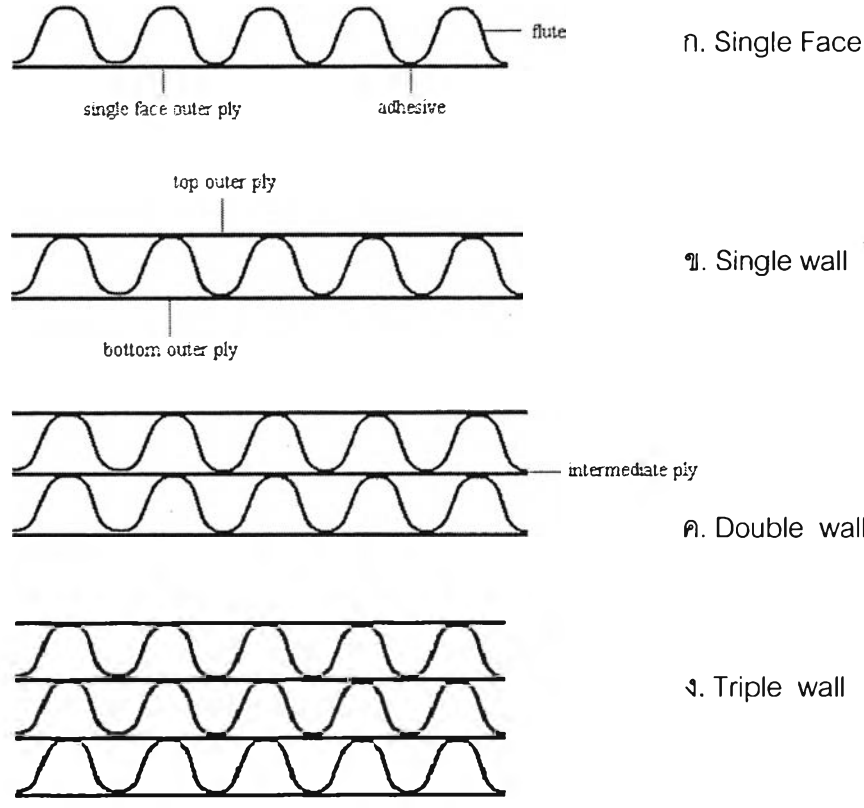
กระดาษลูกฟูกสามารถแบ่งตามจำนวนชั้นของกระดาษ (ภาพที่ 2-6) ได้ดังนี้ [15]

(1) Single Face ประกอบด้วยกระดาษลอนลูกฟูก 1 ชั้นเชื่อมกับกระดาษผิวกล่องเพียงด้านเดียวด้วยกาว

(2) Single wall ประกอบด้วยกระดาษลอนลูกฟูก 1 ชั้นเชื่อมระหว่างกระดาษผิวกล่องทั้ง 2 ด้านด้วยกาว

(3) Double wall ประกอบด้วยกระดาษลอนลูกฟูก 2 ชั้นเชื่อมระหว่างกระดาษผิวกล่องทั้ง 2 ด้านด้วยกาว

(4) Triple wall ประกอบด้วยกระดาษลอนลูกฟูก 3 ชั้นเชื่อมระหว่างกระดาษผิวกล่องทั้ง 2 ด้านด้วยกาว



ก. Single Face

ข. Single wall

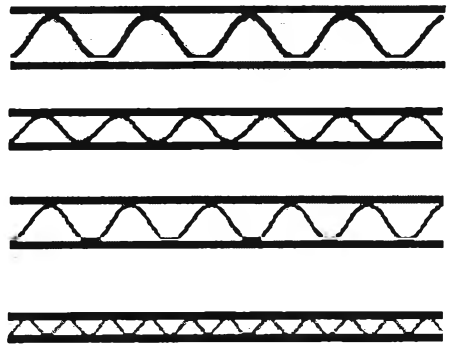
ค. Double wall

ง. Triple wall

ภาพที่ 2-6 ชนิดของกระดาษลูกฟูก [15]

2.1.3.4 ชนิดของลอนลูกฟูก

ลอนลูกฟูก คือกระดาษที่ผลิตให้มีลักษณะโค้งเป็นลอน ซึ่งมีหลักการคือ ถ้าปรับเส้นโค้งให้เหมาะสม จะเป็นการทำให้พื้นที่ที่ต้องการทอดข้ามเกิดความแข็งแรงมากที่สุด และเมื่อนำลอนนี้มาติดกับแผ่นกระดาษผิวกล่อง จะสามารถทนทานต่อความโค้งงอและแรงกดได้จากทุกทิศทาง [12,13] ลอนลูกฟูกมีหลายแบบ ซึ่งแต่ละแบบ จะถูกกำหนดด้วยความสูงและจำนวนของลอนลูกฟูกต่อหน่วยความยาว (flute size) ลอนแต่ละประเภทจะมีขนาดและความสูงของลอนไม่เท่ากัน และความเหมาะสมในการนำไปใช้งานก็แตกต่างกันด้วย [12,15] โดยทั่วไปลอนลูกฟูกมี 4 แบบ คือ A, B, C และ E ดังภาพที่ 2-7 และมีรายละเอียดดังตารางที่ 2-1



ก. ลอนชนิด A

ข. ลอนชนิด B

ค. ลอนชนิด C

ง. ลอนชนิด E

ภาพที่ 2-7 ชนิดของลอนลูกฟูก [12]

ตารางที่ 2-1 รายละเอียดของลอนลูกฟูก ชนิดลอน A, B, C, E [12]

ชนิด	ความสูงของลอน (มิลลิเมตร)	จำนวนลอน/ฟุต	คุณสมบัติ
ลอน A	4.0 - 4.8	36	เหมาะกับสินค้าที่ต้องการรับน้ำหนักการเรียงซ้อนมาก และไม่เน้นการพิมพ์
ลอน B	2.1 - 3.0	49	เหมาะกับสินค้าที่รับน้ำหนักได้ด้วยตัวมันเอง เช่น กระป๋องเหล็ก
ลอน C	3.2 - 3.9	41	เป็นที่นิยมใช้กันมาก เหมาะกับสินค้าทั่วๆไปที่รับน้ำหนักได้ปานกลาง
ลอน E	1.0 - 1.8	95	รองรับการพิมพ์ได้ดีที่สุด เหมาะกับกล่องไดคัทขนาดเล็ก หรือ กล่องออฟเซ็ท

ความแข็งของกระดาษลูกฟูก มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความสูงของลอนลูกฟูก ความถี่ของลอนลูกฟูก ความมั่นคงของลอนลูกฟูก ความเหนียวของกระดาษผิวกล่อง และการเรียงตัวของเส้นใยของกระดาษที่ใช้ [12]

2.1.3.5 การรีไซเคิลกระดาษลูกฟูก

เยื่อรีไซเคิลเป็นเยื่อที่มาจากกระดาษที่ใช้แล้วจากภายนอกโรงงาน ซึ่งส่วนใหญ่มักมาจากกล่องกระดาษเก่า กระดาษหนังสือพิมพ์ และกระดาษจากสำนักงาน [1] กระดาษลอนลูกฟูกส่วนใหญ่จะผลิตจากเยื่อรีไซเคิล และมักจะใช้เยื่อเก่าที่ผ่านการใช้มาหลายครั้ง เส้นใยที่ผ่าน

การรีไซเคิลจะผ่านการทำแห้งและตีกระจายเยื่อใหม่หลาย ๆ รอบ ซึ่งส่งผลต่อความความแข็งแรงของพันธะในกระดาษ เนื่องจากเส้นใยลดการสร้างพันธะ และลดความยืดหยุ่น ซึ่งส่งผลให้ความแข้งแรงต่อแรงดึงและความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษมีค่าลดลง ในขณะเดียวกันตัวเส้นใยเองมีความแข็งสูงขึ้น เนื่องจากเกิด "hornification" ซึ่งส่งผลให้กระดาษมีความแข็งแรงต่อแรงฉีกดีขึ้น ในปัจจุบันมีการวิจัย และพัฒนาความสามารถของการผลิตกระดาษลูกฟูกอยู่ตลอดเวลา เพื่อปรับปรุงสมบัติ ความสามารถของกระดาษลูกฟูก และมากกว่า 74% ของผลิตภัณฑ์จากกระดาษลูกฟูกจะถูกนำไปรีไซเคิล ทำให้กระดาษลูกฟูกนับได้ว่าเป็นหนึ่งในบรรจุภัณฑ์ที่มีอัตราการถูกนำไปรีไซเคิลสูงสุด [15,16]

2.1.4 **<u>กากมันสำปะหลัง</u>**

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศกสิกรรม สินค้าออกของประเทศที่สำคัญจึงเป็นสินค้าทางด้านกสิกรรม ในอดีต มีสินค้าทางเกษตรกรรมเพียงไม่กี่ชนิดเท่านั้น คือ ข้าว ยางพารา ดีบุก และไม้สัก แต่หลังจากนั้นได้ขยายพื้นที่ปลูกพืชไร่อื่นๆ เพิ่มขึ้น ได้แก่ ข้าวโพด ปอแก้ว มันสำปะหลัง และอ้อย ทำให้ปัจจุบันมันสำปะหลังเป็นกลายเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญเป็นอันดับ 2 ของประเทศรองจากข้าว มันสำปะหลังเป็นพืชที่ปลูกง่าย ทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศที่แปรปรวน สามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่ที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

มันสำปะหลัง เป็นพืชดั้งเดิมของชาวพื้นเมืองในเขตร้อนของทวีปอเมริกา ตั้งแต่อเมริกากลาง คือ ตอนใต้ของประเทศเม็กซิโกลงไปถึงประเทศบราซิล ซึ่งเป็นพวกอเมริกันอินเดียน ชนเหล่านี้ปลูกมันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นอาหาร ต่อมาจึงมีผู้นำมันสำปะหลังจากทวีปอเมริกาไปยังทวีปแอฟริกาและเอเชียตามลำดับ [17]

ประเทศไทยมีการนำมันสำปะหลังเข้ามาปลูกที่ภาคใต้เป็นครั้งแรก โดยปลูกระหว่างแถวต้นยางพาราขนาดเล็ก และส่งผลิตผลที่ได้ไปจำหน่ายโรงงานทำแป้ง และโรงงานทำสาคูขนาดเล็กชั่วคราว ต่อมาได้ขยายพื้นที่ปลูกมายังภาคตะวันออก คือ จังหวัดชลบุรีและระยอง เนื่องจากพื้นที่มีลักษณะเป็นเนินเขาลาดเอียง ดินเป็นดินทราย ไม่มีแม่น้ำใหญ่ที่จะทำการชลประทานได้ พื้นที่ดังกล่าวไม่เหมาะแก่การทำนาและพืชไร่ชนิดอื่น และภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งปัจจุบันเป็นพื้นที่เพาะปลูกที่ใหญ่ที่สุดของประเทศไทย เนื่องจากมีสภาพดินฟ้าอากาศ และสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการปลูก [18]

2.1.4.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังมีชื่อเรียกทั่วไปในภาษาอังกฤษว่า แคสซาวา (Cassava) หรือ ทาพิโอกา (Tapioca) และมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า แมนนิฮอท เอสคูเล็นตา แครนทซ์ (*Manihot esculenta* Crantz) [17]

การจัดลำดับทางพฤกษศาสตร์ของมันสำปะหลัง มีดังนี้

วงศ์ (Family) Euphorbiaceae (ซึ่งรวมถึงยางพาราและละหุ่ง)

สกุล (Genus) Manihot

ชนิด (Species) esculenta

มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีลำต้นเล็กประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่อยู่เหนือดิน คือลำต้นและกิ่งก้าน มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2-6 เซนติเมตร สูงประมาณ 2-4 เมตร ลำต้นมีลักษณะคล้ายเป็นข้อ ใบมีก้านใบยาวติดกับลำต้น แผ่นใบเว้าเป็นแฉกมี 3 - 9 แฉก ดังภาพที่ 2-8 สีของลำต้นจะแตกต่างกันไปตามพันธุ์ อีกส่วนคือ ส่วนที่อยู่ใต้ดิน เป็นรากของลำต้น รากมี 2 แบบ คือแบบที่ใช้เป็นอาหารให้กับพืช และแบบที่เป็น axial disposition อยู่รอบๆ ลำต้น รวมเรียกว่า "หัว" หัวของมันสำปะหลังนี้จะมีประมาณ 5-20 หัว แต่ละหัวมีความยาวประมาณ 20-80 เซนติเมตร มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5-10 เซนติเมตร และกินได้ รากของมันสำปะหลังเป็นแบบรากฝอย (fibrous root system) รากเหล่านี้เป็นแหล่งสะสมอาหารโดยมีแป้งเป็นส่วนประกอบสำคัญ แต่มีปริมาณโปรตีนและไขมันน้อยมาก ดังแสดงในภาพที่ 2-9

ภาพที่ 2-8 ลักษณะของต้นมันสำปะหลัง [18]

ภาพที่ 2-9 ส่วนรากของต้นมันสำปะหลัง [19]

2.1.4.2 ลักษณะที่สำคัญของหัวมันสำปะหลัง

ลักษณะและส่วนประกอบในหัวมันสำปะหลังมีความสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ได้แก่ ปริมาณแป้ง ไซยาไนด์ เปลือก (เยื่อใย) และสารประกอบที่ทำให้เกิดสีในเนื้อแป้ง [20] ซึ่งตารางที่ 2-2 และ 2-3 แสดงส่วนประกอบในหัวมันสำปะหลังทั้งแบบสดและแห้ง

ตารางที่ 2-2 ส่วนประกอบของหัวมันสำปะหลังสด (กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักหัวมัน) [21]

ส่วนประกอบ	**น้ำ**	**เปลือก**	**เนื้อ(แป้ง)**	**ไซยาไนด์(ppm)**
ปริมาณ	60.21 - 75.32	4.08 - 14.08	25.87 - 41.88	2.85 - 39.27

ตารางที่ 2-3 ส่วนประกอบของเนื้อมันสำปะหลังแห้ง (กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้ง) [21]

ส่วนประกอบ	**แป้ง**	**โปรตีน**	**เยื่อใย**	**เถ้า**	**ไขมัน**
ปริมาณ	71.9 - 85.0	1.57 – 5.78	1.77 - 3.95	1.20 - 2.80	0.06 – 0.43

2.1.4.2.1 ปริมาณแป้ง

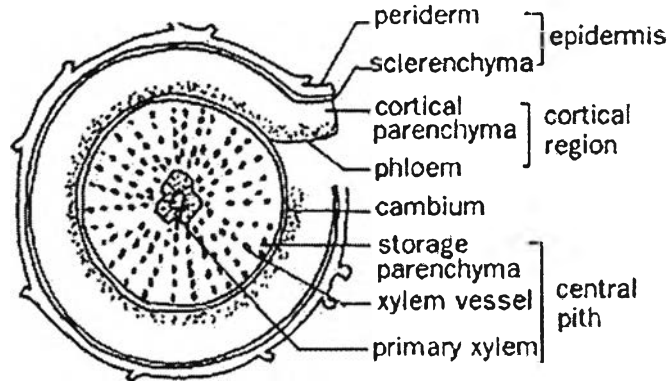
ประเทศไทยใช้มันสำปะหลังในอุตสาหกรรมแป้งและแป้งแปรรูปมากที่สุด ดังนั้นปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลังจึงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดในองค์ประกอบทั้งหมด ปัจจุบันมีการปรับปรุงพันธุ์ให้มีปริมาณแป้งและผลผลิตที่สูง ๆ เมื่อหัวมันมีอายุมากขึ้นปริมาณแป้งก็มากขึ้นด้วย และพบว่าอายุ พันธุ์ และสิ่งแวดล้อมมีผลต่อคุณภาพของแป้ง [20]

2.1.4.2.2 ปริมาณไซยาไนด์

ไซยาไนด์เป็นสารพิษที่พบในพืชกว่า 3,000 ชนิด รวมทั้งมันสำปะหลังด้วย ในปัจจุบันไม่มีรายงานว่ามีมันสำปะหลังพันธุ์ที่ปราศจากกรดไฮโดรไซยานิก (HCN) เลย โดยทั่วไปปริมาณกรดไฮโดรไซยานิกในหัวมันสำปะหลังมีตั้งแต่ 14 – 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากงานวิจัยพบว่าอายุการเก็บเกี่ยวมีผลต่อปริมาณไซยาไนด์ในหัวมันสำปะหลัง โดยมันสำปะหลังที่เก็บเกี่ยวในช่วงอายุ 8–10 เดือนจะมีปริมาณไซยาไนด์มาก คือประมาณ 210 ไมโครกรัมต่อกรัม ส่วนมันสำปะหลังที่เก็บเกี่ยวในช่วงอายุ 12 เดือน จะมีปริมาณไซยาไนด์ต่ำ คือประมาณ 16 ไมโครกรัมต่อกรัม [20]

2.1.4.2.3 ปริมาณเปลือก (เยื่อใย)

ปริมาณเปลือก และความหนาของเปลือก เป็นประโยชน์ต่อการขนส่ง แต่เมื่อผ่านกระบวนการผลิตตั้งแต่การชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณแป้ง เมื่อผ่านการล้างและยังมีเปลือกและเยื่อใยในเนื้อในของตัวมันเองติดอยู่ จะเป็นการเพิ่มปริมาณเยื่อใยหรือกากมัน (pulp) ซึ่งเพิ่มภาระการสกัด ทำให้ลดประสิทธิภาพการสกัดลง หัวมันสำปะหลัง ประกอบด้วยเนื้อเยื่อในชั้นเพอริเดิร์ม (periderm), สเกลอเรงคิมา (sclerenchyma), คอร์ติคัลพาเรงคิมา(cortical parenchyma), และโฟลเอม (phloem) ดังภาพที่ 2-10 ซึ่งลักษณะสรีระของหัวมันนั้นเป็นไปตามพันธุ์ [20]



ภาพที่ 2-10 ภาพตัดขวางของหัวมันสำปะหลัง [22]

2.1.4.2.4 สารประกอบที่ทำให้เกิดสีในเนื้อแป้ง

หัวมันพันธุ์ต่างกัน จะมีสีเนื้อต่างกัน ตั้งแต่สีขาวนวลจนถึงสีเหลือง ลักษณะของสีที่มาจากพันธุ์ หรือการเปลี่ยนแปลงหลังเก็บเกี่ยวในเนื้อมัน จะมีผลยิ่งยวดต่อกระบวนการผลิต ดังนั้นมันสำปะหลังที่เหมาะสมในอุตสาหกรรมแป้งควรจะมีเนื้อมันสีขาว และคงสีขาวอยู่ได้นานพอสมควร เพื่อให้ได้แป้งที่มีคุณภาพต่อไป [20]

2.1.4.3 การผลิตแป้งมันสำปะหลัง

กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังแบบสลัดแห้งมีขั้นตอนการผลิต ดังนี้ [20]

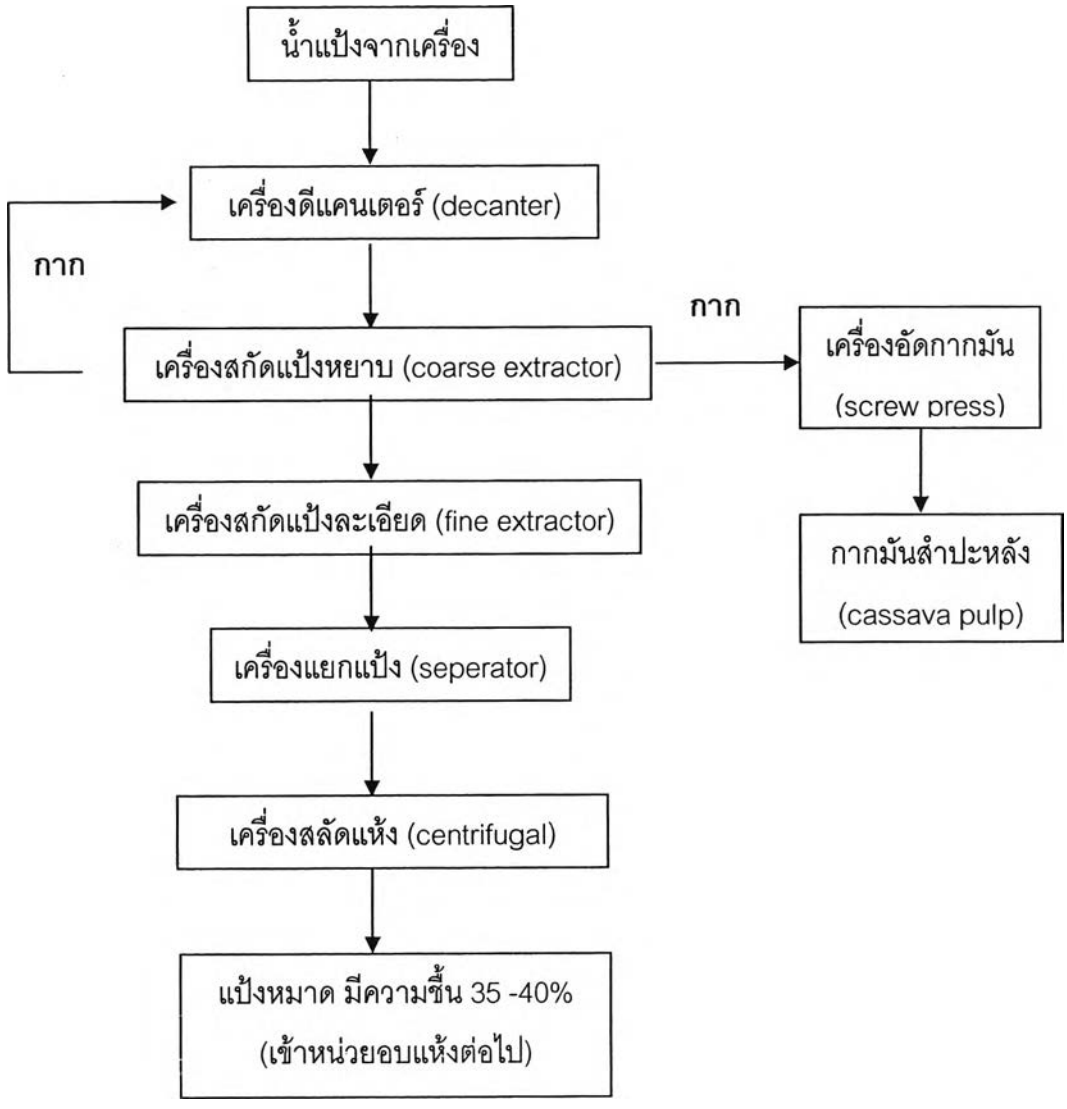
1. การเตรียมวัตถุดิบ หัวมันสำปะหลังจะถูกล้างให้สะอาดโดยผ่านเครื่องล้างหัวมัน (root washer) เพื่อล้างเอาเศษดินที่ยังติดอยู่กับหัวมันออกไปกับน้ำ และน้ำที่ใช้ก็เป็นน้ำหมุนเวียนจากกระบวนการผลิต

2. การโม่หัวมันสำปะหลัง มันสำปะหลังจะถูกลำเลียงเข้าสู่เครื่องสับหัวมัน (root chopper) ให้หัวมันมีขนาดเล็กลง ในระหว่างการโม่มีการเติมน้ำเพื่อให้สามารถโม่หัวมันได้ง่าย โดยมากเป็นน้ำหมุนเวียน ในขั้นตอนนี้จะได้ของเหลวข้น (middle fresh pulp) ที่มีส่วนผสมของแป้ง น้ำ กากมัน และสิ่งเจือปนต่างๆ

3. การสกัดแป้ง (ภาพที่ 2-11) ของเหลวข้นจากเครื่องโม่จะถูกปั๊มเข้าสู่เครื่องแยกน้ำทิ้ง (decanter) ที่มีโปรตีนและไขมันออกจากเนื้อแป้ง แล้วน้ำแป้งที่ได้จะเข้าสู่หน่วยสกัดแป้ง โดยจะถูกปั๊มเข้าสู่เครื่องสกัดแป้งซึ่งเป็นเครื่องแยกน้ำแป้งออกจากเส้นใยและกาก โดยเครื่องนี้จะแบ่งหน้าที่ตามการกรองออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดสกัดหยาบ (coarse extractor) และชุดสกัดละเอียด(fine extractor) ซึ่งน้ำแป้งจะผ่านชุดสกัดหยาบก่อนเพื่อแยกกากหยาบออก แล้วจึงเข้าสู่ชุดสกัดละเอียดเพื่อทำให้บริสุทธิ์ขึ้นโดยผ่านผ้ากรองที่มีขนาดเล็กลงของเครื่องสกัดละเอียด จากนั้นน้ำแป้งที่มีความบริสุทธิ์สูงจะถูกสูบจากถังพักมายังเครื่องสลัดแห้ง ซึ่งจะเหวี่ยงแยกน้ำออกจากน้ำแป้งทำให้ได้แป้งหมาดที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 35-40

4. การอบแห้ง แป้งหมาดจะถูกเป่าด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 180-200 องศาเซลเซียส จากเตาเผาขึ้นไปบนปล่องอบแห้ง แล้วตกลงมาเข้าสู่ไซโคลนความร้อนทำให้ความชื้นหายไปบางส่วน

5. การบรรจุ และเก็บรักษา ทำได้โดยการบรรจุแป้งที่ได้ในกระสอบ แล้วเรียงกระสอบบนที่รองรับเป็นชั้น ๆ โดยพยายามหลีกเลี่ยงการทับซ้อนกันถึง 4 - 5 เมตร



ภาพที่ 2-11 ขั้นตอนการสกัดแป้งมันสำปะหลัง [20]

2.1.4.4 กากมันสำปะหลัง

กากมันสำปะหลังเป็นของเสียที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลักประมาณ 50% และมีเส้นใยพอสมควร มีไขมัน โปรตีนในปริมาณเล็กน้อย [23] ดังตารางที่ 2-4

หอสมุดกลาง สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2-4 แสดงส่วนประกอบในกากมันสำปะหลังแห้ง (กรัม/100 กรัมของน้ำหนักแห้ง) [21]

Composition	Soccal (1994)	Cereda (1994)	Sterz (1997)	Vandenberghe (1998)
ความชื้น	5.02	9.52	10.70	11.20
โปรตีน	1.57	0.32	1.6	1.61
ไขมัน	1.06	0.83	0.53	0.54
เส้นใย	50.55	14.88	22.20	21.10
เถ้า	1.10	0.66	1.50	1.44
คาร์โบไฮเดรต	40.50	63.85	63.40	63.00

จากตารางที่ 2-4 ซึ่งแสดงส่วนประกอบในกากมันสำปะหลังแห้งจากการวิเคราะห์ของนักวิจัยหลายคณะ จะเห็นว่ามีค่าแตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเกิดจากกระบวนการผลิต เป็นไปได้ว่ากระบวนการผลิตมีการควบคุมที่ไม่ดี และอาจเกิดจากความแตกต่างของพืชที่มาจากแหล่งต่างกันและพันธุ์ที่ต่างกัน จะเห็นว่าแป้งเป็นส่วนประกอบหลักในกากมันสำปะหลัง โดยดูได้จากปริมาณคาร์โบไฮเดรต และมีปริมาณเส้นใยรองลงมา รวมทั้งมีโปรตีน ไขมัน เถ้า ในปริมาณอีกเล็กน้อย [23]

เนื่องจากกากมันสำปะหลังยังมีเส้นใยหลงเหลืออยู่ประมาณ 30% ซึ่งเส้นใยนี้จัดเป็นเส้นใยที่ไม่ได้มาจากเนื้อไม้ (non – wood fiber) ในปัจจุบันได้มีการนำเส้นใยกากมันสำปะหลัง มาใช้ทำเป็น dietary fiber ในอุตสาหกรรมอาหาร เป็นไปได้ว่าเส้นใยเหล่านี้อาจจะนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในอุตสาหกรรมกระดาษได้ แต่เส้นใยที่ไม่ได้มาจากเนื้อไม้ชนิดอื่น ๆ ที่เคยมีการศึกษาในการผลิตกระดาษ พบว่าต้องผ่านการปรับสภาพผิวหน้าของเส้นใยก่อน เส้นใยจึงสามารถสร้างพันธะต่อกันได้ดีขึ้น [24]

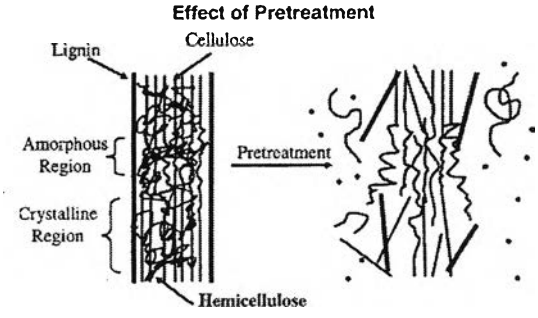
2.1.4.5 การใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลัง

ในปัจจุบันนี้มันสำปะหลังใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมมากขึ้น การบริโภคและใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารเริ่มมีน้อยลง แนวโน้มการใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์น่าจะเพิ่มสูงขึ้นในอนาคต โดยทำเป็นมันเส้น มันสำปะหลังอัดเม็ด และกากมันสำปะหลังจะเป็นแหล่งพลังงานเมื่อผสมในอาหารสัตว์ นอกจากนั้นยังมีประโยชน์ดังนี้ คือ ใช้เป็นอาหารของมนุษย์และ

เป็นสารตั้งต้นสำคัญที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้แก่ ใช้หมักทำแอลกอฮอล์ เบียร์ และขนมปัง [25]

2.1.5 <u>การปรับสภาพเส้นใย (pretreatment)</u>

เนื่องจากเซลลูโลสที่ใช้อยู่ในรูปที่เป็นผลึกของสารประกอบเชิงซ้อนกับลิกนินและเฮมิ-เซลลูโลส แต่ส่วนที่นำมาใช้จริงคือเซลลูโลส จึงต้องแยกเฮมิเซลลูโลสและลิกนินออกจากโครงสร้างของวัตถุดิบก่อน [5]



<u>ภาพที่ 2-12</u> แผนภาพของการปรับสภาพวัตถุดิบ [24]

วัตถุประสงค์ของการปรับสภาพ คือเพื่อแยกลิกนินและเฮมิเซลลูโลสออก และเป็นการปรับปรุงโครงสร้างของเซลลูโลสให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม จากภาพที่ 2-17 แสดงให้เห็นว่าลิกนินถูกทำลายโครงสร้าง และทำลายส่วนผลึกของเซลลูโลส วิธีปรับสภาพมีหลายวิธี ทั้งนี้ควรเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งาน และความคุ้มทุน ดังนี้ [5]

- วิธีทางกายภาพ (physical pretreatment) ได้แก่ การลดขนาดของสารโดยวิธีการโม่หรือบด การทำออกซิเดชั่นแบบเปียก และการใช้ไอน้ำความดันสูง (autoclave)

- วิธีการทางเคมี (chemical pretreatment) ได้แก่ การใช้กรด เช่น กรดซัลฟิวริก ซึ่งจะนิยมใช้มากกว่า กรดไฮโดรคลอริก และกรดไนตริก ส่วนการใช้ด่างในการปรับสภาพ เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

- วิธีการทางเคมีฟิสิกส์ (physico-chemical pretreatment) เป็นการใช้วิธีทางกายภาพร่วมกับทางเคมี เช่น ใช้การบดร่วมกับการใช้สารเคมี

- วิธีการทางชีวภาพ (biological pretreatment) เป็นการใช้เอนไซม์ที่ผลิตจากเชื้อจุลินทรีย์ ไปทำให้โครงสร้างของเซลลูโลสเปลี่ยนไป จะทำให้ลดความเป็นผลึก แต่เอนไซม์จะมีราคาแพง

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

K.N. Matsui และคณะ [26] ได้ทำการศึกษาความแข็งแรงต่อแรงดึงและสมบัติการดูดซึมน้ำของวัสดุผสมระหว่างเยื่อรีไซเคิลและกากมันสำปะหลังเพื่อใช้ผลิตเป็นถาดรองไข่ โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการแช่วัสดุผสมด้วยแป้งอะซิเตทและไม่แช่ด้วยแป้งอะซิเตท จากการทดลองพบว่าก่อนแช่วัสดุผสมด้วยแป้งอะซิเตท ผิวหน้าของวัสดุไม่เรียบ ทำให้วัสดุผสมมีความสามารถในการดูดน้ำสูง และมีความแข็งแรงต่ำ แต่หลังจากแช่วัสดุผสมด้วยแป้งอะซิเตท วัสดุผสมจะลดการดูดน้ำ และมีผิวหน้าเรียบขึ้น เนื่องจากแป้งอะซิเตท ไปช่วยปิดรูบนผิวหน้า ส่งผลให้มีความแข็งแรงสูงขึ้นด้วย และพบว่าวัสดุที่ผสมเยื่อรีไซเคิลและกากมันสำปะหลังในอัตราส่วน 90 : 10 จะให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงที่สุด

Laura G. Carr และคณะ [27] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของเส้นใยต่อความแข็งแรงเชิงกลของโฟมที่ผสมระหว่างแป้งและเส้นใยจากธรรมชาติ โดยเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยกากมันสำปะหลังและเส้นใยฟางข้าว จากการทดลองพบว่า โฟมที่ผสมด้วยเส้นใยกากมันสำปะหลังเพียง 1% ก็จะเพิ่มความแข็งแรงได้ ส่วนโฟมที่ผสมด้วยเส้นใยจากฟางข้าวจะมีความแข็งแรงเมื่อใช้ต่ำกว่า 1% จะเห็นว่าเส้นใยช่วยเสริมแรงให้กับวัสดุได้ และจากการทดลองพบว่าเส้นใยทั้ง 2 ชนิด ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในด้านความแข็งแรง ความยืดหยุ่น และความหนาแน่นของโฟม

M. Frank [28] ได้ทำการศึกษาลักษณะของเส้นใยกากมันฝรั่ง (potato pulp) โดยศึกษาสมบัติทางเคมีของเส้นใย พบว่า มีส่วนประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพคติน กรดอะมิโน โอลิโกเปปไทด์ พอลิเปปไทด์ และเถ้า และทำการศึกษาการปรับปรุงทางกายภาพ โดยใช้วิธีการใช้ไอน้ำความดันสูง (autoclave) พบว่าการใช้ความร้อนจะส่งผลต่อโครงสร้างของผนังเซลล์ทำให้การเชื่อมกันของเส้นใยอ่อนตัวลง และส่งผลต่อแป้งที่อยู่ในเส้นใยและนอกเส้นใยให้เปลี่ยนลักษณะไปจากเดิม จึงใช้ประโยชน์จากแป้งเหล่านี้ ให้เป็นกาวเชื่อมวัสดุ ได้แก่กระดาษ หรือกระดาษแข็ง