

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษางานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาและปรับปรุงสมบัติด้านการต้านทานการซึมผ่านของน้ำของถ้วยน้ำดื่มกระดาษจากเยื่อชานอ้อย และได้มีการออกแบบเพื่อลดพื้นที่ในการจัดเก็บการขนส่งรวมถึงทำการรวบรวมและสำรวจความพึงพอใจในด้านการออกแบบจากผู้บริโภค ซึ่งในการทำวิจัยได้มีขั้นตอนการผลิต ขั้นตอนการทดสอบสมบัติกระดาษ และขั้นตอนการออกแบบ โดยการใช้แนวคิดทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทาง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 2.1 วัตถุประสงค์สำหรับการผลิตกระดาษ
- 2.2 การผลิตกระดาษ
- 2.3 สมบัติของกระดาษ
- 2.4 มาตรฐานการทดสอบสมบัติกระดาษ
- 2.5 สมบัติด้านการต้านทานของกระดาษ
- 2.6 มาตรฐานถ้วยกระดาษสำหรับเครื่องดื่ม
- 2.7 การออกแบบ
- 2.8 การขนส่ง
- 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัตถุประสงค์สำหรับการผลิตกระดาษ

2.1.1 ชานอ้อย

สารชัย เวชรัชต์พิมล [7] ได้กล่าวไว้ว่าชานอ้อยคือวัตถุดิบเส้นใยที่เหลือจากการหีบเอาน้ำออกเพื่อน้ำตาลในอุตสาหกรรมน้ำตาลซึ่งในการผลิตน้ำตาลประมาณ 1 ตัน จะทำให้มีชานอ้อยแห้งประมาณ 1.25 ตัน ในปัจจุบันชานอ้อยได้มีการนำไปใช้ในหลายรูปแบบ ทั้งอุตสาหกรรมไม้อัด การใช้เป็นเชื้อเพลิง และการใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ ในการนำชานอ้อยมาใช้ประโยชน์นั้นอุปสรรคหลักคือด้านการขนส่งเนื่องจากการที่ชานอ้อยมีปริมาตรต่อมวลมาก (Bulky) ชานอ้อยหลังจากการหีบไปแล้วจะมีความชื้นคงอยู่ประมาณร้อยละ 50 โดยเมื่อแห้งแล้วจะมีปริมาณพิทซ์ (Pitch) 25 - 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่วนนี้เป็นส่วนที่จำเป็นต้องเอาออกก่อนกระบวนการผลิตกระดาษ โดยเฉลี่ยแล้วชานอ้อยมีความยาวของเส้นใยอยู่ที่ 1.7 มิลลิเมตร ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของเส้นใยสั้น

สุธิชา ไชยศิริ [8] ได้กล่าวไว้ว่าขานอ้อย (bagasses) เป็นส่วนลำต้นที่เป็นผลพลอยได้จากการหีบอ้อยมีลักษณะเป็นเส้นใย (Fiber) ที่เหลือจากการสกัดเอาน้ำตาลออกจากลำต้นขานอ้อยมีประมาณร้อยละ 25.5 ของอ้อยที่ใช้ในการผลิต

2.1.1.1 ประโยชน์ของขานอ้อยในอุตสาหกรรม

1. ผลิตเซลลูโลสชนิดบริสุทธิ์ (purified cellulose) ซึ่งนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ผลิต rayon, pyroxalin, nitro cellulose, plastics, synthetic textile fibers และกระดาษชนิดเนื้อละเอียดซึ่งมีคุณภาพดี
2. ผลิตวัสดุก่อสร้างอาคารบ้านเรือน และทำเครื่องตกแต่งอื่นๆ โดยผลิตเป็น hard board, soft board, fiber board, insulating และ acoustic board
3. ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อน้ำของโรงงาน ซึ่งโรงงานน้ำตาลในประเทศไทยใช้กันอยู่
4. ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อใส่ให้อ้อยเองโดยผสมกับมูลสุกร

เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบทางเคมีของขานอ้อยพบว่าประกอบด้วยความชื้น 49 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 48.7 เปอร์เซ็นต์ และสารที่ละลายน้ำได้ 2.3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสารที่ละลายน้ำได้ส่วนใหญ่เป็นน้ำตาล ส่วนประกอบพวกนี้จะมากหรือน้อยขึ้นกับชนิดของอ้อย สำหรับในส่วนของเยื่อใยนั้นตามลักษณะโครงสร้างของต้นอ้อย จะประกอบด้วยเนื้อเยื่อที่เป็นเยื่อใยหลายชนิดแต่ที่สำคัญมีอยู่ 2 ชนิด และยังคงเหลือในขานอ้อยด้วยคือ

ก. ชนิดที่เป็นผนังหนาและเหนียว เป็นเซลล์รูปทรงกระบอกของท่อลำเลียงน้ำและอาหาร เรียกว่า ใยขานอ้อย (true fiber)

ข. ชนิดที่เป็นผนังบางและอ่อนนุ่มเป็น parenchyma ที่มีรูปร่างไม่แน่นอนอยู่ภายในลำต้น เรียกว่า เยื่อขานอ้อย (pith) ซึ่งส่วนนี้รวมถึงส่วนที่เป็น vessel ที่อยู่ร่วมกับท่อลำเลียงน้ำและอาหาร ด้วยแต่เนื่องจากมีลักษณะที่ไม่เป็นเยื่อใย เนื้อเยื่อของพวก vessel นี้จึงถูกดึงออกมาด้วยในระยะที่แยก pith ออก

True fiber และ pith มีองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เหมือนกัน แต่โครงสร้างต่างกันมาก โดยที่ true fiber มีความยาวมากกว่าความกว้าง และมีประสิทธิภาพในการยึดหดตัวมากขึ้นอยู่กับสภาพแห้งหรือเปียก การจับตัวกันของเยื่อใยจะชิดกันมากเพราะแรงยึดเกาะมีมาก ส่วน pith มีขนาดและรูปร่างที่ไม่แน่นอนไม่มีสมบัติในการยึดเกาะ [5]

การทำเยื่อกระดาษจากขานอ้อยมีประวัติมานาน และมีผู้จดทะเบียนสิทธิมาตั้งแต่ปี 1838 ต่อมาก็มีการผลิตกระดาษชนิดต่างๆ จากเยื่อกระดาษที่ได้จากขานอ้อย และในปี 1856 มีรายงานว่ามีการประดิษฐ์

กระดาษจากชานอ้อยได้รูดหน้าไปไกลมาก ชานอ้อยที่หีบจากรางหีบอ้อยจะถูกนำมาแยกสิ่งสกปรก และสิ่งทีละลายปนมาตลอดจน pith ออกแล้วนำไปผสมกับเยื่อกระดาษที่ได้จากไม้ไผ่ และกระดาษจากกระดาษเก่า (cellulosic maerial) และวิธีที่ใช้ในการแยก pith ออก เรียกว่าไฮดร่าพัลพ์เพอร์ (hydrapulper) คือการใช้น้ำล้างอย่างแรงและชะให้ pith ออกโดยผ่านตะแกรงหมุนแล้วทำให้แห้ง[9] จากนั้นเป็นการฟอกสีเยื่อกระดาษด้วยการฟอกคลอรีน ผ่านถังที่มีโซดาไฟ ปรับปรุงสีเยื่อด้วย แคลเซียมไฮเปอร์คลอไรด์ ตามด้วยการฟอกด้วยคลอรีนไดออกไซด์

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเยื่อชานอ้อย

องค์ประกอบ	ร้อยละขององค์ประกอบ
ปริมาณเถ้า	2.76%
ปริมาณสารแทรกทีละลายในเอทานอลเบนซิน	2.93%
ปริมาณเพนโทแซน	29.12%
ปริมาณลิกนิน	21.85%
ปริมาณ โสโลเซลลูโลส	66.38%
ปริมาณแอลฟาเซลลูโลส	65.42%

ที่มา: วิทยา ปั้นสุวรรณ และคณะ. การผลิตเยื่อที่มีแอลฟาเซลลูโลสสูงและโซโลสจากชานอ้อยโดยวิธีระเบิดด้วยไอน้ำ [10]

ตารางที่ 2.2 สมบัติของเยื่อกระดาษชานอ้อยที่ผ่านการฟอกเยื่อ

Physical Properties	
Brightness:	>80 % ISO
Dirt Count:	< 5 mm ² /m ²
Moisture:	10-12 %
Appearance Properties	
Bale size:	70x80x50 cm.
Bale Weight:	220 Kgs. (Air Dry)
Bale Wrapping: Single Bale and Unitized System	

ที่มา: บริษัท เอ็นไวรอนเมนท์พัลพ์ แอนด์ เปเปอร์ จำกัด [11]

2.1.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการทำกระดาษ

รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์ [12] ได้กล่าวไว้ว่าองค์ประกอบหลักของกระดาษ ได้แก่ ส่วนที่เป็นเส้นใย (Fibrous Materials) ซึ่งเป็นโครงสร้างของแผ่น และส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย ซึ่งประกอบด้วยสารเติมแต่งผสมลงไปในส่วนเส้นใยเพื่อปรับปรุงสมบัติกระดาษตามวัตถุประสงค์การใช้งาน

1. ส่วนเส้นใย (Fibrous Materials)

มีอยู่ในพืชทุกชนิดซึ่งมีลักษณะคล้ายทรงกระบอกและมีปลายแหลม แต่จะมีพืชบางชนิดเท่านั้นที่เหมาะสมนำมาทำเยื่อกระดาษ ซึ่งต้องพิจารณาตามความเหมาะสมต่างๆ ต้มเป็นเยื่อได้ง่าย การให้เส้นใย ความสามารถต่อการทนปฏิกิริยาในการต้มย่อย แหล่งจัดหาวัตถุดิบ การเก็บรักษาขนส่ง

พืชมีองค์ประกอบทางเคมี 4 ชนิด ได้แก่ ลิกนิน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและสารแทรก ซึ่งเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส มีชื่อเรียกว่า โฮโลเซลลูโลส ในการผลิตเยื่อกระดาษมักต้องการ โฮโลเซลลูโลสสูงและมีปริมาณลิกนินต่ำเพราะจะง่ายต่อการกำจัดลิกนิน

พืชที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการทำเยื่อกระดาษ เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มไม้ยืนต้น (Wood) แบ่งตามลักษณะเส้นใยเป็น 2 ประเภท พวกไม้สน เป็นไม้เนื้ออ่อน(Softwood) มีโครงสร้างของเมล็ดรูปกรวย (Coniferous) เส้นใยของไม้เนื้ออ่อนมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 3 มิลลิเมตร เรียกเยื่อใยยาวและอีกประเภทคือ ไม้ใบกว้าง เป็นไม้เนื้อแข็ง(Hardwood) เส้นใยมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 1-2 มิลลิเมตร เช่น ยูคาลิปตัส เรียกว่าเยื่อใยสั้น และกลุ่มพืชล้มลุก (Nonwood Plant) ใช้ผลิตเยื่อกระดาษชนิดพิเศษ (Specially Paper) ซึ่งเป็นผลผลิตจากเกษตรกร เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย และได้จากพืชที่ขึ้นตามธรรมชาติ เช่น ไม้ไผ่ กก และพืชปลูกหมุนเวียนในรอบปี เช่น สับปะรด เส้นใยจากฝ้ายและเศษฝ้าย

2. ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย (Non Fibrous Materials)

ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย (Non Fibrous Materials) มีหลายประเภท หนึ่งในนั้น ได้แก่ สารเติมแต่ง (Additive) เป็นสารด้านการซึมน้ำ (Sizing Agent) ทำหน้าที่เพิ่มสมบัติด้านการต้านทานการซึมน้ำของกระดาษ ทำให้กระดาษต้านทานการเปียกน้ำได้ดีขึ้น และช่วยลดพื้นที่ผิวของการดึงดูระหว่างเส้นใยและโมเลกุลของน้ำ ทำให้ลดอัตราการซึมของน้ำเข้าสู่เนื้อกระดาษ

ดวงทิพย์ กู้เกียรติกุลชัย [13] กล่าวถึง ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย (non-fiber) คือสารเพิ่มความเหนียว (dry strength agent) ใช้เติมลงไปเพื่อทำให้แรงยึดเหนี่ยวของพันธะระหว่างเส้นใยเพิ่มขึ้นผลที่ได้คือกระดาษมีความแข็งแรงเชิงกลเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะความต้านทานต่อแรงดึง ตัวอย่างสารเพิ่มความเหนียวที่ใช้ส่วนมาก ได้แก่ แป้งดัดแปร (modified starch)

กล้าณรงค์ ศรีรอด และกุลฤดี แสงสีทอง [14] ได้กล่าวไว้ว่าอุตสาหกรรมกระดาษมีการนำแป้งมาใช้ประโยชน์มากที่สุด แป้งเป็นวัตถุดิบที่มีปริมาณมากเป็นอันดับสามรองจากเส้นใยเซลลูโลสหรือเยื่อและผงแร่ (Mineral filler) ซึ่งกระดาษแต่ละชนิดจะมีแป้งเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่ไม่เท่ากัน แป้งที่ใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษส่วนใหญ่พบมากใน 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนของกระบวนการผลิตช่วงเปียก (Wet end) ขั้นตอนการฉาบผิว และขั้นตอนของการเคลือบกระดาษ

Lawton [15] ได้กล่าวไว้ว่าในการใช้แป้งในกระบวนการผลิตช่วงเปียก (Wet end) หมายถึง ส่วนของกระบวนการผลิตที่เส้นใยและองค์ประกอบอื่นๆ ที่มีอนุภาคขนาดเล็ก เช่น เยื่อใยอ่อน (Cellulosic fine) และผงแร่ (Mineral filler) กระจายตัวอยู่ในน้ำปริมาณมาก โดยทั่วไปจะมีการเติมแป้งลงในกระบวนการผลิตช่วงเปียกเพื่อทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มการตกค้าง (Retention aid) ช่วยให้เยื่อใยขนาดเล็กและผงแร่จับตัวกันและคงอยู่ในเนื้อกระดาษได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้การระบายน้ำ (Dewatering) บนตะแกรงสายพานเดินแผ่นกระดาษเกิดได้ดีขึ้น โดยทั่วไปนิยมใช้แป้งคัดแปรที่มีประจุบวกหรือเรียกว่าแป้งแคทไอออนิก โดยประจุบวกของแป้งจะดึงดูดกับประจุลบของเส้นใยและผงแร่ได้ดี ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยด้วยตัวเอง และระหว่างเส้นใยกับผงแร่ได้ดีขึ้น ทำให้มีปริมาณตกค้างของผงแร่คงอยู่ในเนื้อกระดาษได้มากขึ้นและกระดาษมีความแข็งแรงมากขึ้น ถ้าเปรียบเทียบกับแป้งดิบแล้วแป้งแคทไอออนิกจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าและใช้ปริมาณที่น้อยกว่า

เลอพงศ์ จารุพันธ์ และตนพรพรช หารรรษอุดม [16] พบว่า จากการศึกษาลักษณะผิวหน้าของกระดาษจากทางใบปาล์มน้ำมันที่ปรับปรุงสมบัติโดยการเติมแป้งประจุบวกร่วมกับแอลคิลคีตตินไคเมอร์ ซึ่งกระดาษก่อนเติมแป้งประจุบวกร่วมกับแอลคิลคีตตินไคเมอร์มีลักษณะพื้นผิวหน้าที่ไม่เรียบและสามารถเห็นช่องว่างระหว่างเส้นใยอย่างชัดเจน แต่เมื่อหลังจากเติมแล้วความเรียบจะมากขึ้นและช่องว่างระหว่างเส้นใยจะลดลงตามปริมาณของแป้งประจุบวกและแอลคิลคีตตินไคเมอร์ที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากแป้งประจุบวกและแอลคิลคีตตินไคเมอร์สามารถยึดเกาะบนเส้นใยได้ดี ทำให้ส่งผลให้ค่าเชิงกลและความต้านทานการซึมน้ำของเยื่อกระดาษสูงขึ้นตาม เนื่องจากสมบัติของแอลคิลคีตตินไคเมอร์ซึ่งมีสมบัติเป็นอิมัลชันที่มีหมู่ฟังก์ชันสองหมู่ที่มีคุณสมบัติชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ โดยหมู่ที่ไม่ชอบน้ำจะยึดเกาะกับเส้นใย ส่วนหมู่ที่ชอบน้ำจะยึดเกาะกับน้ำและป้องกันการซึมผ่านน้ำสู่กระดาษ

กล้าโดยสรุปคือ กระดาษที่ใส่สารต้านการซึมน้ำปริมาณสูง จะมีระดับต้านการซึมน้ำสูง (Hard-Sized) อย่างเช่น กระดาษทำถ้วย, กระดาษทำกล่องนม เป็นต้น โดยใช้สารแอลคิลคีตตินไคเมอร์ (Alkyl Ketene Dimer; AKD) และแป้งคัดแปร (Modified Starch) หรือแป้งประจุบวกเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกระดาษ เนื่องจากสารมีประจุบวกจึงสามารถจับกันได้ดีกับเส้นใยซึ่งมีประจุลบ ทำให้เพิ่มพันธะระหว่างเส้นใยในกระดาษให้แข็งแรง

2.1.3 ความรู้เบื้องต้นของแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง พบในคลอโรพลาสต์ (ในใบ) และส่วนที่พืชใช้เป็นแหล่งเก็บอาหาร เช่น เมล็ดหัว มนุษย์ได้นับแป้งจากพืชแตกต่างกันตามภูมิประเทศในโลกทางด้านทวีปอเมริกาเหนือ/กลาง จะมีข้าวโพด ข้าวสาลีเป็นแหล่งให้แป้งเป็นสิ่งสำคัญ ทางยุโรปมีมันฝรั่ง แลบบเอเชีย และแลบบแอฟริกา มีข้าวสาลีและแป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น แต่ที่สำคัญที่มีการใช้กันทั่วโลกคือ แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวสาลีและแป้งมันสำปะหลัง แป้งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในการโภชนาการของมนุษย์ อาหารทั้งหมดส่วนใหญ่จะมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลักของทุกชนชาติ เช่น ข้าว ขนมปัง ก๋วยเตี๋ยว และพาสต้า เป็นต้น [17]

บทบาทสำคัญของแป้ง คือ ใช้เป็นแหล่งอาหารพลังงานสูงของมนุษย์ แต่จากคุณสมบัติเฉพาะของแป้งจึงได้มีการนำแป้งมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติอาหาร เช่น ทำให้เกิดเจล ควบคุมความคงตัวและเนื้อสัมผัสจำพวกซอส ซุปและน้ำปรุงรสอาหาร ป้องกันเนื้อสัมผัสของอาหารเสียรูปเนื่องจากกระบวนการแช่แข็งและคืนรูปจากแช่แข็ง (Freeze-Thaw) สภาวะกรดการทำพาสเจอร์ไนเซชัน (Pasteurization) และสเตอริไลเซชัน (Sterilization) เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ สิ่งทอ กาว และอุตสาหกรรมแป้งตัดแปร เป็นต้น คำว่า“แป้ง” ในผลิตภัณฑ์นั้น หมายถึงคาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบคาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ มีสิ่งเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ น้อยกว่า ส่วนแป้งที่ผลิตโดยทั่วไปที่ยังมีส่วนประกอบอื่นๆ อยู่มาก จะเรียกว่าฟลาวัวร์ (Flour) ตัวอย่างเช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี ถ้ายังมีส่วนประกอบสูง ก็จัดอยู่ในประเภทของฟลาวัวร์ เรียกว่า คอนฟลาวัวร์ (Corn Flour), วิธฟลาวัวร์ (Wheat Flour) เช่นเดียวกับแป้งข้าวเจ้าที่ยังมีโปรตีน 7-8% เรียกว่า ไรฟลาวัวร์ (Rice Flour) แต่เมื่อมีสิ่งเจือปนอันหมายถึงโปรตีน ไขมัน เกลือแร่ อื่นๆ ถูกสกัดออกไป จนเหลือเป็นแป้งบริสุทธิ์ส่วนใหญ่ จึงเรียกว่าแป้งสตาร์ช (Starch) เช่น คอโรนสตาร์ช (Corn Starch), วิธสตาร์ช (Wheat Starch) เป็นต้น สำหรับแป้งมันสำปะหลังที่ผลิตในประเทศไทย ปัจจุบันผลิตโดยวิธีการที่ทันสมัย มีความบริสุทธิ์ของแป้งสูง แป้งสตาร์ชที่ยังไม่ได้ตัดแปรหรือไม่ได้แปรรูป นิยมเรียกว่า แป้งดิบ (Raw Starch) หรือ (Native Starch) ซึ่งตรงกันข้ามกับแป้งที่ถูกตัดแปรหรือแปรรูปแล้วที่เรียกว่า โมดิฟายด์สตาร์ช (Modified Starch) หรือแป้งตัดแปร [17]

2.1.3.1 แป้ง (starch)

กล้านรงค์และเกื้อกุล [18] ได้ให้คำนิยามคำว่า แป้ง (starch) หมายถึง ผลิตภัณฑ์แป้งที่ผลิตจากวัตถุดิบทางการเกษตร มีการกำจัดสิ่งเจือปน ได้แก่ โปรตีน ไขมันและเกลือแร่อื่นๆ ออกไปจนเหลือแป้งที่บริสุทธิ์ แป้งเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตที่เกิดจากน้ำตาลกลูโคส 2 โมเลกุลมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (glucosidic linkage) โดยมีการสูญเสียน้ำออกไป 1 โมเลกุล มีสูตรเคมีทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งประกอบด้วยอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน ดังนั้นแป้งที่มาจากแหล่งต่างกันจะมี

อัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพกทินแตกต่างกันทำให้สมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน [19]

Maurer [20] กล่าวว่าในอุตสาหกรรมกระดาษมีการนำแป้งมาใช้ในขั้นตอนการเตรียมเยื่อก่อนการขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษ มีการนำแป้งมาใช้เป็นสารเพิ่มการยึดจับ (retention aid) สารจับตะกอน (flocculating agent) ตัวพาสำหรับการเติมสารกันซึมภายใน (carrier for internal sizing) และเพื่อเพิ่มความแข็งแรงภายในของเยื่อ (internal strength)

2.1.3.2 แป้งดัดแปร (modified starch)

แป้งหรือสตาร์ชดิบ (native starch) โดยทั่วไปมีสมบัติบางประการไม่เหมาะสมกับการผลิตในอุตสาหกรรม ได้แก่ มีช่วงความหนืดแคบ มีลักษณะเนื้อสัมผัสไม่ดี มีความคงทนต่อแรงเฉือนในกระบวนการผลิตหรือความคงทนต่อสภาวะต่างๆต่ำ ไม่มีหมู่ฟังก์ชันที่ทำหน้าที่ชอบไขมัน เป็นต้น ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบต่อความต้องการในการใช้งาน เช่น ในอุตสาหกรรมกระดาษแป้งมันสำปะหลังดิบจะเหนียวเกินกว่าที่เครื่องเคลือบจะทำงานได้ ดังนั้นจึงได้มีการนำสตาร์ชมาปรับปรุงสมบัติเพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานในรูปแบบของแป้งดัดแปร (modified starch) [21] ให้ความหมายของคำว่าแป้งดัดแปรตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 1073) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแป้ง เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวสาลี มาเปลี่ยนสมบัติทางเคมีและ/หรือฟิสิกส์ด้วยความร้อนและ/หรือเอนไซม์ และ/หรือสารเคมีชนิดต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ สมบัติของแป้งดัดแปรที่ต้องการ เช่น ทำให้คงต่อสภาวะในการผลิตได้ดีขึ้น การเกิดเจลที่ไฉน การคืนตัวและการสูญเสียน้ำของเจลลดลง ลักษณะของเนื้อเจลดีขึ้น มีสมบัติความเป็นกาวเพิ่มขึ้น มีสมบัติไม่ชอบน้ำหรือความสามารถในการผสมกับตัวทำละลายอื่นๆ เพิ่มขึ้น [22]

2.1.3.3 การแปรรูปแป้งมัน มี 3 วิธี คือ

1. วิธี Degradation หรือ Conversion คือ การทำให้ความเหนียวของแป้งลดลง ซึ่งสามารถทำได้ดังนี้ คือ Acid Conversion คือ การนำแป้งมาเติมกรดเกลือและกรดกำมะถันเพื่อให้ความเหนียวของแป้งลดลง และสามารถคงรูปเจล (Gel) ได้โดยการทำให้เย็น แป้งที่ได้เรียกว่าแป้งดัดแปรโดยใช้กรด (Acid Modified Starch)

2. วิธี Pregelatinization คือ การนำแป้งที่มีความเข้มข้นร้อยละ 40-50 เกลงบนผิวถังร้อน แป้งจะแห้งและสุกเป็นแผ่นบางๆ จากนั้นนำแผ่นแป้งไปบดผ่านตะแกรงเป็นแป้งอีกครั้ง แป้งที่ได้นี้จะมีสมบัติเป็นกาวทันทีเมื่อถูกน้ำเย็น จึงมีชื่อเรียกว่า Cold Water Soluble Starch (CWS) หรือแป้งอัลฟา (Alpha Starch) หรือแป้งที่แปรรูปโดยกระบวนการทางกายภาพ (Physically Modified หรือ Converted

Starch) ซึ่งแป้งที่ได้นี้จะสุก 100 เปอร์เซ็นต์ สามารถนำไปใช้ในงานที่ไม่ต้องใช้ความร้อนในการทำให้เป็นกาวได้

3. วิธี Derivative คือ การใช้สารเคมีในการเปลี่ยน โมเลกุลหรือสมบัติของแป้งจากวิธีนี้ได้ แป้งแปรรูป 2 ประเภท คือ

1. สตาร์ช เอสเทอร์ (Starch Ester) เช่น

- Acetylated Starch ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร กระจกและกาว

- Phosphoric Acid Ester ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

2. สตาร์ช อีเทอร์ (Starch Ether) เช่น

- Carboxymethyl Ether, Hydroxyethylated Starch, Hydropropylated Starch และ Cationic Starch แป้งกลุ่มนี้ทนความเย็นได้ดีกว่า และมีราคาแพงกว่า Ester

- Cross-Linked Starch ใช้ในขั้นตอนสุดท้ายของการแปรรูปอาหารเพื่อให้แป้งคงทนต่อภาวะกรดต่างชนิดปกติ แรงกวนและความร้อน

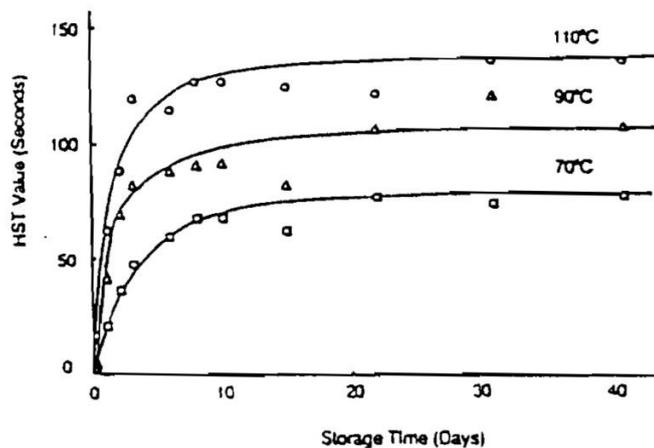
แป้งคัดแปรที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมกระจก คือแป้งไอออนิกสตาร์ช (cationic starch) หรือแป้งประจุบวก เนื่องจากมีประจุบวกอยู่ในโมเลกุลทำให้สามารถเกิดพันธะไอออนิกระหว่างประจุบวกกับประจุลบของเซลล์โลสที่ใช้ทำกระจกได้ดี นิยมนำมาใช้เพื่อเพิ่มความเหนียวให้กระจก ใช้เคลือบกระจกทำให้ทนต่อการขีดหรือถลอก ด้านทานการแทรกซึมของหมึกหรือของเหลวได้ หากมีการนำแป้งมาใช้ในอัตราส่วนที่เกินมาตรฐานกำหนดอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต

2.1.4 แอลคิลคีทีนไดเมอร์ (Alkyl ketene dimer)

สารสังเคราะห์ Alkyl ketene dimer (AKD) เป็นสารด้านการซึมน้ำ (sizing-agent) ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากกรดไขมัน ส่วนมากพบอยู่ในไขผึ้ง(waxy) มีโครงสร้างคล้ายแป้งประจุบวก(cationic starch)หรือพอลิเมอร์ประจุบวก(cationic polyelectrolyte) แต่ปัจจุบันจะอยู่ในรูปของเหลวถึงแม้ว่ามีขนาดเล็กกว่า แต่ประสิทธิภาพมีมากกว่าแบบไขผึ้งซึ่งจะช่วยทำให้กระจกไม่ลื่น เมื่อเทียบระหว่าง Alkyl ketene dimer (AKD) จะมีปฏิกริยาน้อยกว่า Alkenyl Succinic Anhydride (ASA) จะเห็นได้จากเมื่อกระจกแห้งตัวแล้ว เพราะแต่ก่อน ASA ได้มีการใช้เป็นสารด้านการซึมน้ำอย่างแพร่หลาย ในเวลาต่อมาจึงได้มีการปรับปรุงคุณสมบัติให้ดีขึ้น ส่วนใหญ่จึงมีการนำ AKD มาใช้แทน เช่น กระจกพิมพ์เขียนกระจกถูกฟูกหรือใช้เพื่อต้องการเพิ่มสมบัติในการต้านทานการซึมน้ำเพื่อให้การต้านทานการซึมน้ำมีระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น [23]

สมชาติ รุ่งอินทร์ [24] กล่าวว่า สารต้านการซึมน้ำ (sizing-agent) โดยธรรมชาติเส้นใยเซลลูโลส สามารถดูดซึมน้ำได้ดี ในการทำกระดาษการเติมสารต้านการซึมน้ำลงไปเพื่อความต้านทานการซึมน้ำของกระดาษ เนื่องจากโมเลกุลของสารต้านการซึมน้ำมีพลังงานพื้นที่ผิวต่ำ เมื่อไปเกาะบนผิวเส้นใย จะทำให้เส้นใยตรงส่วนที่สารต้านการซึมน้ำเกาะอยู่มีพลังงานที่พื้นที่ผิวต่ำด้วย ซึ่งเป็นผลทำให้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำและเส้นใยลดลง ส่งผลให้น้ำไม่สามารถซึมทะลุผ่านเข้าไปในเนื้อกระดาษได้ สารต้านการซึมน้ำที่ใส่เข้าไปในเนื้อกระดาษชนิดต่างๆด้วยเหตุผลต่างกัน เช่น กระดาษพิมพ์เขียนเติมสารต้านการซึมน้ำลงไปเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการแตกของเส้นใยหมึกที่ใช้เขียน

ณรงค์ วุฑฒเสถียร [25] กล่าวว่า แอลคิลคีตินิกไดเมอร์ (Alkyl ketene dimer ;AKD) คือสารเตรียมจากกรดสเตียริก โดยการทำปฏิกิริยากับสารเคมีตระกูลกรดคลอไรด์ จะได้ AKD ซึ่งมีลักษณะเป็นไข (Wax) มีจุดหลอมเหลวประมาณ 50 องศาเซลเซียส ในการผลิตเป็นสารกันซึมน้ำจะต้องนำไปปั่นด้วยใบพัดความเร็วรอบจัดเพื่อให้เกิดเป็นอิมัลชัน โดยการตีไข่ให้กระจายตัว (Dispersion) ในน้ำโดยมีสารโพลีเมอร์ประจุบวกหรือแป้งประจุบวกเป็นสารป้องกันคอลลอยด์ ด้วยวิธีนี้สามารถผลิตน้ำยาที่มีประจุบวกในระดับต่างๆกันได้ เม็ดไข AKD ที่กระจายตัวอยู่ในน้ำจะมีขนาด 1-5 ไมครอนเท่านั้น AKD เป็นสารประกอบที่มีคาร์บอนอะตอมเป็นหลักโดยมีคาร์บอนจำนวน 14-18 ตัว ถ้ามีคาร์บอนอะตอมยิ่งมาก ก็จะทำให้ประสิทธิภาพการกันซึมเพิ่มขึ้น สาร AKD สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำได้เช่นกันแต่ไม่ค่อยเกิดปฏิกิริยานี้เท่าไรนัก และสารที่เกิดจากการทำปฏิกิริยากับน้ำจะมีสภาพเป็นกลางคือไม่ไปทำการกันซึมน้ำให้ดีขึ้นหรือเลวลง จัดว่าเป็น นันไซซิ่ง (Non Sizing) และการที่ AKD ก่อนข้างเพื่อใช้ในการทำปฏิกิริยากับเส้นใยเยื่ออุณหภูมิต่ำ จึงเป็นเหตุให้ต้องอบกระดาษที่อุณหภูมิสูงขึ้นจึงจะทำให้เกิดการกันซึมน้ำได้ แต่ในสภาพบนเครื่องผลิตกระดาษนั้น การใช้ AKD ในยุคแรกจะพบว่าขณะที่กระดาษเข้าม้วนแล้วก็ยังมีกระดาษไม่คืนกักต้องทิ้งไว้ 1-10 วัน เพื่อบ่มกระดาษค่ากันซึมน้ำจะเพิ่มขึ้นจนถึงสูงสุดได้ ซึ่งก็เป็นเหตุผลหนึ่งในสมัยก่อนโรงงานกระดาษไม่นิยมใช้ AKD ยกเว้นกระดาษพิเศษบางประเภทที่ต้องการค่ากันซึมน้ำสูงมาก เช่น กระดาษกล่องนม กระดาษอัดรูป เป็นต้น



Effect of drying temperature and subsequent storage time on AKD (0.1%) sized paper

รูปที่ 2.1 ผลของอุณหภูมิอบแห้งกระดาษในเครื่องผลิตกระดาษและระยะเวลาการบ่มกระดาษ ต่อค่ากันชื้นน้ำ (ค่ามากเท่ากับกันชื้นน้ำได้มาก)

ที่มา : Alkaline Sizing, Paper Technology, Advance Agro, หน้า 6 [25]

AKD ยุคใหม่ปัจจุบันมีการปรับปรุงคุณภาพให้ลดระยะเวลาการบ่มเหลือไม่กี่ชั่วโมง จึงทำให้ AKD มีคุณสมบัติเหนือกว่า ASA (Alkenylsuccinic Anhydride) เพราะสะดวกในการใช้งานไม่ต้องเตรียมเป็นน้ำยาอิมัลชันในโรงงานกระดาษ เพราะการเตรียมใช้เองถ้าพนักงานผู้ควบคุมไม่ดูแลเอาใจใส่ใกล้ซิคก็ จะก่อให้เกิดปัญหาได้เพราะน้ำยาจะเป็นอิมัลชันที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งจะทำให้กระดาษไม่กันชื้นน้ำหรือกัน ชื้นน้ำน้อยได้ ส่วน AKD นี้เป็นการเตรียมอิมัลชันมาจากโรงงานผู้ผลิตเลย แต่ก็เก็บได้ไม่กี่เดือนทั้งนี้ เพราะวสาร AKD ที่อยู่ในน้ำจะทำปฏิกิริยากับน้ำ สลายตัวไปเรื่อยๆดังนั้นควรเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำจะ ช่วยยืดอายุการสลายตัวของ AKD

1. การใช้ AKD อย่างมีประสิทธิภาพ

ปัจจัย 4 ประการในการทำกระดาษกันชื้นน้ำได้ดีโดยการผสมสารเคมีกันชื้นน้ำกับเยื่อ

1.1 ต้องตกค้าง (Retention) และเกาะติดบนเส้นใยเยื่อ

1.2 กระจายตัวครอบคลุมผิวเส้นใยเยื่อ

1.3 สารเคมีจัดเรียงตัวบนผิวเส้นใยเยื่อโดยหันปลายด้านที่ผสมน้ำออก (Hydrophobic)

เพื่อเกาะไม่ติดผิว

1.4 ฟังตัวให้ติดแน่นกับผิวเส้นใยเซลลูโลส (เยื่อ)

ประสิทธิภาพของสารกันชื้นน้ำทุกชนิดจะอธิบายได้ด้วยหลักการ 4 ข้อ ข้างต้นนี้ ซึ่งสามารถใช้ อธิบายว่าทำไมถึงใช้ 0.02-0.03% ก็สามารถทำกระดาษกันชื้นน้ำได้

2. ปัจจัยที่มีผลต่อการทำให้ AKD กันซึมน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ

2.1 ค่า pH

AKD ใช้ได้ในช่วง 6-9 แต่จะให้ผลสูงสุดที่ pH ประมาณ 7.5 แต่ถ้าวัสดุที่มีวนกระดาษออกจากเครื่องผลิตกระดาษสดๆ จะพบว่า AKD ให้ผลสูงสุดที่ pH 8.5 แต่ถ้าทิ้งกระดาษบ่มไว้นาน 1 สัปดาห์ก็จะพบว่าค่ากันซึมน้ำลดลงไปอีก ดังนั้นค่า pH ที่ให้ค่ากันซึมน้ำสูงสุด (ภายหลังบ่ม 1 สัปดาห์) คือ 7.5

2.2 ความเป็นด่าง (Alkalinity)

ค่าความเป็นด่างมีความสำคัญต่อการกันซึมน้ำมากโดยเฉพาะความด่างไบคาร์บอเนต (Bicarbonate Alkalinity) ค่าความเป็นด่างอย่างต่ำ 150 พีพีเอ็ม สามารถใช้ได้ในช่วง 150-250 พีพีเอ็ม การที่ใช้ผงหินปูนบดเป็นฟیلเลอร์ก็มีผลช่วยในเรื่องนี้เพราะทำให้บัฟเฟอร์ค่า pH อยู่ในช่วง 7.5-8.5 ถ้าพบว่าแหล่งนี้ประปาที่ใช้มีความเป็นด่างต่ำก็เติมโซดาแอช หรือ โซเดียมไบคาร์บอเนตก็ได้

2.3 ชนิดของเยื่อ

เยื่อแต่ละชนิดแต่ละพันธุ์ไม่มีความไวในการทำปฏิกิริยากับ AKD ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นกับพื้นที่ผิวของเส้นใยเยื่อแต่ละชนิด เยื่อที่ผลิตด้วยกระบวนการต้มเยื่อแต่ละแบบ จะมีพื้นที่ผิวไม่เท่ากันและว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาแตกต่างกัน จะพบว่าเยื่อกราฟท์ไม่ฟอกขาวนั้น เปลือง AKD น้อยกว่ามากในการทำให้เกิดการกันซึมน้ำ เยื่อฟอกขาวและเยื่อที่ต้มแบบซัลไฟท์จะสิ้นเปลือง AKD มากกว่า

2.4 อุณหภูมิของกระดาษในการอบแห้ง

ในชุดลูกอบของเครื่องผลิตกระดาษ ความร้อนจากลูกอบจะหลอมละลาย AKD ให้แผ่กระจายตัวปกคลุมผิวเส้นใย และในขณะที่เดียวกันก็ทำปฏิกิริยาจับกับ โมเลกุลของเซลลูโลสเกิดพันธะการรวมตัวของอะตอมขึ้น ซึ่งจะจับแน่นขึ้นหลังจากออกจากชุดลูกอบหรือมีระยะเวลาการบ่มเล็กน้อย

2.5 การตกค้างบนแผ่นกระดาษ

ปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่จะมีผลกระทบต่อปริมาณการใช้สาร AKD ในการกันซึมน้ำก็คือการตกค้างของ AKD ที่เกาะอยู่บนแผ่นกระดาษว่าตกค้างมากเท่าใดเปรียบเทียบกับปริมาณที่ใส่

โดยปกติแล้วในการผลิตกระดาษนั้นจะต้องมีการบดเยื่อเพื่อให้ได้ค่าฟรินส หรือคุณสมบัติความอมน้ำของเยื่อตามที่ต้องการ กระบวนการบดเยื่อ (Refining) จะทำให้ผิวเส้นใยเยื่อแตกแขนงออก เกิดเป็นเศษเยื่อและเศษเยื่อฝอยมากมาย เยื่อที่แตกแขนงออกมาจะทำให้มีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นมาก ซึ่งทำให้เป็นพื้นที่ผิวใหม่สดที่ AKD จะไปเกาะติดอยู่และทำปฏิกิริยาได้ ดังนั้นในกระบวนการผลิตกระดาษถ้าเศษเยื่อมากก็จะทำให้สาร AKD ลอดผ่านไปด้วยซึ่ง AKD ส่วนนี้ไม่ได้มีผลในการช่วยทำให้เกิดการซึมเลยจึงเป็นการสูญเปล่า ดังนั้นจึงต้องหาทางให้เศษเยื่อและเยื่อฝอยเหล่านี้ตกค้างอยู่บนแผ่นกระดาษให้มากที่สุด คือต้องเพิ่มค่าการตกค้างขั้นแรก (First Pass Retention)

การใช้สารเคมีเพิ่มการตกค้างและสารเคมีที่มีประจุต่างๆ ก็มีช่วยช่วยลดการตกค้างบนแผ่นกระดาษ เช่น การใช้แป้งประจุบวกหรือสารเคมีชนิดอื่นๆที่มีประจุบวก

ประจุไฟฟ้าของระบบน้ำเยื่อรวมก็มีส่วนสำคัญอย่างมากต่อการตกค้างบนแผ่นกระดาษของสารเติมเต็มและเยื่อฝอย แต่การใช้สารเคมีประจุบวกมากเกินไปจะทำให้ระบบทั้งหมดกลายเป็นบวกหมด สารเติมเต็มและเยื่อฝอยแทนที่จะจับเส้นใยก็อาจจะผลักรอกไม่จับเลยเนื่องจากมีประจุบวกเหมือนกันมากเกินไป

2.1.5 สารเติมแต่งชนิด LODYNE®

Pijnenburg and Laane [26] กล่าวว่าไว้ว่า Fluorochemicals และ Fluorinated chemical มีความหมายเหมือนกัน หมายถึงคำที่ใช้อธิบายสารเคมีทั้งหมดอย่างกว้างขวางที่มีฟลูออรีนเป็นองค์ประกอบ ส่วน Perfluoro หรือ Perfluorinated หมายถึง สารที่ทุกอะตอมไฮโดรเจนที่ติดอยู่กับอะตอมของคาร์บอนจะถูกแทนที่ด้วยอะตอมฟลูออรีน ผู้จำหน่ายวัตถุดิบหลักของ fluorochemicals ในอุตสาหกรรมกระดาษ เช่น บริษัท Ciba ใช้ชื่อเรียกตราสินค้าว่า Lodyne® เป็นต้น มีสมบัติต้านทานน้ำและน้ำมัน ใช้กับกระดาษสำหรับห่อขนม, คุกกี้และอาหารสัตว์เลี้ยง โดยทั่วไปประสิทธิภาพของกระดาษจะขึ้นอยู่กับ การใช้สารเคมีดังกล่าว ปริมาณของสารที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตกระดาษ คือ 1.0-1.5% ของน้ำหนักเยื่อแห้ง

นุจรินทร์ รามัญกุล [27] กล่าวว่าไว้ว่า Fluorinated Surfactants มีสมบัติไม่ชอบน้ำ ไม่ชอบไขมัน ใช้ลดแรงตึงผิว ฉีดพ่นพื้นผิววัสดุเพื่อให้กันน้ำ ฝุ่นและไขมัน สามารถใช้ในงานกระดาษและบรรจุภัณฑ์ (Paper & Packaging Protection) เช่น กระดาษห่อขนมขบเคี้ยว, fast food, แป้งเค้ก, เนยมาการีน, ขนมอบและบรรจุภัณฑ์อาหารสัตว์, กระดาษขึ้นรูปเพื่อผลิตจานและภาชนะบรรจุอาหาร, Liner board ใช้สำหรับผลิตกล่อง เป็นต้น ผู้ที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตคือ แพนกทำเยื่อกระดาษ (Paper mill) สามารถหาซื้อได้จากผู้ขายสารเคมีสำหรับเคลือบผิวกระดาษและสำหรับเส้นใยกระดาษ

BASF [28] LODYNE® เป็นชื่อที่ใช้เรียกตราสินค้า (Product name) ส่วน Fluorochemicals คือชื่อที่ใช้เรียกสายกลุ่มผลิตภัณฑ์ (Product line) ผลิตที่ประเทศเยอรมันเป็นสารเคมีที่ใช้กับผสมในเยื่อกระดาษ มีคุณสมบัติต้านทานน้ำและไขมัน สารเติมแต่งนี้ประกอบด้วยฐานน้ำ เป็นสารประเภท perfluoro substituted acid ในสารเคมีจะไม่มีส่วนผสมของสารดังต่อไปนี้

- Ethylenediamine-tetraacetic acid
- Diethylenetriamine pentaacetic acid

- polychlorinated biphenyls (PCB)
- glyoxal
- Alkylphenol ethoxylate (APEO)
- Phthalates

เนื่องจากสารให้สีถูกระบุให้อยู่ในกลุ่มที่เป็นสารก่อมะเร็ง ยกตัวอย่างเช่น ประเทศเยอรมันได้ออกกฎหมายบังคับเกี่ยวกับสารเคมีที่ใช้ผลิตสินค้าอุปโภคบริโภค ได้แก่ กฎระเบียบ TRGS 614 หรือ Directive 2002/61/EC สารที่ไม่ได้ใช้เป็นส่วนผสมของสารเติมแต่งชนิด Lodyne® ดังที่กล่าวมาในข้างต้น เนื่องจากสารเหล่านี้ยังไม่ได้รับการวิเคราะห์แต่มีโอกาพบสารเหล่านี้ในบางบริษัท

กฎข้อบังคับที่ใช้กับบรรจุภัณฑ์สัมผัสกับอาหาร

องค์การอาหารและยาของประเทศสหรัฐอเมริกา (Food and Drug Administration, USA) ว่าด้วยเรื่องผลิตภัณฑ์สัมผัสกับอาหารกฎระเบียบ Food Contact Notification (FCN) 255 มีผลบังคับใช้เมื่อ วันที่ 5 กันยายน 2546 โดยผ่านการรับรองจากองค์การอาหารและยาของประเทศสหรัฐอเมริกา United States Food and Drug Administration (FDA) มีวัตถุประสงค์ให้ใช้สารเติมแต่งชนิด Lodyne® ผสมในเนื้อกระดาษเพื่อดำเนินงานการซึมผ่านของน้ำและน้ำมัน หรืออาจจะประยุกต์ใช้เป็นสารเคลือบผิวหน้ากระดาษใช้เคลือบภายนอก กำหนดข้อจำกัดการใช้ในปริมาณไม่เกิน 2.7% ของน้ำหนักกระดาษที่ขึ้นแผ่นแล้ว ประมาณ 500 กรัม/ตารางเมตร หากใช้ในอัตราส่วนที่เกินมาตรฐานกำหนดจะทำให้เกิดสารพิษสะสมต่อสิ่งมีชีวิต สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมหรือส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำ สามารถใช้ได้กับบรรจุภัณฑ์อาหารทุกประเภท กฎระเบียบของ (FCN) 255 ผู้ผลิตสามารถนำไปใช้กับกระดาษธรรมดาและกระดาษแข็งเมื่อบรรจุภัณฑ์สัมผัสอาหารประเภทน้ำและไขมันให้ปฏิบัติตามการทดสอบกระดาษขององค์การอาหารและยาของประเทศสหรัฐอเมริกา คือ 21 CFR 176.170 และอาหารชนิดแห้งให้ปฏิบัติตามการทดสอบของ 21 CFR 176.180

กฎหมายควบคุมด้านสิ่งแวดล้อม

ผู้ผลิตสารเติมแต่งชนิด LODYNE® ในประเทศเยอรมันได้เป็นสารเคมีสำหรับกระดาษที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Ecolabel) มีชื่อเรียกว่า ฉลากสิ่งแวดล้อม Blue Angel เป็นกฎระเบียบฉลากสิ่งแวดล้อมสำหรับผลิตภัณฑ์และการบริการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและคุ้มครองด้านความปลอดภัยต่อผู้บริโภคตั้งแต่ปี ค.ศ. 1978 (พ.ศ. 2521) เกณฑ์ชี้วัดจัดทำโดยหน่วยงาน The Federal Minister of the Interior ร่วมกับ The Ministers of the Environment of the federal government and the federal states ทั้งนี้ เกณฑ์ชี้วัดที่สำคัญของฉลากสิ่งแวดล้อม Blue Angel ได้แก่ การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์, การไม่มีการปนเปื้อนของสารเคมีอันตรายในผลิตภัณฑ์สินค้า,

กระบวนการผลิตสินค้าเป็นไปตามหลักนิเวศวิทยา (Ecological properties) ความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่ และการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable development) เป็นต้น



รูปที่ 2.2 ตราสัญลักษณ์ blue angel รับรองสินค้าเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ
ที่มา : สำนักงานส่งเสริมการค้าในต่างประเทศ ณ กรุงเบอร์ลิน [29]

2.1.6 การจำแนกประเภทกระดาษตามผิวหน้า

พรทวิ พิงรัมย์ และ อรุณ หาญสืบสาย [30] ได้จำแนกประเภทกระดาษตามผิวหน้า ไว้ดังนี้

1. กระดาษไม่เคลือบผิว (Uncoated Paper) หรือที่นิยมเรียกว่า กระดาษปอนด์มีลักษณะเด่นชัดคือ ผิวหน้ายังคงได้รับอิทธิพลของเยื่อ และองค์ประกอบอื่น มีคุณภาพหลายระดับขึ้นกับคุณสมบัติของเยื่อและองค์ประกอบอื่นที่ใช้รวมทั้งวิธีการรีดผิว (Calendering) และการขัดผิว (Supercalendering)
2. กระดาษเคลือบผิว (Coated Paper) คือกระดาษที่มีชั้นสารเคลือบผิว (Coating) ปกคลุมอยู่บนส่วนผิวเยื่อของหน้ากระดาษ การที่จะกำหนดให้เป็นกระดาษเคลือบผิวได้นั้นต้องมีสารเคลือบผิวอย่างน้อย 3.7 กรัมต่อตารางเมตร ต่อ 1 หน้ากระดาษ ถ้ามีปริมาณน้อยกว่านี้กระดาษนั้นจะถูกจัดให้เป็นประเภทกระดาษเคลือบสารกันซึม (Sized Press Coated) หรือกระดาษเคลือบน้ำหนักเบา (Lightweight Coated Paper)

2.2 การผลิตกระดาษ

2.2.1 การผลิตเยื่อกระดาษ

กมล โสภณพันธ์ [31] กล่าวว่าไว้ว่าการผลิตเยื่อกระดาษคือ กระบวนการแปรสภาพวัตถุดิบเส้นใยให้เป็นเส้นใยเยื่อเพื่อให้เหมาะสมกับประเภทของกระดาษที่จะทำการผลิต

การเตรียมวัตถุดิบในการผลิตเยื่อจากขานอ้อย (Bagasse) ดังที่ [12] ได้กล่าวถึงโดยเริ่มด้วยการนำเอากากอ้อยจากกองเก็บกากอ้อยในบริเวณโรงงานมาทำ การขจัดขุยอ้อยออกที่เครื่องแยกขุยอ้อย (Depither) ขุยอ้อยจะถูกแยกออกไปประมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ส่วนที่เหลือจะเป็นส่วนที่เป็นเส้นใยประมาณร้อยละ 70 เรียกว่า ขานอ้อย จากนั้นจะส่งขานอ้อยเข้าเครื่องล้างขานอ้อย (Float washer) เพื่อล้างเอาสิ่งสกปรกหรือของหนักที่ไม่ต้องการออกจากขานอ้อยเช่น ทราย, หิน น้ำเสียที่เกิดจากการล้างขานอ้อยจะมีปริมาณประมาณ 6-10 ลูกบาศก์เมตรต่อตันเยื่อ เศษทรายหรือสิ่งสกปรกที่แยกออกจะมีปริมาณน้อยมากซึ่งมีเท่ากับ 0.005 กิโลกรัมต่อตันเยื่อ

วิชัย หลุทัยธนาสันต์ [32] ได้กล่าวถึง เยื่อกระดาษสามารถแบ่งออกเป็นประเภทเส้นใยสั้นและใยยาว แต่หากแบ่งตามวิธีการผลิตก็จะแบ่งเป็น เยื่อเคมี (Chemical Pulp) เยื่อกึ่งเคมี (Semi-Chemical Pulp) และเยื่อเชิงกล (Mechanical Pulp) ซึ่งคือเยื่อที่ได้จากวิธีการผลิต ด้วยวิธีทางเคมี วิธีทางชีวเคมี และวิธีทางกล แต่ในปัจจุบันนี้ มีวิธีการใหม่อีกวิธี คือการใช้วิธีทางชีวเคมี ซึ่งแต่ละวิธีมีรายละเอียดพอสังเขปดังนี้

2.2.1.1 กรรมวิธีทางเคมี (Chemical Pulping)

เป็นกรรมวิธีที่ใช้สารเคมีซึ่งมีทั้งสถานะที่เป็นกรดและเป็นด่างที่อุณหภูมิและความดันสูง เพื่อแยกกลีคนินออกจากวัตถุดิบ วิธีนี้สามารถแยกกลีคนินออกได้เกือบทั้งหมดเป็นผลให้ได้เยื่อกระดาษที่มีสมบัติสูงแข็งแรงแต่ผลผลิตต่ำ เหมาะสำหรับการทำกระดาษคุณภาพดี

กรรมวิธีทางเคมียังแบ่งออกได้อีกหลายวิธี ได้แก่ กรรมวิธีซัลเฟต (Sulphate Process) ใช้สารพวก Sodium Hydroxide (NaOH) และ Sodium Sulfide (Na₂S) กรรมวิธีโซดา (Soda Process) ใช้ Sodium Hydroxide เพียงอย่างเดียว บางแห่งจะเติม Sodium Sulfide ร้อยละ 5 เยื่อกระดาษที่ได้จะมีสมบัติดีกว่ากรรมวิธี Sulphate Process กรรมวิธีโซดาและกรรมวิธีซัลเฟตคล้ายคลึงกันมาก บางทีเรียกรวม ๆ กันว่า alkali process เพราะสารเคมีที่ใช้มีสภาพเป็นด่างกรรมวิธีซัลไฟต์ (Sulphite Process) ข้อดีก็คือเยื่อที่ได้จะมีสีค่อนข้างขาวนำไปทำกระดาษได้เลยหรือมีการฟอกสีเพียงเล็กน้อย ในกรณีที่ต้องการให้

เยื่อขาวมากขึ้น ข้อเสีย คือไม่สามารถใช้กับไม้ทุกชนิดได้เหมือนกรรมวิธีซัลเฟต และเนื่องจากสารเคมีมีสภาพเป็นกรดจึงทำให้เครื่องมือเป็นสนิมได้ง่าย และเป็นสาเหตุที่ทำให้กระดาษมีสภาพเป็นกรด นอกจากนี้การใช้สารผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ในอัตราส่วน 3:2:2 แทนการใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ ชนิดเดียวและช่วยลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมได้ เยื่อกระดาษที่ได้มีสมบัติทางกายภาพไม่แตกต่างไปจากการต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

2.2.1.2 กรรมวิธีกึ่งเคมี (Semi Chemical Pulping)

กรรมวิธีนี้ใช้ปริมาณสารเคมีน้อยกว่าวิธีเคมี เป็นกรรมวิธีต้มเยื่อในสภาวะเป็นกลาง หรือค่อนข้างด่างเล็กน้อย เยื่อที่ผ่านการต้มวิธีนี้ยังคงมีลิกนินที่อยู่ในสภาพอ่อนตัวหลงเหลืออยู่ และต้องการ Mechanical Operation ช่วยในการกระจายตัวให้ดีขึ้นอีก จึงเรียกว่ากรรมวิธีกึ่งเคมี เยื่อที่ต้มโดยวิธีนี้มี Stiffness ดีเหมาะสำหรับใช้ทำกระดาษลูกฟูก

2.2.1.3 กรรมวิธีทางกล (Mechanical pulping)

กรรมวิธีนี้จะใช้แรงกลเพื่อทำให้ลิกนินในวัตถุดิบอ่อนตัวลงเท่านั้นจึงมีผลผลิตสูง ความแข็งแรงของเยื่อประเภทนี้ต่ำกว่าเยื่อสองประเภทแรกที่กล่าวถึง มักใช้ทำพวกกระดาษหนังสือพิมพ์ ส่วนประกอบของชั้นกระดาษแข็ง Moulded Pulp และกระดาษพิเศษบางชนิดแต่ในปัจจุบันมีวิธีการทางกลอีกวิธีการหนึ่งซึ่งใช้หลักการเอาไอน้ำร้อนร่วมกับความดันเข้าไปแยกส่วนประกอบในภาชนะที่ควบคุมได้ จนทำให้สารต่าง ๆ แยกตัวออกมาจากเซลล์โลสจากการศึกษา ทดลองกับเปลือกสาสภาวะที่เหมาะสมในการต้มเยื่อด้วย การระเบิดด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที มีความเป็นไปได้ค่อนข้างสูง สามารถทดแทนการต้มด้วยโซดาไฟได้ การใช้วิธีนี้สามารถลดปัญหาที่จะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ การปฏิบัติงานค่อนข้างรวดเร็ว แต่ต้องระวังความปลอดภัยจากการใช้เครื่องมือและปัญหาอีกอย่างก็คือ เครื่องมือดังกล่าวมีราคาสูง

2.2.1.4 วิธีชีวเคมี (Biochemical Pulping)

เป็นวิธีการที่อาศัยเชื้อจุลินทรีย์ผลิตเอนไซม์ช่วยย่อยสลายสารต่างๆ ในวัตถุดิบจนเหลือเส้นใย เซลลูโลส วิธีนี้จะไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากนัก แต่จะต้อง เสียเวลาและพื้นที่ ในการหมักค่อนข้างมาก ในปัจจุบันนี้ได้มีการศึกษาหาเอนไซม์และ เชื้อจุลินทรีย์ใช้ในการย่อย สลายกันมากขึ้น และได้มีการจำหน่ายในตลาดบ้างแล้ว สำหรับปอสา การใช้เอนไซม์เพคตินเนส จากเชื้อรา *Rhizopus* sp.26R สามารถแยกเยื่อจากปอสาได้ และเชื้อรา สายพันธุ์ ALK – 4 สามารถผลิตเอนไซม์ ย่อยลิกนิน Manganese Peroxides (MnP) และ Iaccase ได้ดีที่สุดในเมื่อมีสภาพความเป็นกรด-ด่าง 4.5 Sotoodehnia and Amiri [33] ได้แบ่งการผลิตเยื่อกระดาษ ออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้

ก. Cooking : การต้มโดยใช้พลังงานไอน้ำ ประมาณ 10-15 นาที

ข. Pulp washing : หลังจากขั้นตอน Cooking ส่วนที่เหลือจะเรียกว่าเยื่อและได้เป็นสีค้ำน้ำตาล ต้องล้าง3ครั้งเพื่อให้เปลี่ยนสี

ค. Pulp Screening & Cleaning : การตรวจคัดกรองและการทำความสะอาดเยื่อ และกำจัดเส้นใยที่ไม่จำเป็นออก

ง. Pulp Thickening การคัดกรองเยื่อและการทำความสะอาดในส่วนนี้ความหนาแน่นของน้ำในเยื่อจะลดลง12%

จ. Bleaching การฟอกสีเป็นส่วนสุดท้ายโดยใช้คลอรีน (Chlorine) และก๊าซโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ให้เปลี่ยนเป็นสีขาวและหลังการฟอกต้องล้างในขั้นตอนที่ 3

2.2.2 ขั้นตอนการทำกระดาษ

ในการทำกระดาษนั้นจะมีขั้นตอนหลักซึ่ง สารชัย เวชรัชต์พิมล [34] กล่าวไว้ว่าประกอบไปด้วย 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นแรก คือ การเตรียมเยื่อกระดาษซึ่งก็จะได้จากวิธีการต่างๆ (วิธีการทางเคมี, กึ่งเคมี, ทางกล, หรือทางชีวเคมีก็ได้)

ขั้นที่ 2 คือ การฟอกเยื่อซึ่งจะฟอกเยื่อด้วยสารฟอกสีเพื่อให้กระดาษมีสีขาวขึ้นซึ่งการฟอกสีจะมากหรือน้อยก็ ขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการใช้งานของกระดาษ

ขั้นที่ 3 คือขั้นตอนของการบดเยื่อ เนื่องจากในการเตรียมเยื่อกระดาษเยื่อกระดาษที่ได้อาจยังมีลักษณะที่หยาบ กระดาษยังไม่เหมาะ กับการนำมาทำกระดาษ

ขั้นที่ 4 คือขั้นของการเตรียมเยื่อก่อนการทำแผ่น จะเป็นขั้นตอนที่มีการ เติมสารเพื่อเพิ่มสมบัติที่ต้องการเสียก่อน เช่น เติม Filler เพื่อให้กระดาษมีความขาวสว่างดี และมีผิวหน้าเรียบ ใส่สารกันซึม ใส่สารสี และเติม binder เพื่อเพิ่มความแข็งแรง เป็นต้น

ขั้นที่ 5 คือขั้นตอนของการทำแผ่น ซึ่งขั้นตอนนี้สามารถแบ่งได้ ออกเป็น 2 แบบคือแบบการทำในโรงงานอุตสาหกรรมกระดาษและในแบบของการทำกระดาษด้วยมือ และ

ขั้นที่ 6 คือการทำเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย

พรทวี พึ่งรัศมี และอรัญญา หาญสืบชาญ [30] ได้กล่าวถึงขั้นตอนการผลิตกระดาษ แบ่งเป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ๆ ดังนี้

1. การเตรียมน้ำเยื่อ

ในขั้นตอนการเตรียมน้ำเยื่อ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสภาพของเส้นใยโดยนำเยื่อไปบด และเพื่อปรับปรุงสมบัติกระดาษให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ที่จะใช้งาน

ก. การกระจายเส้นใย (Defibering) เป็นการทำให้เส้นใยแยกออกจากกันเป็นอิสระในน้ำ โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า ไฮดร่าพัลพ์เพอร์ (Hydra-Pulper)

ข. การบดเยื่อ (Refining) เป็นการบดเพื่อให้เส้นใยเกิดการแตกแขนงเพื่อเป็นการเพิ่มศักยภาพโดยความยาวจะสั้นลงและยึดกันระหว่างเส้นใยให้สูงขึ้นเนื่องจากเยื่อเส้นใยขนาดเล็กจะทำให้เกิดพันธะทางเคมีระหว่างเส้นใยกับน้ำ อุปกรณ์ที่ใช้คือ รีไฟเนอร์ (Refiner)

ค. การผสมน้ำเยื่อ (Blending) เป็นการเติมสารเติมแต่งลงไปผสมกับเยื่อที่ผ่านการบดแล้ว โดยผสมในถังใบพัดกวน เยื่อถูกเก็บในถังเรียกว่า แมชชีน เชสต์ (Machine Chest)

ง. การคัดขนาดและแยกสิ่งสกปรก โดยการใส่ตะแกรงราบ (Flat Screen) เพื่อคัดแยกวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นใยออกแล้วเข้าสู่ระบบปั่นแยก (Centrifugal Cleaner) จะแยกวัสดุออกไปโดยใช้หลักถ่วงจำเพาะ ส่วนการควบคุมของน้ำเยื่อ เพื่อให้ น้ำเยื่อข้นคงที่

2. การทำแผ่นกระดาษ

หลังจากผสมน้ำเยื่อเรียบร้อยแล้ว น้ำเยื่อจะถูกส่งไปเข้าเครื่องจักรผลิตกระดาษเพื่อทำเป็นแผ่นกระดาษยาวต่อกัน เรียกว่า เว็บเปเปอร์ (Web Paper) เครื่องจักรที่ใช้ผลิตส่วนใหญ่เป็นแบบโฟร์ดรีนีย์ร์ (Fourdrinier) และไซลินเดอร์ (Cylinder) เครื่องจักรผลิตกระดาษทุกแบบจะมีส่วนประกอบต่างๆเพื่อทำหน้าที่หลัก 3 ประการ คือ

ก. แยกน้ำออก (Draining) ทำหน้าที่เป็นตะแกรงรองรับน้ำเยื่อ น้ำจะลอดผ่านตะแกรงทำให้เยื่อก่อตัวเป็นแผ่นเปียก (Wet Sheet Forming) แผ่นเปียกที่ออกจากส่วนนี้จะมีน้ำอยู่ถึงร้อยละ 80 ส่วนตะแกรงลวดเดินแผ่นนี้เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากต่อความสม่ำเสมอของเส้นใยในเนื้อกระดาษ ถ้า น้ำเยื่อจากเฮดบ็อกซ์จะตกกระทบตะแกรงลวดเดินแผ่นที่ฟอร์มมิงบอร์ดความเร็วของลำน้ำเยื่อจะสูงหรือต่ำกว่าความเร็วของตะแกรงลวดเดินแผ่นเล็กน้อยเพื่อให้ได้ความแข็งแรงและความสม่ำเสมอของเส้นใยในเนื้อกระดาษความแตกต่างของความเร็วลำน้ำเยื่อและตะแกรงลวดเดินแผ่นร่วมกับตำแหน่งที่น้ำเยื่อตกบนฟอร์มมิงบอร์ด เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของกระดาษอย่างมาก เมื่อน้ำเยื่อผ่านมาบนตะแกรง น้ำบางส่วนของน้ำเยื่อรวมทั้งเส้นใยและสารเติมแต่งที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดของช่องตะแกรงจะไหลผ่านตะแกรงออกไปโดยอาศัยแรงดึงดูดของโลกและแรงดูดจากอุปกรณ์เสริมอื่นๆ ที่ติดตั้งอยู่ที่ตะแกรง น้ำที่หายไปมีผลทำให้เส้นใยเซลลูโลสอยู่ใกล้ชิดกันและเกี่ยวประสานกันได้มากขึ้น จนเกิดลักษณะเป็นแผ่นกระดาษ แผ่นกระดาษที่ได้มีผิวหน้าสองด้านที่มีสมบัติหลายประการแตกต่างกัน ทั้งนี้การเรียกด้านของกระดาษใช้การสัมผัสและไม่สัมผัสตะแกรงเป็นเกณฑ์ โดยด้านของแผ่นกระดาษที่สัมผัสตะแกรงเรียกว่า “ด้านตะแกรง” (wire side) ส่วนด้านของแผ่นกระดาษที่อยู่ตรงข้ามด้านตะแกรงเรียกว่า “ด้านสักหลาด” (felt side) ซึ่งเป็นด้านที่สัมผัสกับผืนสักหลาดที่ทำหน้าที่ในการส่งผ่านสายของแผ่นกระดาษ (paper web) บนเครื่องผลิตกระดาษ ปริมาณน้ำที่อยู่ในแผ่นกระดาษหลังการแยกน้ำออกแล้วมีอยู่ในแผ่นกระดาษหลักการแยกน้ำออกแล้วมีอยู่ประมาณ 80-85 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

ข. กดน้ำออก (Pressing) ทำหน้าที่กดหรือบีบน้ำออกจากแผ่นเปียก ทำให้เกิดการยึดแน่นจากเส้นใยภายในกระดาษ ช่วยกดอัดให้เส้นใยเซลลูโลสมาอยู่ใกล้กันและเกิดพันธะเคมีต่อกันได้มากยิ่งขึ้น ทำให้แผ่นกระดาษมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น รวมทั้งช่วยเพิ่มความเรียบให้กับผิวกระดาษ โดยสายของแผ่นกระดาษที่เกิดขึ้นหลังจากการแยกน้ำแล้วจะเคลื่อนที่เข้าไประหว่างลูกกลิ้งกดรีดน้ำ (press rolls) ในขั้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อขจัดน้ำออกจากแผ่นกระดาษให้ได้มากที่สุดก่อนที่จะส่งต่อไปยังหน่วยทำแห้ง ปริมาณน้ำที่ยังมีอยู่ในแผ่นกระดาษเปียกหลังผ่านการกดรีดน้ำแล้วเหลืออยู่ประมาณ 60-70 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

ค. อบกระดาษ (Drying) แผ่นกระดาษจะถูกอบให้แห้งเพื่อไล่ความชื้นออกจนกระดาษแห้ง การทำแห้งกระดาษทำโดยอาศัยความร้อนจากไอน้ำอ้อมตัวความดันต่ำที่ถูกจ่ายเข้าไปข้างในลูกอบแห้ง ทำให้ผิวลูกอบแห้งร้อนขึ้น แล้วกลั่นตัวเป็นคอนเดนเสท (condensate) คอนเดนเสทจะฟอร์มตัวเป็นฟิล์มอยู่ที่ผิวด้านในของลูกอบแห้ง ฟิล์มนี้ต้องไม่หนาจนเกินไปเพราะจะทำให้การถ่ายเทความร้อนระหว่างไอน้ำและผิวลูกอบแห้งไม่ดีซึ่งความร้อนนี้จะทำให้ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในแผ่นกระดาษเหมือนอยู่ประมาณ 2-8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

3. การปรับสภาพผิวกระดาษ

กระดาษต้องมีสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานนอกจากจะมีความสะอาด ขาวสว่าง ความทึบแสง ความแข็งแรงเชิงกลต่างๆ และมีสมบัติผิวที่ดี เช่น ความเรียบ การรับหมึก ความแข็งแรงของผิว ส่วนรีดผิวกระดาษ (Calendaring section) เป็นอุปกรณ์ที่อยู่ถัดจาก ส่วนอบแห้งชุดหลัง ประกอบด้วยลูกรีดทรงกระบอกซึ่งทำจากโลหะวางซ้อนกัน ผิวของลูกรีดจะแข็งและเรียบมาก กระดาษจะถูกดึงผ่านไประหว่างลูกรีด ทำให้กระดาษบางลง เรียบขึ้น และมีความหนาสม่ำเสมอมากขึ้น ลูกรีดเรียบลูกล่างสุดเรียกว่า king roll จะมีขนาดใหญ่และมี crown เพื่อให้ความดันสม่ำเสมอตลอดหน้ากว้างของกระดาษ ถ้าหากต้องการปรับปรุงผิวหน้ากระดาษ การขัดผิว ให้มีความมันวาวสูง โดยใช้เครื่องขัดมันที่มีชื่อเรียกว่า ซูเปอร์คาร์แลนเดอร์ (Supercalender) ประกอบด้วยลูกกลิ้งทรงกระบอกเรียงกัน กระดาษจะเคลื่อนที่วิ่งผ่านไประหว่างลูกกลิ้งโลหะไว้สนิมและลูกกลิ้งโลหะที่หุ้มด้วยผ้าฝ้ายหรือพลาสติก แรงกดอัดระหว่างลูกกลิ้งที่กระดาษได้รับมีผลทำให้เส้นใยเซลลูโลสอัดตัวกัน ได้มากขึ้นและทำให้มีผิวเรียบมากขึ้น เป็นผลทำให้ความมันวาวของกระดาษเพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งที่กระดาษได้รับการขัดผิวกระดาษที่ได้จึงมีความมันวาว

2.3 สมบัติของกระดาษ

สมบัติของกระดาษและกระดาษแข็งเกี่ยวข้องกับขั้นตอนการผลิตและการใช้งานสุดท้ายที่ต้องการ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม คือ สมบัติพื้นฐาน ทศนสมบัติ สมบัติด้าน ความแข็งแรงและสมบัติด้านความไวต่อน้ำ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ [35]

1. สมบัติพื้นฐาน (basic properties) ได้แก่ น้ำหนักมาตรฐาน (basis weight), ความหนา (thickness), ความหนาแน่น (density), ความชื้น (moisture content)

1.1 น้ำหนักมาตรฐาน (basis weight) หมายถึง ค่าน้ำหนักต่อพื้นที่ของกระดาษ นิยมรายงานผลเป็น กรัมต่อตารางเมตร (g/m²) ค่าน้ำหนักมาตรฐานนิยมใช้เป็นการซื้อขายกระดาษและเป็น ตัวที่จะบ่งบอกถึงสมบัติด้านอื่นๆ ได้ เช่น กระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐานมากจะมีความแข็งแรง ความหนาและความทึบแสงมากกว่ากระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐานน้อย

1.2 ความหนา (thickness) หมายถึง ระยะห่างที่ตั้งฉากระหว่างผิวด้านบนและผิวด้านล่างของ กระดาษ นิยมระบุหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm) หรือไมโครเมตร โดยทั่วไปเมื่อกระดาษมีน้ำหนักมาตรฐานเพิ่มขึ้น ความหนาของกระดาษมักจะเพิ่มขึ้นและทำให้กระดาษมีสมบัติด้านความแข็งแรงเพิ่มขึ้นด้วย

1.3 ความชื้น (moisture content) หมายถึง ปริมาณน้ำในแผ่นกระดาษ สามารถผันแปรได้ตามอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศขณะนั้น ดังนั้นก่อนการทดสอบกระดาษทุกชนิดจึงจำเป็นต้องทำการปรับสภาพ โดยนำตัวอย่างกระดาษเก็บในบรรยากาศควบคุมเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เช่น ประเทศไทยนั้นกำหนดให้มีการปรับสภาพที่อุณหภูมิ 27.0 ± 1.0 °C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65.0 ± 2.0 เป็นต้น (International Organization for Standardization, 1984)

2. ทิศนสมบัติ (optical properties) ได้แก่ ความสว่าง (brightness), ความทึบแสง (opacity)

3. สมบัติด้านความแข็งแรง (strength properties) ได้แก่ ความต้านทานแรงดึง (tensile strength), ความต้านทานแรงดันทะลุ (bursting strength), ความต้านทานแรงฉีกขาด (tear strength), ความต้านทานการพับ (fold strength)

3.1 ความต้านทานแรงดึง (tensile strength) เป็นความสามารถของกระดาษที่ต้านทานต่อแรงดึงที่มากระทำที่ปลายทั้งสองด้านของตัวอย่างที่มีขนาดตามมาตรฐานกำหนด วัดค่าออกมาเป็นแรงที่ใช้ดึงให้ตัวอย่างขาด โดยมีหน่วยเป็นนิวตันต่อเมตร (N/m) ปัจจัยที่มีผลต่อความต้านทานแรงดึงของกระดาษ ได้แก่ ชนิดเยื่อ ปริมาณการบดเยื่อ ปริมาณการกดรีดน้ำ น้ำหนักมาตรฐานกระดาษ ปริมาณของตัวเติม และปริมาณความชื้นในกระดาษ การเพิ่มความต้านทานแรงดึงสามารถทำได้โดยการเลือกใช้เยื่อใยยาวและการบดเยื่อ เพราะเป็นการทำให้เส้นใยเซลลูโลสเกิดพันธะระหว่างกันได้มากขึ้น

3.2 ความต้านทานแรงฉีก (tear strength) วัดได้จากค่าเฉลี่ยของแรงที่ใช้ในการทำให้กระดาษซึ่งถูกฉีกให้ขาดไว้แล้วขาดอย่างต่อเนื่อง มีหน่วยเป็นมิลลินิวตัน (mN) การบดเยื่อมากเกินไปจะทำให้เยื่อมีขนาดสั้นลง มีผลให้ความต้านทานแรงฉีกลดลงแม้ว่าเส้นใยจะมีการสร้างพันธะระหว่างกันได้มากก็ตาม

4. สมบัติด้านความไวต่อน้ำ (water sensitivity) ได้แก่

4.1 ความคงตัวต่อรูปร่าง (dimensional stability) หมายถึง ความสามารถของแผ่น กระจกฉาย ที่จะต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อมีการสัมผัสกับน้ำเนื่องจากเมื่อกระจกฉายสัมผัสกับน้ำ เส้นใย เซลลูโลสจะบวมและแยกออกจากกัน ทำให้ความหนาของกระจกฉายค่อยๆเพิ่มขึ้นและทำให้ขนาดของ กระจกฉายมีการเปลี่ยนแปลงไป การขยายของขนาดนี้จะเกิดขึ้นกับกระจกฉายในทิศทางเครื่องจักร (cross-machine direction, MD) มากกว่าในทิศตามเครื่องจักร (machine direction, CD)

4.2 การดูดซึม (absorption) นิยามวัดเป็นปริมาณของของเหลวที่ถูกดูดซึมทั้งหมดต่อพื้นที่ ภายในเวลาที่กำหนด [36] ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของกระจกฉายว่าจะมีการดูดซึมมากน้อยเพียงใด โดยทั่วไปแล้วจะใช้น้ำกลั่นเป็นของเหลวในการทดสอบ

2.3.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสมบัติกระจกฉาย

1. กระจกฉายได้จากการนำส่วนเส้นใยและไม่ใช้เส้นใยมาผสมกันในอัตราส่วนต่างๆ แล้วไปทำ เป็นแผ่นด้วยเครื่องจักรผลิตกระจกฉาย สมบัติกระจกฉายที่ได้จะขึ้นอยู่กับระดับคุณภาพและสมบัติทางเคมี ต่างๆขององค์ประกอบเหล่านั้น เช่น ความยาวเส้นใย ความหนาแน่นเส้นใย ขนาดและรูปร่างของวัสดุ ดัชนีความหักเหและสมบัติเคมีอื่นๆ

2. การบดเยื่อเป็นวิธีการปรับปรุงสมบัติของเยื่อให้เหมาะสมกับการเดินแผ่น และเพื่อให้ได้ สมบัติกระจกฉายตรงตามความต้องการใช้งาน การบดเยื่อมีอิทธิพลต่อสมบัติต่างๆของกระจกฉายดังนี้ ความต้านทานแรงฉีกขาดจะมีค่าลดลง ความขาวสว่างและความทึบแสงจะลดลงเรื่อยๆตามระดับการ บดที่เพิ่มมากขึ้น ส่วนความต้านทานแรงดันทะลุ ความต้านทานแรงดึงขาด ความยืดและความเรียบ ของผิวกระจกฉายจะมีค่าเพิ่มขึ้น และจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามระดับการบดเยื่อที่เพิ่มขึ้น

3. กระจกฉายเป็นวัสดุซึ่งมีสมบัติในการดูด-คายความชื้นได้ดี โดยปริมาณความชื้นในกระจกฉาย จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากในเส้นใยมีเฮมิเซลลูโลสซึ่งเป็น สารชอบน้ำสูง จะดูดซับน้ำไว้ทำให้เส้นใยเกิดการบวมพองและขยายตัว ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ด้านมิติของกระจกฉายขึ้น ได้แก่ การโก่งงอ และขอบเป็นคลื่น นอกจากนี้เมื่อเส้นใยพองตัวจะทำให้เกิด การอ่อนตัวตามแรงของเส้นใย ทำให้พันธะระหว่างเส้นใยอ่อนแอ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลง สมบัติทางเชิงกลของกระจกฉายตามมา [37]

1. อิทธิพลขององค์ประกอบต่อสมบัติกระจกฉาย

ผลิตภัณฑ์กระจกฉายมีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดผลิตขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์การใช้งาน ต่างๆ กัน เช่น กระจกฉายแข็ง กระจกฉายทึบซู่ กระจกฉายหนังสือพิมพ์ และกระจกฉายทำแผนที่ เป็นต้น กระจกฉายเหล่านี้ล้วนมีสมบัติพิเศษเฉพาะตัวแตกต่างกัน ซึ่งสมบัติพิเศษเฉพาะตัวเหล่านี้ขึ้นอยู่กับ สมบัติและคุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตกระจกฉาย กระจกฉายทำจากวัตถุดิบที่เป็นองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน คือ ส่วนเส้นใยและส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย ซึ่งแต่ละส่วนมีอิทธิพลต่อสมบัติกระจกฉายดังนี้

(ก) ส่วนเส้นใย หรือเรียกว่า เยื่อ ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการทำกระดาษมีหลายชนิด เช่น เยื่อเคมี และเยื่อกึ่งเคมี ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะเยื่อเคมีเท่านั้น เพราะเส้นใยที่ได้จากเยื่อชนิดนี้สามารถแยกเป็นเส้นเดี่ยวอิสระได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งสามารถทำให้เปรียบเทียบลักษณะของเส้นใยที่มีอิทธิพลต่อสมบัติกระดาษได้ชัดเจนกว่าเส้นใยที่ได้จากเยื่อชนิดอื่น ลักษณะเส้นใยที่มีผลต่อสมบัติกระดาษ คือ ความยาวเส้นใยและความหนาของผนังเส้นใย

- ความยาวเส้นใย (Fiber Length) ความยาวเส้นใยมีผลต่อสมบัติทั้งด้านเชิงกลและลักษณะโครงสร้างของกระดาษ กระดาษที่ทำจากเส้นใยยาวจะให้สมบัติเชิงกลสูงกว่า โดยเฉพาะความต้านทานแรงฉีกขาด นอกจากนี้กระดาษที่ได้จะมีลักษณะฟ้าม (Higher Bulk) และมีความพรุนสูงกว่ากระดาษทำจากเส้นใยสั้น

- ความหนาของกระดาษเส้นใย (Cell wall Thickness) ความหนาของผนังเส้นใยเป็นตัวบ่งชี้ว่าเส้นใยนั้นจะสามารถยุบแบนตัวจากลักษณะรูปร่างที่คล้ายหลอดคูดูปเป็นรูปร่างแบนคล้ายเส้นริบบิ้นได้ง่ายเพียงใด เส้นใยที่มีผนังบางจะยุบแบนตัวลงได้ง่ายทำให้มีพื้นที่ผิวของพันธะระหว่างเส้นใยมากกว่าเส้นใยที่มีผนังหนา ซึ่งสามารถเปรียบเทียบสมบัติของกระดาษที่ได้ดังนี้

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบสมบัติของกระดาษทั่วไป

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

ที่มา : วัสดุทางการพิมพ์หน่วยที่9-15 [38]

(ข) ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย

ในการทำกระดาษจะเติมส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยลงไปผสมกับส่วนเส้นใย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงสมบัติกระดาษ ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยประกอบด้วยสารหลายชนิดที่ทำหน้าที่แตกต่างกัน เช่น สารด้านการชึมน้ำ ตัวเติม สารเพิ่มความเหนียว สีย้อม เป็นต้น ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยที่มีอิทธิพลต่อสมบัติกระดาษดังนี้

- สารด้านการชึมน้ำ (Sizing Agent) โดยธรรมชาติเส้นใยเซลลูโลสสามารถดูดชึมน้ำได้ดี ในการทำกระดาษการเติมสารด้านการชึมน้ำลงไปเพื่อเพิ่มความต้านทานการชึมน้ำของกระดาษ เนื่องจากโมเลกุลของสารด้านการชึมน้ำมีพลังงานพื้นที่ผิวดำ เมื่อไปเกาะบนผิวเส้นใยจะทำให้เส้นใยตรงส่วนที่สารด้านการชึมน้ำเกาะอยู่มีพลังงานที่พื้นที่ผิวดำด้วย ซึ่งเป็นผลทำให้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำและเส้นใยลดลง ส่งผลให้น้ำไม่สามารถชึมทะลุผ่านเข้าไปในเนื้อกระดาษได้

สารด้านการซึมน้ำที่ใส่เข้าไปในเนื้อกระดาษชนิดต่างกัน เช่น กระดาษพิมพ์เขียนเติมสารด้านการซึมน้ำลงไปเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการแตกของเส้นใยหมึกที่ใช้เขียน

- ตัวเติม (Filler) ตัวเติมเป็นผงแร่สีขาว เติมลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติด้านความขาวสว่าง ความทึบแสง ความเรียบ เนื่องจากตัวเติมมีขนาดเล็กมาก เมื่อเติมลงไปจะไปอุดช่องว่างระหว่างเส้นใยทำให้พื้นผิวกระดาษเรียบขึ้นเหมาะแก่การพิมพ์ นอกจากนี้ยังช่วยลดต้นทุนในการผลิตกระดาษลง เพราะตัวเติมมีราคาถูกกว่าเส้นใยมาก แม้ตัวเติมจะช่วยปรับปรุงสมบัติด้านการพิมพ์และด้านทัศนศาสตร์ของกระดาษให้ดีขึ้น แต่ในขณะที่เดียวกันจะทำให้สมบัติด้านเชิงกลของกระดาษมีค่าลดลง และเพิ่มความคมของแผ่นกระดาษมากขึ้น ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มอัตราการสึกหรอของเครื่องจักร

- สารเพิ่มความเหนียว (Dry Strength Agent) ในการทำกระดาษ ใส่สารเพิ่มความเหนียวเพื่อเพิ่มสมบัติด้านเชิงกลของกระดาษให้สูงขึ้น สารเพิ่มความเหนียวนี้อาจเป็นสารที่ได้จากธรรมชาติหรือสังเคราะห์ ในการทำกระดาษจะใส่สารเพิ่มความเหนียวลงไปในส่วนของน้ำเยื่อ ดังนั้นสารเพิ่มความเหนียวจึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า บีทเทอร์แอ็ดฮีซีฟ (Beater Adhesive) สารเพิ่มความเหนียวได้แก่ แป้งประจวบก, กัม (Locust Beangum) และ โพลีอะคริลอไมด์ (Polyacrylamide) เป็นต้น สารเพิ่มความเหนียวเมื่อใส่ลงไปจะช่วยเพิ่มพันธะโดยจะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างเส้นใยให้ยึดติดกันดีขึ้น

2. อิทธิพลของความชื้นต่อสมบัติกระดาษ

สมบัติกระดาษจะแปรเปลี่ยนไปตามอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมที่เป็นอยู่ในขณะนั้น ซึ่งได้แก่ แสง อุณหภูมิ ความชื้นและสภาพแวดล้อมอื่น เช่น ฝุ่น สารเคมี เป็นต้น แต่สิ่งแวดล้อมที่เป็นสาเหตุสำคัญและมีอิทธิพลต่อสมบัติกระดาษมากที่สุด คือ ความชื้น เพราะสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากสาเหตุอื่นจะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงในทันทีทันใดแต่จะแสดงผลอย่างช้าๆ ต่อสมบัติกระดาษ โดยเป็นไปในลักษณะที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของกระดาษ หรือที่เรียกว่า ความคงทนของกระดาษ (Permanence of Paper) กระดาษมีสมบัติในการดูด-คายความชื้นได้ดี ความชื้นในที่นี้หมายถึง ความชื้นในรูปของไอน้ำซึ่งมีอยู่ในบรรยากาศขณะนั้น ที่เรียกว่า ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) การที่กระดาษมีปริมาณความชื้นไม่เท่ากันที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์เดียวกันเรียกว่า ฮิสเทเรซิส (Hysteresis) การที่ความชื้นของกระดาษแตกต่างกันจะทำให้ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพแตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อลดอิทธิพลของ Moisture Hysteresis ต้องผ่านการ พรีคอนดิชันนิง (Preconditioning) คือ นำตัวอย่างมาเก็บในสถานะที่ต่ำกว่าสถานะทดสอบตามมาตรฐานกำหนด อย่างไรก็ตามถ้ากระดาษได้รับความชื้นสูงมากจนเกิดการคลายตัวของความเค้น (Stress-Relaxation) ทำให้กระดาษสูญเสียความทรงรูปและความต้านแรงดึง ปริมาณความชื้นในกระดาษจะขึ้นกับความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมในขณะนั้น ถ้าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณความชื้นในกระดาษเพิ่มขึ้น และถ้าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าลดลงจะทำให้ปริมาณความชื้นในกระดาษลดลง เรียกว่าวัสดุซึ่งมีสมบัติการดูดคายความชื้นได้ดีว่า ไฮโกรสโคปิก (Hygroscopic Material) ปริมาณความชื้นในกระดาษที่เปลี่ยนแปลงมี

ผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของสมบัติกระดาษด้าน โครงสร้าง สมบัติเชิงกล และการเปลี่ยนแปลงมิติของกระดาษ หรือที่เรียกว่าเสถียรภาพของมิติกระดาษ (Dimensional Stability) กระดาษมีสมบัติในการดูดซับความชื้นได้ดีเนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมีภายในของเส้นใยเป็นเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสซึ่งเป็นสารที่ชอบน้ำมาก นอกจากนี้ตัวเส้นใยมีช่องว่างตรงกลางที่เรียกว่าลูเมน (Lumen) และช่องว่างระหว่างชั้นของผนังเส้นใย จึงทำให้เส้นใยสามารถปรับ โมเลกุลของน้ำไว้ได้มาก ผนังเส้นใยเมื่อดูดซับน้ำเข้าไปจะเกิดการพองตัว (Swell) ส่งผลให้เส้นใยขยายตัววมพองทางด้านข้างมากกว่าด้านยาวประมาณ 15-20 เท่า ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางมิติของกระดาษขึ้น ซึ่งสรุปได้จากสาเหตุ 2 ประการคือ แรงเค้นภายในของกระดาษลดลงอันเนื่องมาจากปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นในกระดาษและการพองตัวของเส้นใย เส้นใยเมื่อพองตัวจะทำให้เกิดการอ่อนตัวตามแรง (Flexible) ของเส้นใยมากขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้พันธะระหว่างเส้นใยต่อเส้นใยอ่อนแอลง ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเชิงกลของกระดาษตามมา การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในกระดาษทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงมิติต่างๆของกระดาษขึ้น เช่น การโค้งงอ (Curl) ผิวกระดาษเป็นคลื่น (Cockle) ขอบเป็นคลื่น (Wavy Edge) และแรงตึง (Tight Edge) อิทธิพลของความชื้นที่มีผลต่อสมบัติกระดาษทางโครงสร้างของกระดาษ ปริมาณความชื้นในกระดาษที่เปลี่ยนไปมีผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของน้ำหนักกระดาษ โดยน้ำหนักกระดาษจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักกระดาษจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเล็กน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษซึ่งมีส่วนผสมขององค์ประกอบภายในต่างกัน ตัวอย่างเช่น กระดาษที่ทำจากเยื่อเคมีหนักเท่ากับ 60 กรัม ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 ถ้าวัดความชื้นไปที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 30 น้ำหนักกระดาษจะลดลงประมาณร้อยละ 2 ของน้ำหนักกระดาษ คือลดลงประมาณ 1.2 กรัม เหลือน้ำหนักเท่ากับ 58.5 กรัม ถ้าเพิ่มความชื้นไปที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 น้ำหนักกระดาษจะเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 2.5 ของน้ำหนักกระดาษ คือเพิ่มขึ้นประมาณ 1.5 กรัม ซึ่งมีน้ำหนักกระดาษเท่ากับ 61.5 กรัม การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักกระดาษจากที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 30 ไปที่ระดับร้อยละ 70 จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักกระดาษมากถึง 2.7 กรัม แต่ถ้าเป็นกระดาษที่ทำจากเยื่อเชิงกลจะมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่านี้ [38]

2.4 มาตรฐานการทดสอบสมบัติกระดาษ

ในการวิเคราะห์ทดสอบเยื่อกระดาษ ต้องนำข้อมูลมาใช้ในกระบวนการควบคุมกระบวนการผลิตและคุณภาพผลิตภัณฑ์ เพราะจะช่วยให้ประหยัดในด้านการผลิต มีประสิทธิภาพและสามารถรักษาคุณภาพได้ตามเป้าหมาย

พรทิว ฝั่งรัศมี และ อรัญ หาญสืบสาย [37] กล่าวว่าไว้ว่าปัจจุบันมีมาตรฐานหลายประเภทได้ระบุวิธีการทดสอบสมบัติแต่ละชนิดของกระดาษไว้ดังนี้

1. มาตรฐานระดับชาติ (National Standard) เป็นมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับและ กำหนด ขึ้น โดยแต่ละประเทศโดยแต่ละประเทศไม่มีการบังคับครอบคลุมไปยังประเทศอื่นๆ เช่น

มาตรฐาน BS กำหนดโดยประเทศ อังกฤษ

มาตรฐาน DIN กำหนดโดยประเทศ เยอรมัน

มาตรฐาน JIS กำหนดโดยประเทศ ญี่ปุ่น

มาตรฐาน ASTM กำหนดโดยประเทศ อเมริกา

มาตรฐาน CPPA กำหนดโดยประเทศ แคนาดา

2. มาตรฐานระดับการค้า (Trade Standard) เป็นมาตรฐานที่กำหนดขึ้นโดยสถาบัน วิจัยซึ่งมีสมาชิกมาจากโรงงานหรือบริษัทที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมกระดาษและการพิมพ์ ส่วนใหญ่ประเทศสมาชิกมักจะอยู่ในแถบภาคพื้น ใกล้เคียงกันเช่น กลุ่มประเทศยุโรปตะวันตก ยุโรปตะวันออก สแกนดิเนเวีย หรืออเมริกาเหนือ เป็นต้น มาตรฐานระดับการค้าจะใช้รหัสตัว ย่อของสถาบันนั้นๆ เช่น TAPPI, APPTTA, SCAN เป็นต้น

3. มาตรฐานนานาชาติ (International Standard) เป็นมาตรฐานที่กำหนดโดยองค์กรที่ทำหน้าที่ประสานงานระหว่างประเทศ ให้ดำเนินงานและเข้าใจหลักการที่เหมือนกันข้อมูลและวิธีการขององค์กรซึ่งเป็นตัวแทนมาจากแต่ละประเทศทั่วโลกร่วมกันกำหนดวิธีมาตรฐานใหม่ตั้งเป็นกฎบัตรให้ประเทศสมาชิกลงไปปฏิบัติตามหรืออ้างอิง องค์กรนี้มีชื่อว่าInternational Standard Organization มีรหัสย่อว่า ISO วิธีการทดสอบกระดาษเทียบตามมาตรฐานมาตรฐานต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบวิธีทดสอบกระดาษตามมาตรฐานของระบบต่างๆ

คุณสมบัติ	ISO	SCAN	BS	ASTM	TAPPI	CPPA	APPITA
Bursting strength	2758	P24	3137	D774	T403	D8	P403
Tearing resistance	1974	P11	4468	D689,D1424, D1922	T414	D9	P400
Bending resistance	2493	P29	-	-	-	-	P431
Surface wettability	-	P18	-	D724	T458	-	P430
Initial wet strength	-	C35/M12C3 I/M11	-	-	T821	-	-
Compression	2872	-	-	D642	T804	-	-
Tensile strength	1924/2	P44	-	-	T494	-	-
Roughness	2494,5636/ 3 5636/4	P21	4420,6563	-	T538	D29	-
Water resistance	535	P12	2644	D2045	T441	F2	P411
Bursting strength	2758	P24	3137	D774	T403	D8	P403
Grammage	536	P6	3432	D646	T410	D3	P405
Thickness	534	P7	3938	D645	T411	D4	P428
Gloss	-	-	-	-	T480	-	-
Brightness/colour	2469,2470 2471	P3	4432	-	-	-	-
Brightness	-	-	-	-	T452	-	-
Opacity	-	-	-	-	T425	-	-

ที่มา : พรทวีและอรัญญ [37]

2.5 สมบัติด้านการต้านทานของกระดาษ

สมบัติกระดาษด้านการกีดกันและด้านการต้านทาน (The Barrier and Resistance Properties) มีความหมายของสมบัติทั้งสอง ดังนี้ [12]

สมบัติด้านการกีดกัน (Barrier Properties) หมายถึง ความสามารถของกระดาษในการป้องกันการซึมทะลุผ่านของสารใดๆ เข้าไปในเนื้อกระดาษ

สมบัติด้านการต้านทาน (Resistance Properties) หมายถึง ความสามารถของกระดาษในการต้านทานการซึมทะลุผ่านของสารใดๆ เข้าไปในเนื้อกระดาษ

การทำให้กระดาษกันซึม หมายถึง กระบวนการที่มีการนำสารเคมีมาใช้ทำหน้าที่เป็นสารเติมแต่งแล้ว ทำให้กระดาษหรือกระดาษแข็งมีความต้านทานต่อการเปียกน้ำและต้านทานต่อการแทรกซึมของของเหลวได้ [39]

(Andersson and Järnström, n.d.) [40] ได้กล่าวถึงการเคลือบสารกันซึมว่าเป็นการเติมสารกันซึมภายใน (internal sizing) โดยการเติมสารกันซึมลงในน้ำเยื่อในช่วงของการผลิตกระดาษ (wet end) ก่อนขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษ สารกันซึมจะทำปฏิกิริยากับเส้นใยแล้วทำให้โครงสร้างกระดาษต้านทานการซึมน้ำได้ ภาชนะบรรจุที่ทำจากกระดาษส่วนมากจะมีการเติมสารกันซึมภายในเพื่อลดระดับการดูดซึมน้ำให้กระดาษ สารที่นิยมใช้เป็นสารกันซึมภายใน ได้แก่ ชันสน สารสังเคราะห์ Alkyl ketene dimer (AKD) และ Alkenyl succinic anhydride (ASA) เป็นต้น แต่การใช้ชันสนเป็นสารกันซึมภายในนั้นต้องการสารส้ม เป็นตัวช่วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเป็นสารต้านการซึมน้ำ ซึ่งสารส้มเป็นสาเหตุให้กระดาษมีสภาพเป็นกรดเมื่อสัมผัสกับน้ำ [41] ส่วนสารสังเคราะห์ยังมีข้อจำกัดด้านการใช้งานเนื่องจากมีราคาแพง นอกจากนี้การเติมสารกันซึมภายในมากเกินไปจะทำให้ความแข็งแรงของพันธะระหว่างเส้นใยลดลง วิธีการที่จะทำให้กระดาษมีการดูดซึมน้ำต่ำกว่า 10 กรัมต่อตารางเมตรสามารถทำได้โดยการเติมสารกันซึมภายในร่วมกับการฉาบด้วยสารกันซึมเท่านั้น

ณรงค์ วุฑฒเสถียร[25] ได้กล่าวถึง การกันซึม คือ ความต้านทานของกระดาษต่อการซึมเข้าไปในเนื้อกระดาษ (Penetration) ของของเหลว ของเหลวที่พบมากที่สุดได้แก่ น้ำและหมึกเขียน คำว่าการกันซึมหรือไฮสส์ซึ่ง หมายถึงคุณสมบัติการกันซึมของกระดาษหรือวิธีการที่จะทำให้กระดาษมีความต้านทานต่อการซึมของน้ำ การกันซึมน้ำไม่ได้หมายถึงน้ำไม่เปียกกระดาษ (Water Repellency) แต่หมายถึงการทำให้ไม่เปียกกระดาษซ้าลง ถ้าจะทำให้กระดาษไม่เปียกน้ำเลยต้องใช้วิธีการอย่างอื่น เช่น การเคลือบพลาสติก (Laminating) หรือการชุบไข (Waxed)

กระดาษหลายชนิดที่ใช้เพื่อการสื่อสารและการบรรจุภัณฑ์ ต้องมีสมบัติด้านการต้านทาน เช่น กระดาษออฟเซต กระดาษทำถุง ต้องมีความต้านทานการดูดซึมน้ำสูง และกระดาษกันไขมัน (Greaseproof Paper) ต้องมีความต้านทานการดูดซึมไขมันสูง สำหรับกระดาษเพื่อบรรจุภัณฑ์ต้องมีสมบัติด้านการกีดกันสูงต่อของเหลว ไอน้ำ อากาศ ไขมันและออกซิเจนเพื่อปกป้องสินค้าที่บรรจุอยู่ภายในกระดาษจะมีการดูดซึมสารเมื่อสารซึมทะลุ ผ่านเข้าไปในเนื้อกระดาษซึ่งภายในประกอบด้วยรูพรุน และรูปิด (Void) จำนวนมาก ซึ่งรูเหล่านี้มีผลต่ออัตราการไหลผ่านของกระดาษของสารซึมทะลุ

1. กลไกของการไหลผ่าน

สัมพัทธกิริยาระหว่างกระดาษและสารซึมทะลุ (Penetration Substance) ซึ่งอาจเป็นของเหลวหรือแก๊สจะมีผลต่อการไหลผ่านกระดาษ เช่น ถ้าสารซึมทะลุเป็นอากาศหรือแก๊ส อากาศจะไหลผ่านกระดาษได้ง่ายหรือไม่จะขึ้นอยู่กับขนาดของรูภายในเนื้อกระดาษ อากาศซึ่งจะมีการไหลผ่านกระดาษได้ดีกว่าอากาศแห้งเพราะกระดาษจะดูดซับความชื้นไว้ ทำให้เส้นใยบวมพอง ส่งผลให้กระดาษขยายตัวซึ่งเป็นการเพิ่มขนาดของรูภายในเนื้อกระดาษ แต่ถ้าสารซึมทะลุเป็นของเหลวการไหลผ่านจะขึ้นอยู่กับขนาดของรู มุมสัมผัส (Contact Angle) ที่ของเหลวทำบนผิวกระดาษ และเวลาที่ของเหลวทำให้กระดาษเปียก

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการไหลผ่านของของเหลวเข้าไปในกระดาษ ได้แก่

1. รูปร่างและขนาดของรู (Pore Structure and Size)
2. มุมสัมผัสระหว่างของเหลวและผิวกระดาษ (Contact Angle)
3. ระยะเวลาที่ทำให้เปียก (Wetting Time)
4. การบวมพองของเส้นใย (Fiber Swelling)
5. การแพร่กระจาย (Diffusion)

1.) รูปร่างและขนาดของรู (Pore Structure and Size)

รูภายในเนื้อกระดาษมีหลายแบบ มีทั้งรูเปิดหน้าเดียว รูเปิดสองหน้า และรูปิด(Void) ซึ่งแต่ละแบบจะมีผลต่อการไหลผ่านของของเหลวต่างกัน

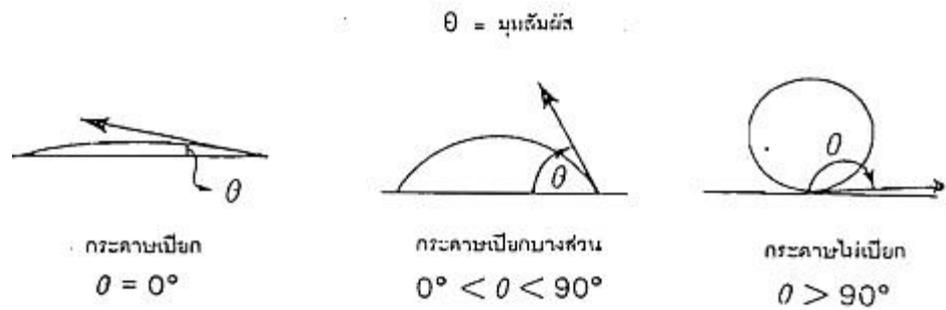
รูเปิดหน้าเดียว (Pore) เป็นรูที่มีลักษณะเปิดสู่ผิวกระดาษภายนอกได้ด้านเดียว รูแบบนี้ไม่ช่วยในการไหลผ่านของเหลว

รูปิด (Voids) มีจำนวนมากมาอยู่ในเนื้อกระดาษ เป็นช่องว่างอากาศที่มีอยู่ภายในเส้นใยและระหว่างเส้นใย รูแบบนี้ไม่มีทางเปิดสู่ผิวนอกของกระดาษและไม่ช่วยในการไหลผ่านของเหลว

รูเปิดสองหน้าหรือที่เรียกว่ารูพรุน เป็นรูที่เปิดสู่ผิวหน้ากระดาษได้ทั้งสองด้านและมีทางเชื่อมต่อกันภายในเนื้อกระดาษ รูแบบนี้จะช่วยทำให้ของเหลวไหลผ่านได้ดี

2.) มุมสัมผัสระหว่างผิวของเหลวและผิวกระดาษ (Contact Angle)

มุมสัมผัส (Contact Angle) หมายถึง มุมที่เกิดจากผิวของของเหลวสัมผัสกับผิวกระดาษ ณ จุดตัด 2 จุดที่มุมใดมุมหนึ่ง ขนาดมุมที่สัมผัสจะขึ้นกับชนิดของของเหลว ความหยาบของผิวกระดาษ ส่วนประกอบของผิวกระดาษ ระยะเวลาที่ทำให้เปียก (Wetting Time) และสมบัติทางเคมีของของเหลว ค่ามุมสัมผัสที่ได้จะมีความสัมพันธ์กับการทำให้เปียก มุมสัมผัสที่มีค่า = 0 องศา จะให้ค่าการทำให้เปียกสูงที่สุดนั่นคือ ทันทึที่ของเหลวสัมผัสผิวของกระดาษของเหลวจะถูกดูดซึมเข้าไปภายในผิวของกระดาษอย่างรวดเร็ว ถ้ามุมสัมผัสที่ได้เข้าใกล้ 180 องศา ของเหลวจะไม่ทำให้ผิวของกระดาษเปียก ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 รูปแสดงมุมสัมผัสระหว่างผิวของเหลวและผิวกระดาด [12]

ที่มา : ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับกระดาด.กรมวิทยาศาสตร์บริการ

3.) เวลาที่ทำให้เปียก (Wetting Time)

เวลาที่ทำให้เปียก หมายถึง ระยะเวลาที่ใช้ในการทำให้กระดาดเปียก เวลา ที่ทำให้เปียกของของเหลวแต่ละชนิดไม่เท่ากัน จะขึ้นกับสมบัติการไหลของของเหลว นั้น ระยะเวลาที่ทำให้เปียกจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.005-0.3 วินาที ซึ่งเป็นค่าที่วัดได้จากกระดาดหลายๆประเภทของของเหลวชนิดต่างๆ

4.) การบวมพองของเส้นใย (Fiber Swelling)

การบวมพองของเส้นใยจะเกิดขึ้นเมื่อของเหลวที่ซึมทะลุผ่านเป็นน้ำ เส้นใยจะดูดซับน้ำไว้และเกิดการบวมพองของเส้นใย ทำให้กระดาดมีการขยายตัว แต่เนื่องจากกระดาดมีทิศทางการเรียงตัวของเส้นใยและลักษณะองค์ประกอบทางโครงสร้างภายในของเส้นใย ทำให้กระดาดมีการขยายตัวในแต่ละทิศทางไม่เท่ากัน โดยมีอัตราส่วนของการขยายตัวแต่ละทิศทาง ดังนี้

แนวขนานเครื่อง : แนวขวางเครื่อง : ทางด้านตัดขวางของกระดาด (Z-direction) = 1 : 2 : 50

การที่กระดาดขยายตัวในแต่ละทิศทางไม่เท่ากัน เมื่อดูดซับน้ำทำให้เกิดการบิดเบี้ยวของรูปร่างภายในเนื้อกระดาด เมื่อกระดาดมีความหนาเพิ่มขึ้นทำให้ระยะเวลาของการซึมทะลุผ่านของน้ำไปยังอีกด้านหนึ่งของกระดาดเพิ่มขึ้นด้วย

5.) การแพร่กระจาย (Diffusion)

กระดาดที่ผ่านการเคลือบผิว ฉาบผิวด้วยแผ่นฟิล์มบางๆ หรือผ่านการอบน้ำยาทำให้ไม่มีรูพรุนในกระดาด ดังนั้นของเหลว แก๊ส หรือ ไอ น้ำ จะใช้วิธีการที่เรียกว่า แพร่กระจาย ในการซึมทะลุผ่านเข้าไปภายในเนื้อกระดาด โดยโมเลกุลของของเหลวจะละลายที่ผิวหน้าด้านหนึ่งของชั้นฟิล์มที่ทำหน้าที่กีดกันแล้วแพร่กระจายผ่านชั้นฟิล์มและระเหยออกมาที่ผิวอีกด้านหนึ่งของชั้นฟิล์ม

2. การทำให้กระดาดมีสมบัติด้านการต้านทาน

สามารถทำได้ 2 ลักษณะ ขึ้นอยู่กับความต้องการให้กระดาดต้านทานของเหลวชนิดใด เช่น น้ำมัน ไขมัน และความชื้น สามารถทำได้ดังนี้

1.) การทำให้กระดาษมีสมบัติด้านการต้านทานการซึมทะลุของน้ำมันและไขมัน สามารถทำได้โดยการทำให้กระดาษมีเนื้อแน่น มีรูพรุนและรูปปิดภายในเนื้อกระดาษน้อย ทำได้ 2 วิธี คือ

1.1) วิธีทางเชิงกลโดยการบดเยื่ออย่างหนักจนเส้นใยแตกแขนงและเกิดเส้นในฝอยมากมาย ซึ่งมีผลทำให้เพิ่มความแข็งแรงของพันธะระหว่างเส้นใย เมื่อนำเยื่อไปทำกระดาษจะได้กระดาษเนื้อแน่นและบางใส สามารถต้านทานการซึมทะลุผ่านของน้ำมันและไขมันได้ กระดาษชนิดนี้ได้แก่ กระดาษกลาสซิ่ง (Glassine Paper) และกระดาษกริซบรู๊ฟ (Greaseproof Paper)

1.2) วิธีทางเคมีหรือที่เรียกว่าการทำพาร์ชเม้นไทซ์เซชัน (Parchmenization) โดยการนำกระดาษไปผ่านสารละลายซัลฟูริกเข้มข้นประมาณร้อยละ 72 แล้วรีบล้างออกด้วยน้ำแล้วทำให้เป็นกลางโดยรีว กรดซัลฟูริกจะละลายเซลลูโลสบนผิวกระดาษทำให้เซลลูโลสหลอมละลายติดกัน เมื่อแห้งจะได้กระดาษที่มีเนื้อแน่นและแสงผ่านได้ดี เช่น กระดาษเว็จเจ็ทเทเบิลพาร์ชเม้นท์ (Vegetable Parchment Paper) กระดาษที่ไม่มีรูพรุน รูปปิด และเนื้อแน่นสามารถต้านทานการไหลผ่านของเหลวได้ดีและยังทำให้อากาศไหลผ่านได้ยาก

นอกจากนี้การทำให้กระดาษมีสมบัติด้านการต้านทานไขมันอาจทำได้โดยการใช้แผ่นฟิล์มบางๆ ของสารสังเคราะห์ปิดทับรูพรุนของกระดาษ เช่น การใช้สารฟลูออโรคาร์บอน (Fluorocarbon) เดิมเป็นส่วนผสมของกระดาษ

2.) การทำให้กระดาษมีสมบัติด้านการต้านทานการดูดซึมน้ำ สามารถทำได้โดยใช้กระบวนการที่เรียกว่า ไชซ์ซิ่ง (Sizing Process) โดยการเติมสารต้านทานการซึมน้ำ ลงในส่วนผสมของกระดาษ ทำได้ 2 วิธี คือ

2.1) อินเทอร์นอล ไชซ์ซิ่ง (Internal Sizing) วิธีนี้เป็นการเติมสารต้านทานการซึมน้ำลงไปในส่วนผสมของกระดาษก่อนที่กระดาษจะเดินเป็นแผ่น สารต้านทานการซึมน้ำที่ใช้ได้แก่ อลูม/โรซิน (Alum/Rosin), อัลคีนิล ซัคซินิก แอนไฮไดรด์ (Alkenyl Succinic Anhydride, ASA), แอลคิลคีทีนไดเมอร์ (Alkyl ketene dimer), แวกซ์ (Wax), ยางมะตอย และแอสฟัลท์ (Asphalt)

2.2) เอกซ์เทอนอล ไชซ์ซิ่ง (External Sizing) หรือที่เรียกว่าการฉาบผิวกระดาษ (Surface Sizing) เป็นการใส่สารต้านทานการซึมน้ำลงไปหลังจากที่กระดาษเดินเป็นแผ่นแห้งแล้ว สารต้านทานการซึมน้ำที่ใช้ได้แก่ แป้ง, กัม และพีวีเอ (Polyvinyl alcohol, PVA)

การฉาบผิวจะช่วยปรับปรุงด้านการต้านทานการดูดซึมน้ำและการดัดลอนผิวของกระดาษ การใส่สารต้านทานการซึมน้ำแม้ว่าจะใส่ในระดับมากจนถึงขั้นที่เรียกว่า ฮาร์ดไซส์ (Hardsized) แล้วก็ตามจะไม่สามารถป้องกันการซึมของน้ำเข้าไปภายในเนื้อกระดาษได้

3.) การทำให้กระดาษมีสมบัติด้านการกีดกัน

เป็นการทำให้กระดาษมีสมบัติในการป้องกันการไหลผ่านของก๊าซ น้ำ ไขมัน น้ำมัน และสารเคมีอื่นๆ ซึ่งนับว่าเป็นสมบัติที่สำคัญมากของกระดาษบรรจุภัณฑ์ สามารถทำได้โดยการเคลือบผิวกระดาษ (Coating) การฉาบชั้นฟิล์มบางๆ (Lamination) และการอบน้ำยา (Impregnation) ด้วยการกีดกันแม้ว่าการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ที่นำมาปิดทับกระดาษโดยใช้สารยึดติดอาจใช้ได้ดี แต่ในปัจจุบันสารกีดกันที่นิยมมักเป็น แร็กซ์ PE และ PVC ซึ่งจะใช้สารเหล่านี้เคลือบบนผิวกระดาษ สารเคลือบจะก่อตัวเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ เมื่อแห้งตัวกระดาษที่ผ่านการทำด้วยวิธีนี้จะมีสมบัติในการป้องกันการซึมทะลุผ่านของน้ำ อากาศ ไขมันและอื่นๆสูง เหมาะสำหรับทำกระดาษบรรจุภัณฑ์ [12]

2.5.1 การทดสอบสมบัติด้านการต้านทานการดูดซึมน้ำ

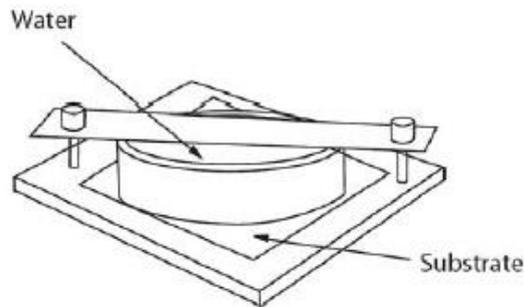
รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์ [12] ได้กล่าวไว้ว่าการทดสอบคุณสมบัติด้านการดูดซึมน้ำ มีวิธีวัดค่าที่ทดสอบ 2 แบบ คือการทดสอบที่วัดปริมาณของน้ำที่ถูกกระดาษดูดซับไว้ภายใต้ระยะเวลาที่กำหนด และการทดสอบที่วัดระยะเวลาที่น้ำซึมทะลุผ่านภายใต้ระยะเวลาที่กำหนด

Keavney and Kulick [42] กล่าวถึงการทำให้กระดาษมีความสามารถในการต้านทานน้ำหรือของเหลวสามารถนิยามในเชิงคุณภาพได้ว่า มีระดับความต้านทานต่ำ กลางหรือสูง แต่จะนิยามให้เข้าใจในเชิงปริมาณนั้นทำได้ยาก ผู้ผลิตและผู้ใช้กระดาษอาจต้องการระดับการซึมน้ำขนาดต่ำ เช่น ช่วยป้องกันการซึมของสารละลายในบริเวณชุดลูกกลิ้งเป็นระยะเวลาหนึ่ง หรือต้องการในระดับสูง เช่น ต้องการให้ป้องกันการซึมของน้ำได้เป็นวันหรือสัปดาห์ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีวิธีการที่ทำให้เข้าใจถึงระดับความต้านทานของเหลวที่สามารถระบุเป็นตัวเลขได้ นอกจากจะทำให้สื่อสารกันเป็นที่เข้าใจแล้ว ยังเป็นการช่วยให้สามารถควบคุมปริมาณการใช้สารเคมีได้ดีขึ้น และทราบถึงความสามารถของสารเคมีชนิดต่างๆต่อการเป็นสารกันซึมได้ด้วย ในการทดสอบหาระดับความต้านทานการซึมน้ำของกระดาษที่นิยมมากที่สุดคือ

การทดสอบความต้านทานการดูดซึมน้ำแบบคอบบ์เทสต์ (Cobb test)

เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดในการทดสอบระดับความต้านทานน้ำของกระดาษ ประกอบไปด้วยฐานที่ทำจากโลหะและวงแหวนโลหะ ก่อนการทดสอบจะชั่งน้ำหนักกระดาษตัวอย่างไว้ โดยตัวอย่างจะมีขนาดใหญ่กว่าวงแหวนเล็กน้อย นำตัวอย่างวางบนฐานโลหะทับด้วยวงแหวนโลหะ จากนั้นเทของเหลว (ทั่วไปคือน้ำกลั่น) ลงในบริเวณวงแหวน ทิ้งไว้เป็นเวลาหนึ่งแล้วเทน้ำกลั่นออกจากวงแหวน ชับของเหลวส่วนเกินออกจากตัวอย่างแล้วนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง รายงานผลเป็นน้ำหนักของของเหลวที่ถูกกระดาษตัวอย่างดูดซับไว้ต่อพื้นที่กระดาษ (กรัมต่อตารางเมตร) สำหรับมาตรฐาน

ASTM D 3285-93 ได้กำหนดขนาดพื้นที่วงแหวนไว้ 100 ตารางเซนติเมตร น้ำกลั่นที่ใช้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร เวลาที่ใช้ทดสอบคือ 120 วินาที หรืออาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับระดับความต้านทานน้ำของกระดาษ (ASTM International, 2004f) [36]

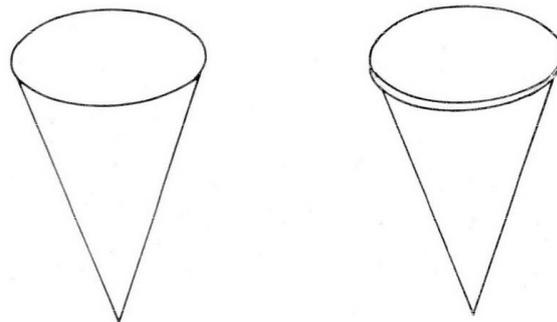


รูปที่ 2.4 ชุดทดสอบ Cobb test

ที่มา: (ASTM International, 2004f) [36]

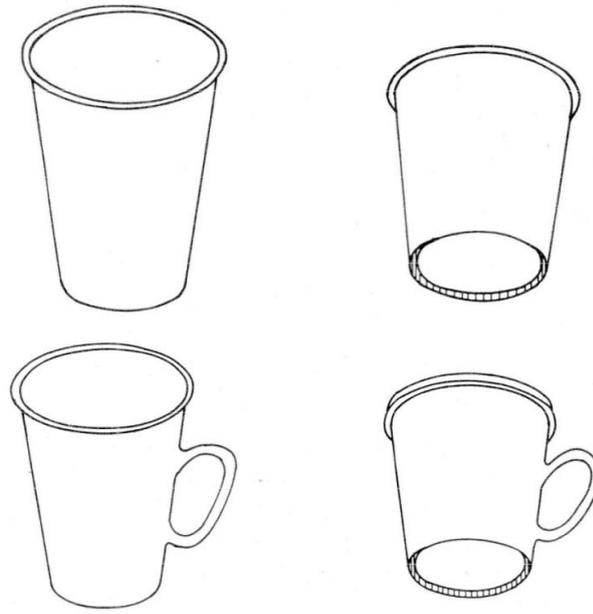
2.6 มาตรฐานถ้วยกระดาษสำหรับเครื่องดื่ม

คำนิยามของถ้วยกระดาษสำหรับเครื่องดื่ม (Beverage paper cups) หมายถึงภาชนะรูปกรวยหรือกรวยตัด ทำด้วยกระดาษการ์ด ใช้ใส่เครื่องดื่มเย็น (อุณหภูมิไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส) หรือเครื่องดื่มร้อน อาจมีฝาปิดหรือมีหูถือติดอยู่ข้างถ้วยหรือไม่ก็ได้ ดังตัวอย่างในภาพที่ 3 และภาพที่ 4 สำหรับกระดาษการ์ดที่ใช้ทำถ้วยกระดาษหมายถึง กระดาษการ์ดไอวอรี (Ivory card) ทำจากเยื่อใหม่ฟอกขาว (Virgin bleached pulp) ที่ไม่มีสีและสารฟอกขาว [3]



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างถ้วยกระดาษแบบกรวย

ที่มา: มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1141-2536 [3]



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างถ้วยกระดาษแบบกรวยตัด

ที่มา: มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1141-2536 [3]

ซึ่งถ้วยกระดาษแบบกรวยตัดชนิดใส่เครื่องดื่มเย็น แบ่งออกเป็น 2 ชั้นคุณภาพ คือ ชั้นคุณภาพที่ 1 ทำด้วยกระดาษการ์ดเคลือบโพลีเอทิลีนความหนาแน่นเหมาะสมที่จะใช้กับอาหาร โดยเคลือบสองด้าน ส่วนชั้นคุณภาพที่ 2 ทำด้วยกระดาษการ์ดเป็นรูปถ้วยแล้วชุบไซพาราฟินหรือ ไซพาราฟินผสมกับไซไมโครคริสทาลไลน์ และชนิดใส่เครื่องดื่มร้อนจะทำด้วยกระดาษการ์ดเคลือบโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene) ที่ใช้กับอาหาร โดยเคลือบด้านเดียวหรือสองด้านและมีหูติดอยู่ข้างถ้วย

ตารางที่ 2.5 ชื่อขนาด และความจุของถ้วยกระดาษ

ชื่อขนาด	ความจุที่ต้องการต่ำสุด (ลบ.ซม.)
1	22
2	51
2 ½	66
3	81
4	111
5	140
6	170
7	199
8	229
9	259
10	288
11	318
12	347
13	377
14	407
15	436
16	466
17	495
18	525
20	584
24	703
31	910
32	939

ที่มา: มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1141-2536 [3]

หมายเหตุ: ชื่อขนาดมาจากความจุเป็นออนซ์

1. คุณลักษณะของถ้วยกระดาษ

1. ลักษณะทั่วไป

- 1.1 ต้องสะอาด ปราศจากตำหนิใดๆ เช่น ฝักขาค แดงหรือเป็นรู
- 1.2 ผิวและของต้องเรียบ
- 1.3 ตะเข็บข้างและตะเข็บก้นต้องเรียบและแน่น
- 1.4 กรณีที่ปากถ้วยมีวนเป็นขอบ ขอบที่มีวนต้องเรียบและแน่น
- 1.5 กรณีที่มีการพิมพ์ข้างถ้วยสีของหมึกพิมพ์ต้องไม่เลอะเลือนหรือหลุดออก
- 1.6 กรณีที่มีฝา ฝาต้องเปิดและปิดได้สะดวก และปิดได้สนิท
(การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ)

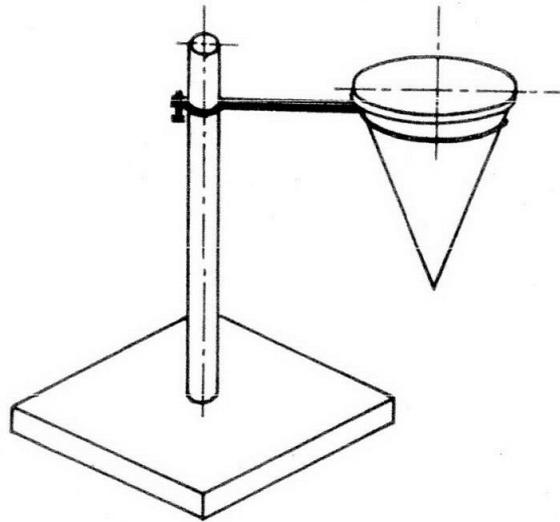
2. น้ำหนักมาตรฐาน น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษการ์ดที่ใช้ทำถ้วยกระดาษแบบกรวย เท่ากับ 100 ถึง 120 กรัมต่อตารางเมตร ความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าน้ำหนักมาตรฐานที่ระบุไว้ไม่เกินร้อยละ 3 ในการทดสอบให้ปฏิบัติตาม ISO 536 โดยใช้ชิ้นทดสอบ 10 ชุด แต่ละชุดให้มีพื้นที่ทดสอบรวมกันทั้งหมดไม่น้อยกว่า 500 ตารางเซนติเมตร

3. การรั่วซึม เมื่อทดสอบแล้วถ้วยกระดาษต้องไม่รั่วซึม

2. การทดสอบถ้วยกระดาษแบบกรวย

การทดสอบความจุที่ต้องการ โดยวัดปริมาตรน้ำที่ใส่เต็มถึงขอบปากถ้วยกระดาษตัวอย่าง และรายงานผลของถ้วยกระดาษตัวอย่างแต่ละใบให้ละเอียดถึง 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

การทดสอบการรั่วซึม โดยใช้กระดาษพิมพ์หรือกระดาษเขียนสีขาว หุ้มรอบถ้วยกระดาษตัวอย่าง แล้ววางให้ค้างอยู่บนหัวรองรับ (ดังรูปที่ 2.7) ใส่น้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิประมาณ 27 องศาเซลเซียส ลงไปให้เต็มถึงขอบปากถ้วย ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 นาที แล้วตรวจพิจารณาว่าถ้วยกระดาษตัวอย่างรั่วซึมหรือไม่ [3]



รูปที่ 2.7 การทดสอบการรั่วซึมของถ้วยกระดาษแบบกรวย
ที่มา: มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1141-2536 [3]

2.7 การออกแบบ

2.7.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกำหนดองค์ประกอบของงานออกแบบผลิตภัณฑ์

การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีปัจจัย (Design factors) ที่นักออกแบบต้องคำนึงถึง นิยมใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาสร้างสรรค์ผลงานเชิงอุตสาหกรรม ซึ่งปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ และเป็นตัวกำหนดองค์ประกอบของงานออกแบบผลิตภัณฑ์ที่สำคัญ ได้แก่

1. หน้าที่ใช้สอย (Function)

ผลิตภัณฑ์ทุกชนิดจะต้องมีหน้าที่ใช้สอยถูกต้องตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ ก็จะสามารถตอบสนองประโยชน์ใช้สอยตามที่ผู้บริโภคต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในหนึ่งผลิตภัณฑ์นั้นอาจมีหน้าที่ใช้สอยอย่างเดียวหรือหลายหน้าที่ก็ได้ แต่หน้าที่ใช้สอยจะดีหรือไม่นั้นต้องใช้งานไประยะหนึ่งถึงจะทราบข้อบกพร่อง

2. ความสวยงามน่าใช้ (Aesthetics or sales appeal)

ผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบมานั้นจะต้องมีรูปร่าง ขนาด สี สันสวยงาม น่าใช้ ตรงตามรสนิยมของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมาย เป็นวิธีการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมและได้ผลดี เพราะความสวยงามเป็นความพึงพอใจแรกที่เราสัมผัสได้ก่อนมักเกิดมาจากรูปร่างและสีเป็นหลัก การกำหนดรูปร่างและสีในงานออกแบบผลิตภัณฑ์นั้น ไม่เหมือนกับการกำหนดรูปร่างและสีในงานจิตรกรรม ซึ่งสามารถที่จะแสดงหรือกำหนดรูปร่างและสีได้ตามความนึกคิดของจิตรกร แต่ในงานออกแบบผลิตภัณฑ์นั้น จำเป็นต้องยึดข้อมูลและกฎเกณฑ์ผสมผสานของรูปร่างและสี สัน ระหว่างทฤษฎีทางศิลปะและความพึงพอใจของผู้บริโภคเข้าด้วยกัน ถึงแม้ว่ามนุษย์แต่ละคนมีการรับรู้และพึง

พอใจในเรื่องของความงามได้ไม่เท่ากัน และไม่มีกฎเกณฑ์การตัดสินใจใดๆ ที่เป็นตัวชี้ขาดความถูกต้อง ความผิด แต่คนเราส่วนใหญ่ก็มีแนวโน้มที่จะมองเห็นความงามไปในทิศทางเดียวกันตามธรรมชาติ

3. ความสะดวกสบายในการใช้ (Ergonomics)

การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ดีนั้น ต้องเข้าใจกายวิภาคเชิงกลเกี่ยวกับขนาดสัดส่วน ความสามารถและขีดจำกัดที่เหมาะสมสำหรับอวัยวะต่างๆ ของผู้ใช้ การเกิดความรู้สึกที่ดีและสะดวกสบายในการใช้ผลิตภัณฑ์ ทั้งทางด้านจิตวิทยา(Psychology)และสรีระวิทยา(Physiology) ซึ่งแตกต่างกันไปตามลักษณะเพศ เผ่าพันธุ์ ภูมิสำเนา และสังคมแวดล้อมที่ใช้ผลิตภัณฑ์นั้นเป็นข้อบังคับในการออกแบบ การวัดคุณภาพทางด้าน กายวิภาคเชิงกล(ergonomics) พิจารณาได้จากการใช้งานได้อย่างกลมกลืนต่อการสัมผัส ออกแบบปุ่มบังคับ ด้ามจับของเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ผู้ใช้ต้องใช้ร่างกายไปสัมผัสเป็นเวลานาน จะต้องกำหนดขนาด (dimensions) ส่วนโค้ง ส่วนเว้า ส่วนตรง ส่วนแคบของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้อย่างพอดเหมาะกะร่างกายหรืออวัยวะของผู้ใช้ผลิตภัณฑ์นั้นๆ เพื่อทำให้เกิดความถนัดและความสะดวกสบายในการใช้รวมทั้งลดอาการเมื่อยล้าเมื่อใช้ไปนานๆ

4. ความปลอดภัย (Safety)

ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกในการดำรงชีพของมนุษย์มีทั้งประโยชน์และโทษในตัว การออกแบบจึงต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของชีวิตและทรัพย์สินของผู้บริโภคเป็นสำคัญ ไม่เลือกใช้วัสดุ สี กรรมวิธีการผลิตฯลฯ ที่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้หรือทำลายสิ่งแวดล้อม ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ต้องแสดงเครื่องหมายเตือนไว้ให้ชัดเจนและมีคำอธิบายการใช้แนบมากับผลิตภัณฑ์ด้วย ตัวอย่างเช่น การออกแบบผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าควรมีส่วนป้องกันอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นได้จากความเมื่อยล้าหรือพลั้งเผลอ เช่น จากการสัมผัสกับส่วนกลไกทำงาน จากความร้อน จากไฟฟ้าดูด ฯลฯ หลีกเลี่ยงการใช้วัสดุที่ง่ายต่อการเกิดอัคคีภัยหรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพ และควรมีสัญลักษณ์หรือคำอธิบายติดเตือนบนผลิตภัณฑ์ไว้ การออกแบบผลิตภัณฑ์สำหรับเด็ก ต้องเลือกใช้วัสดุที่ไม่มีสารพิษเจือปน เพื่อป้องกันเวลาเด็กเอาเข้าปากกัดหรืออม ชิ้นส่วนต้องไม่มีส่วนแหลมคมให้เกิดการบาดเจ็บ มีข้อความหรือสัญลักษณ์บอกเตือน เป็นต้น

5. ความแข็งแรง (Construction)

ผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบมานั้นจะต้องมีความแข็งแรงในตัว ทนทานต่อการใช้งานตามหน้าที่และวัตถุประสงค์ที่กำหนด โครงสร้างมีความเหมาะสมตามคุณสมบัติของวัสดุ ขนาด แรงกระทำในรูปแบบต่างๆ จากการใช้งาน และต้องรู้จักผสมความงามเข้ากับชิ้นงานได้อย่างกลมกลืน เพราะโครงสร้างบางรูปแบบมีความแข็งแรงดีมากแต่ขาดความสวยงาม จึงเป็นหน้าที่ของนักออกแบบที่จะต้องเป็นผู้ประสานสองสิ่งเข้ามาอยู่ในความพอดีให้ได้ นอกจากการเลือกใช้ประเภทของวัสดุ โครงสร้างที่เหมาะสมแล้ว ยังต้องคำนึงถึงความประหยัดควบคู่กันไปด้วย

6. ราคา (Cost)

ก่อนการออกแบบผลิตภัณฑ์ควรมีการกำหนดกลุ่มเป้าหมายที่จะใช้ว่าเป็นกลุ่มใด อาชีพอะไร ฐานะเป็นอย่างไร ซึ่งจะช่วยให้การออกแบบสามารถกำหนดแบบผลิตภัณฑ์และประมาณราคาขายให้เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมายได้ใกล้เคียงมากขึ้น การจะได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีราคาเหมาะสมนั้น ส่วนหนึ่งอยู่ที่การเลือกใช้ชนิด หรือเกรดของวัสดุ และวิธีการผลิตที่เหมาะสม ผลิตได้ง่ายและรวดเร็ว แต่ในกรณีที่ประมาณราคาจากแบบสูงกว่าที่กำหนดก็อาจต้องมีการเปลี่ยนแปลงหรือพัฒนาองค์ประกอบด้านต่างๆ กันใหม่เพื่อลดต้นทุน แต่ทั้งนี้ต้องคงไว้ซึ่งคุณค่าของผลิตภัณฑ์นั้น

7. วัสดุ (Materials)

การออกแบบควรเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติด้านต่างๆ ให้เหมาะสมกับหน้าที่ใช้สอยของผลิตภัณฑ์นั้นๆ นอกจากนั้นยังต้องพิจารณาถึงความง่ายในการดูแลรักษา ความสะดวกรวดเร็วในการผลิต สั่งซื้อและคงคลัง รวมถึงจิตสำนึกในการรณรงค์ช่วยกันรักษาสิ่งแวดล้อมด้วยการเลือกใช้วัสดุที่หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ (recycle) ก็เป็นสิ่งที่นักออกแบบต้องตระหนักถึงในการออกแบบร่วมด้วย เพื่อช่วยลดกันลดปริมาณขยะของโลก

8. กรรมวิธีการผลิต (Production)

ผลิตภัณฑ์ทุกชนิดควรออกแบบให้สามารถผลิตได้ง่าย รวดเร็ว ประหยัดวัสดุ ค่าแรงและค่าใช้จ่ายอื่นๆ แต่ในบางกรณีอาจต้องออกแบบให้สอดคล้องกับกรรมวิธีของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่มีอยู่เดิม และควรตระหนักอยู่เสมอว่าไม่มีอะไรที่จะลดต้นทุนได้รวดเร็วอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการประหยัดเพราะการผลิตที่ละมามากๆ

9. การบำรุงรักษาและซ่อมแซม (Maintenance)

ผลิตภัณฑ์ทุกชนิดควรออกแบบให้สามารถบำรุงรักษา และแก้ไขซ่อมแซมได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก เมื่อมีการชำรุดเสียหายเกิดขึ้น ง่ายและสะดวกต่อการทำความสะอาดเพื่อช่วยยืดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์รวมทั้งควรมีค่าบำรุงรักษาและการสึกหรอต่ำ

10. การขนส่ง (Transportation)

ผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบควรคำนึงถึงการประหยัดค่าขนส่ง ความสะดวกในการขนส่ง ระยะทาง เส้นทางขนส่ง (ทางบก ทางน้ำหรือทางอากาศ) การกินเนื้อที่ในการขนส่ง (มิติ ความจุ กว้าง, ยาว, สูง ของรถยนต์ส่วนบุคคล รถบรรทุกทั่วไป ตู้บรรทุกสินค้า ฯลฯ) ส่วนการบรรจุหีบห่อต้องสามารถป้องกันไม่ให้เกิดการชำรุดเสียหายของผลิตภัณฑ์ได้ง่าย กรณีที่ผลิตภัณฑ์ที่ทำการออกแบบนั้นมีขนาดใหญ่ อาจต้องออกแบบให้ชิ้นส่วนสามารถถอดประกอบได้ง่าย เพื่อให้หีบห่อมีขนาดเล็กกลง

งานออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ดีจะต้องผสมผสานปัจจัยต่างๆ ทั้งรูปแบบ (form) ประโยชน์ใช้สอย (function) กายวิภาคเชิงกล (ergonomics) และอื่นๆ ให้เข้ากับวิถีการดำเนินชีวิต หรือแนวโน้มที่

จะเกิดขึ้นกับผู้บริโภคเป้าหมายได้อย่างกลมกลืนลงตัวมีความสวยงามโดดเด่น มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว ตั้งอยู่บนพื้นฐานทางการตลาดและความเป็นไปได้ในการผลิตจำนวนมาก [43]

2.7.2 กระบวนการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์

จักรพันธ์ พันธุ์พฤกษ์ [44] ได้กล่าวว่าตามทฤษฎีของ (ปูน คงเจริญเกียรติและสมพร คงเจริญเกียรติ) ในกระบวนการออกแบบโครงสร้างของบรรจุภัณฑ์ผู้วิจัยต้องอาศัย ความรู้ และข้อมูลจากหลายด้านการอาศัยความช่วยเหลือจากผู้ชำนาญการบรรจุ (PACKAGING SPECIALISTS) หลายฝ่ายมาร่วมปรึกษาและพิจารณาตัดสินใจ โดยที่ผู้วิจัยจะกระทำหน้าที่เป็นผู้สร้างภาพพจน์ (THE IMAGERY MAKER) จากข้อมูลต่างๆ ให้ปรากฏเป็นรูปลักษณะของบรรจุภัณฑ์จริง ลำดับขั้นตอนของการดำเนินงาน นับตั้งแต่ตอนเริ่มต้น จนกระทั่งสิ้นสุดจนได้ผลงานออกมาดังต่อไปนี้ เช่น

1. กำหนดนโยบายหรือวางแผนยุทธศาสตร์ (POLICY PERMULATION OR ATRATEGIC PLANNING) เช่น ตั้งวัตถุประสงค์และเป้าหมายของการผลิต เงินทุนงบประมาณ การจัดการ และการกำหนดสถานะ (SITUATION) ของบรรจุภัณฑ์ ในส่วนนี้ทางบริษัทจะเป็นผู้กำหนด

2. การศึกษาและการวิจัยเบื้องต้น (PRELIMINARY RESEARCH) ได้แก่ การศึกษาข้อมูลหลักการทางวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และวิศวกรรมทางการผลิต ตลอดจนการค้นพบสิ่งใหม่ๆ ที่เกิดขึ้นและเกี่ยวข้องสอดคล้องกันกับการออกแบบโครงสร้างของบรรจุภัณฑ์

3. การศึกษาถึงความเป็นไปได้ของบรรจุภัณฑ์ (FEASIBILITY STUDY) เมื่อได้ศึกษาข้อมูลต่างๆ แล้วก็เริ่มศึกษาความเป็นไปได้ของบรรจุภัณฑ์ด้วยการสเก็ต (SKETCH DESING)ภาพ แสดงถึงรูปร่างลักษณะ และส่วนประกอบของโครงสร้าง 2-3 มิติ หรืออาจใช้วิธีการอื่น ๆ ขึ้นรูปเป็นลักษณะ 3 มิติ ก็สามรถกระทำได้ ในขั้นตอนนี้จึงเป็นการเสนอแนวความคิดสร้างสรรค์ขั้นต้นหลายๆ แบบ (PRELIMINARY IDFAS) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในเทคนิควิธีการบรรจุและการคำนวณเบื้องต้น ตลอดจนเงินงบประมาณดำเนินการและเพื่อการพิจารณาคัดเลือกแบบร่างไว้เพื่อพัฒนาให้สมบูรณ์ในขั้นตอนต่อไป

4. การพัฒนาและแก้ไขแบบ (DESIGN REFINEMENT) ในขั้นตอนนี้ผู้ออกแบบจะต้องขยายรายละเอียดปลีกย่อยต่างๆ (DETAILED DESIGN) ของแบบร่างให้ทราบอย่างละเอียดโดยเตรียมเอกสารหรือข้อมูลประกอบ มีการกำหนดเทคนิคและวิธีการผลิต การบรรจุ วัสดุ การประมาณราคา ตลอดจนการทดสอบทดลองบรรจุ เพื่อหารูปร่าง รูปทรงหรือส่วนประกอบต่างๆ ที่เหมาะสมกับหน้าที่ของบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการด้วยการสร้างรูปจำลองง่ายๆ (MOCK UP) ขึ้นมา ดังนั้นผู้ออกแบบจึงต้องจัดเตรียมสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้อย่างละเอียดรอบคอบเพื่อนำเสนอ (PRESENTATION) ต่อลูกค้าและผู้ที่เกี่ยวข้องให้เกิดความเข้าใจเพื่อพิจารณาให้ความคิดเห็นสนับสนุนยอมรับหรือเปลี่ยนแปลงแก้ไขเพิ่มเติมในรายละเอียดที่ชัดเจนยิ่งขึ้นเช่น การทำแบบจำลองโครงสร้างเพื่อศึกษาถึงวิธีการบรรจุ และหน้าที่ของบรรจุภัณฑ์ก่อนการสร้างแบบเหมือนจริง

5. การพัฒนาต้นแบบจริง (PROTOTYPE DEVELOPMENT) เมื่อแบบโครงสร้างได้รับการแก้ไขและพัฒนาผ่านการยอมรับแล้ว ลำดับต่อมาต้องทำหน้าที่เขียนแบบ (MECHANICAL DRAWING) เพื่อกำหนดขนาด รูปร่าง และสัดส่วนจริงด้วยการเขียนภาพประกอบแสดงรายละเอียดของรูปแบบแปลน (PLAN) รูปด้านต่างๆ (ELEVATIONS) ทศนิยมภาพ (PERSPECTIVE) หรือภาพแสดงการประกอบ (ASSEMBLY) ของส่วนประกอบต่างๆ มีการกำหนดมาตราส่วน (SCALE) บอกรูปร่างและประเภทวัสดุที่ใช้มีข้อความ คำสั่ง ที่สื่อสารความเข้าใจกันได้ ในขบวนการผลิตเป็นบรรจุกฎเกณฑ์ของจริง แต่การที่จะได้มาซึ่งรายละเอียดเพื่อนำไปผลิตจริงดังกล่าวนี้ผู้ออกแบบจะต้องสร้างต้นแบบจำลองที่สมบูรณ์ (PROTOTYPE) ขึ้นมาก่อนเพื่อวิเคราะห์ (ANALYSIS) โครงสร้างและจำแนกแยกแยะส่วนประกอบ ออกมาศึกษา ดังนั้น PROTOTYPE ที่จัดทำขึ้นมาในขั้นนี้จึงควรสร้างด้วยวัสดุที่สามารถให้ลักษณะและรายละเอียดใกล้เคียงกับบรรจุกฎเกณฑ์ของจริงให้มากที่สุดเท่าที่จะกระทำ

6. การผลิตจริง (production) สำหรับขั้นตอนนี้ส่วนใหญ่จะเป็นหน้าที่รับผิดชอบของฝ่ายผลิตในโรงงานที่จะต้องดำเนินการตามแบบแปลนที่นักออกแบบให้ไว้ ซึ่งทางฝ่ายผลิตจะต้องจัดเตรียมแบบแม่พิมพ์ของบรรจุกฎเกณฑ์ให้เป็นไปตามกำหนด และจะต้องสร้างบรรจุกฎเกณฑ์จริงออกมาจำนวนหนึ่งเพื่อเป็นตัวอย่าง (PRE- PRODUCTION PROTOTYPES) สำหรับการทดสอบทดลองและวิเคราะห์เป็นครั้งสุดท้าย หากพบว่ามีข้อบกพร่องควรรับดำเนินการแก้ไขให้เป็นที่เรียบร้อยแล้วจึงดำเนินการผลิตเพื่อนำไปบรรจุและจำหน่ายในลำดับต่อไป

2.7.4 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการวัดสัดส่วนร่างกายไปใช้ในการออกแบบ

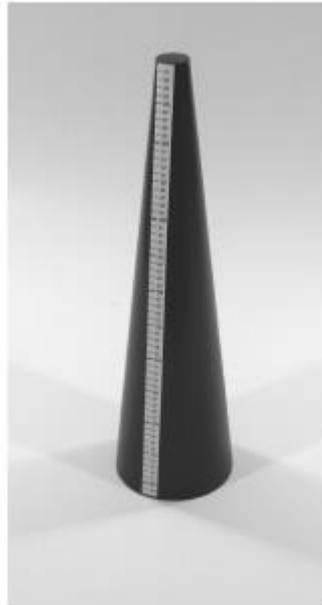
1. การนำข้อมูลการวัดสัดส่วนไปใช้ในงานออกแบบ

การนำข้อมูลการวัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ไปใช้นั้น ไม่มีหลักเกณฑ์ตายตัวแน่นอนเพราะร่างกายแต่ละส่วนของมนุษย์นั้นไม่มีความเกี่ยวข้องหรือสัมพันธ์กันทางสถิติ เช่น คนที่แขนสั้นก็ไม่จำเป็นต้องมีขาสั้นไปด้วย การออกแบบสิ่งของหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ นั้นถือเป็นศาสตร์และศิลป์ ที่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลของส่วนร่างกายที่สัมพันธ์กันมาประกอบมากกว่า 1 ส่วน ในการออกแบบแต่ละครั้งอาจจะใช้วิธีนำหุ่นจำลอง (Model) มาช่วยในการออกแบบก็ได้ ซึ่งหุ่นจำลองนี้สามารถที่จะยึดหรือหัดความยาวของแต่ละส่วนร่างกายให้สอดคล้องกับขนาดสัดส่วนของกลุ่มเป้าหมายได้ หรืออาจจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เช่น โปรแกรม Auto CAD เป็นต้น ส่วนแนวทางและลำดับขั้นตอนในการนำข้อมูลการวัดสัดส่วนร่างกายไปใช้ในการออกแบบนั้นมีหลายแนวทาง เช่น

1. กำหนดส่วนของร่างกายส่วนที่สำคัญมากที่สุดต่อการออกแบบนั้น เช่น การออกแบบวัสดุหรือสิ่งของประเภทที่มีด้ามจับ (Handle) ส่วนที่สำคัญก็คือ ความยาวของมือที่ต้องสอดคล้องกับด้ามจับนั้น

2. เลือกใช้ข้อมูลหรือตารางค่าที่เหมาะสม ได้มาตรฐานและครอบคลุมกลุ่มประชากรหรือกลุ่มเป้าหมายมากที่สุด
3. กำหนดกลุ่มประชากรหรือกลุ่มเป้าหมายที่จะใช้เป็นฐานในการออกแบบสิ่งนั้นโดยการแยกกลุ่มให้ชัดเจน เช่น กลุ่มผู้ใช้แรงงาน กลุ่มเด็ก สตรี และคนชรา เป็นต้น
4. อาจสร้างต้นแบบ (Prototype) เป็นหุ่นจำลองของสิ่งที่ได้รับการออกแบบไว้ เพื่อนำไปให้กลุ่มประชากรหรือกลุ่มเป้าหมายได้ทดลองใช้ และนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์หาทางแก้ไขปรับปรุง ก่อนนำไปสร้างเป็นแบบที่ใช้งานจริงต่อไป [45]

Claudio Javier de la Fuente [46] ได้กล่าวถึง วิธีการวัดขนาดการหีบจับของมือดังนี้ Functional grip diameter หมายถึง การวัดเพื่อหาเส้นผ่าศูนย์กลางในขณะที่หีบจับซึ่งเป็นเกณฑ์ที่สามารถจับได้แน่นที่สุดระหว่างนิ้วหัวแม่มือและนิ้วกลาง สามารถวัดได้ด้วยแท่งกรวย (grasping cone) (ดังรูปที่ 2.8) มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 20-80 มิลลิเมตร มีรูปทรงลาดเอียง 6 องศา และมีตัวเลขบอกระยะความยาว มีวิธีการวัดคือให้กลุ่มตัวอย่างเอามือข้างใดข้างหนึ่งจับแนบไปกับกรวย และเลื่อนลงไปตามกรวยจนกว่านิ้วหัวแม่มือกับนิ้วกลางจะเริ่มแยกออกจากกันมีลักษณะดัง (รูปที่ 2.10, a)

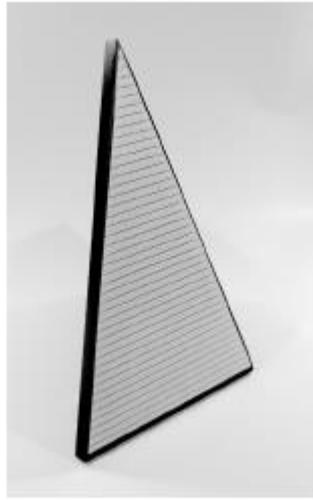


รูปที่ 2.8 แท่งกรวยวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของมือ (Thumb - finger grasping cone)

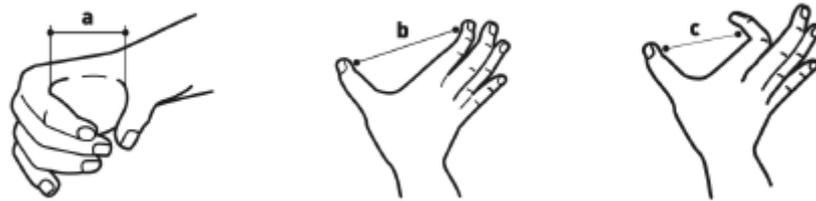
ที่มา: Claudio Javier de la Fuente [46]

Hand grip spans หมายถึง การวัดเพื่อหาช่วงกว้างของมือ โดยวัดด้วยแผ่นไม้รูปทรงสามเหลี่ยม (Hand grip span gage) ดังรูปที่ 2.10 มีความหนา 15 มิลลิเมตร ความยาวเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 0-215 มิลลิเมตร มีวิธีการวัดคือให้กลุ่มตัวอย่างเอามือข้างใดข้างหนึ่งจับขอบและแนบไปกับแผ่นไม้ โดยให้

ปลายนิ้วหัวแม่มือติดกับข้อม ทำทั้งสองข้างสลับกันระหว่างมือข้างซ้ายและขวา (รูปที่ 2.10, b) และ วัดช่วงกว้างของมือระหว่างปลายนิ้วหัวแม่มือจนถึงข้อกลางของนิ้วชี้ (รูปที่ 2.10, c) [46]



รูปที่ 2.9 แผ่นไม้ทรงสามเหลี่ยมวัดช่วงกว้างของมือ (Hand grip span gage)
ที่มา: Claudio Javier de la Fuente [46]



รูปที่ 2.10 เส้นผ่านศูนย์กลางและช่วงกว้างของมือ
(Functional grip diameter and the two hand grip spans)
ที่มา: Claudio Javier de la Fuente [46]

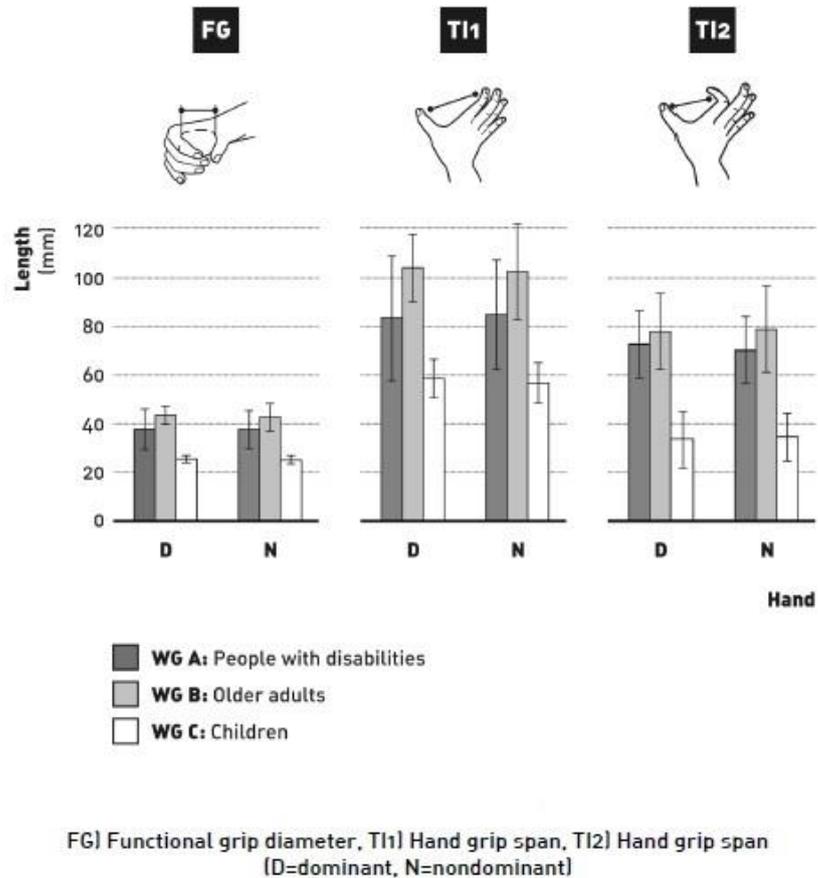
ตารางที่ 2.6 ขนาดโดยเฉลี่ยของมือข้างที่ถนัด

Hand characteristic	Average dimension (mm)		
	Working Group A	Working Group B	Working group C
Functional grip	37.70 ^a ± 8.49	43.67 ^b ± 3.72	25.54 ^c ± 1.38
Hand grip span T11	82.83 ^a ± 27.03	104.17 ^b ± 13.90	58.75 ^c ± 7.84
Hand grip span T12	73.33 ^a ± 14.41	78.00 ^a ± 15.57	33.54 ^b ± 11.56
Index finger's length	65.60 ^a ± 7.76	71.06 ^a ± 6.94	42.76 ^b ± 4.46
Hand width	86.74 ^a ± 6.73	91.73 ^a ± 8.82	61.70 ^b ± 3.11

^{ab}: Identical letters indicate groups with no significant difference ($p \leq 0.05$)

ที่มา: Claudio Javier de la Fuente [46]

จากตารางที่ 2.6 แสดงให้เห็นถึงขนาดโดยเฉลี่ยจากการวัดสัดส่วนของมือข้างที่ถนัด จากกลุ่มตัวอย่าง ทั้ง 3 กลุ่ม โดยเป็นการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางและช่วงกว้างของมือ สามารถดู (รูปที่ 2.11) ประกอบเพื่อความเข้าใจ



รูปที่ 2.11 แสดงถึงการเปรียบเทียบทั้งเส้นผ่าศูนย์กลางและช่วงกว้างของมือ
ที่มา: Claudio Javier de la Fuente [46]

2. ประสิทธิภาพในการออกแบบเชิงการยศาสตร์

ประสิทธิภาพในการออกแบบมีอยู่ 3 ลักษณะที่นักการยศาสตร์จะได้นำข้อมูลสมบัติทางกายภาพและสัดส่วนร่างกายไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบเพื่อกลุ่มประชากรเฉพาะแห่ง

1. การออกแบบเพื่อกลุ่มโดยเฉลี่ย (design for the average) ปัญหาของการออกแบบข้อนี้ก็คืออาจไม่เหมาะกับผู้ใช้เลย เพราะไม่มีใครที่จะมีมิติเฉลี่ยในทุกส่วนสัก อย่างไรก็ดีการออกแบบวิธีนี้อาจใช้กับอาคารสถานที่สาธารณะ เช่น เก้าอี้ในสวนสาธารณะ ที่นั่งรถบัส และที่อื่นที่ต้องใช้โดยกลุ่มประชากรหลากหลายจำนวนมาก เป็นต้น

2. การออกแบบสำหรับบุคคลที่มีขนาดสุดๆ (design for the extremes) ปัญหาที่พบสำหรับวิธีนี้คือเรื่องต้นทุน สมมติว่าถ้าที่นั่งสำหรับคนขับถูกออกแบบมาเพื่อให้สำหรับคนที่มียุวกายเล็ก

ที่สุด พอคคนที่ตัวใหญ่ที่สุดมาใช้ ย่อมเกิดปัญหาขึ้นตามมาอย่างแน่นอน ดังนั้นการเข้าใจถึงกลุ่มประชากรที่จะใช้เป็นอย่างดี จะสามารถช่วยลดข้อขัดแย้งเหล่านี้ลงได้

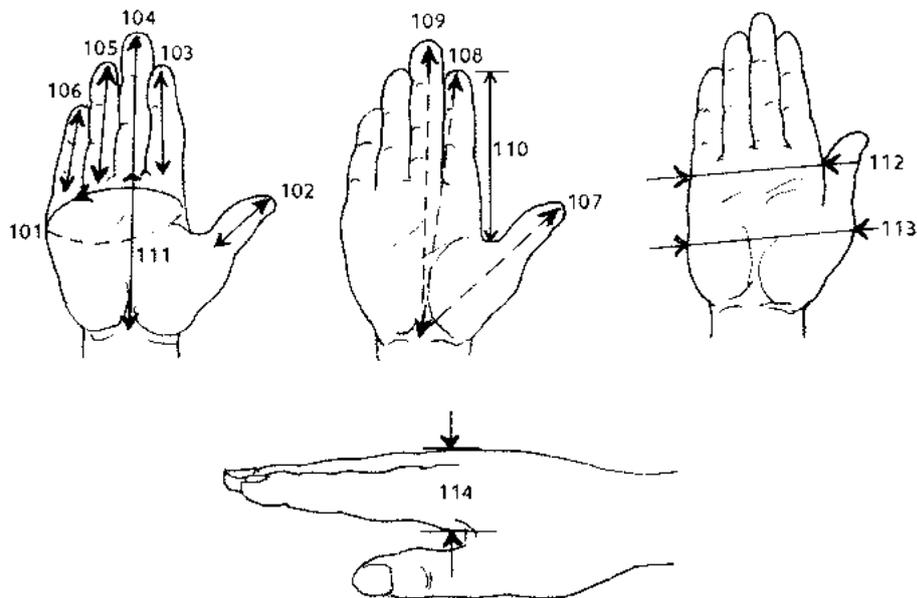
3. การออกแบบสำหรับกลุ่มคน (design for range) หมายถึง การออกแบบสำหรับประชากรเป็นกลุ่ม ซึ่งจะใช้ช่วงระหว่างเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 และที่ 95 มาเป็นฐานในการออกแบบ การออกแบบวิธีนี้จะให้ครอบคลุมกลุ่มประชากร 90% การปรับเปลี่ยนช่วง (range) นี้สามารถทำได้โดยอาจจะแคบลงหรือใหญ่ขึ้นแล้วแต่ผลิตภัณฑ์ ลักษณะงานหรือการใช้งานและต้นทุน [45]

3. การวัดสัดส่วนของคนไทย

จากรายงานการวิจัยของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ซึ่งได้สำรวจวิจัยขนาดโครงสร้างร่างกายของคนไทยทั้งหมด 3 ระยะ คือ ระยะที่ 1 เมื่อปี พ.ศ. 2524-2528 ระยะที่ 2 เมื่อปี พ.ศ. 2529-2533 และระยะที่ 3 เมื่อปี พ.ศ. 2536-2537 โดยได้สำรวจสัดส่วนร่างกายของคนไทย 3 กลุ่ม จากทุกภาค คือ เด็กไทยทั้งชายและหญิง อายุ 1-16 ปี หญิงไทย อายุ 17-49 ปี และชายไทยอายุ 17-49 ปี

วิธีการวัด

วิธีการวัดจะใช้เกณฑ์มาตรฐานขององค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน คือ ISO 3635-1981 โดยหาค่าเฉลี่ย (MEAN) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ค่าต่ำสุด (MIN) ค่าสูงสุด (MAX) ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ (P) ที่ 5 ที่ 10 ที่ 25 ที่ 50 ที่ 75 ที่ 90 และที่ 95 ดังตัวอย่างต่อไปนี้ [45]



รูปที่ 2.12 การวัดสัดส่วนของมือ

ที่มา : ธวัชชานนท์ สิปปภาคกุล [45]

คำอธิบายภาพที่12

101 ความยาวรอบฝ่ามือ	108 ระยะห่างปลายนิ้วชี้-กึ่งกลางโคนฝ่ามือ
102 ความยาวนิ้วหัวแม่มือ	109 ความยาวฝ่ามือ
103 ความยาวนิ้วชี้	110 ระยะห่างปลายนิ้วชี้-ง่ามนิ้วหัวแม่มือ
104 ความยาวนิ้วกลาง	111 ระยะห่างโคนนิ้วกลาง-กึ่งกลางโคนฝ่ามือ
105 ความยาวนิ้วนาง	112 ความกว้างฝ่ามือ
106 ความยาวนิ้วก้อย	113 ความกว้างมือ
107 ระยะห่างปลายนิ้วหัวแม่มือ-กึ่งกลางโคนฝ่ามือ	114 ความหนาฝ่ามือ

การวัดสัดส่วนของมือหญิงไทย

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้ทำการสำรวจขนาดโครงสร้างร่างกายหญิงไทย ที่มีอายุตั้งแต่ 17-49 ปี จำนวน 5,845 คน โดยสุ่มตัวอย่างจากทุกภูมิภาคเมื่อปี พ.ศ. 2536-2537 มีค่าเฉลี่ย ดังนี้ [45]

ตารางที่ 2.7 สัดส่วนของมือหญิงไทย

ลำดับ (ชม.)	อายุ (ปี) โดยค่าเฉลี่ย (MEAN)			
	17-19 ปี	20-29 ปี	30-39 ปี	40-49 ปี
1.ความยาวรอบฝ่ามือ	18.0	18.1	18.1	18.2
2.ความยาวนิ้วหัวแม่มือ	5.9	6.0	6.0	6.1
3.ความยาวนิ้วชี้	6.9	6.9	6.9	7.0
4.ความยาวนิ้วกลาง	7.7	7.7	7.7	7.7
5.ความยาวนิ้วนาง	7.0	7.1	7.1	7.1
6.ความยาวนิ้วก้อย	5.6	5.6	5.6	5.6
7.ระยะห่างปลายนิ้วหัวแม่มือ-ถึงกลาง โคนฝ่ามือ	12.8	12.9	12.9	12.9
8.ระยะห่างปลายนิ้วชี้-ถึงกลาง โคนฝ่ามือ	17.0	16.9	16.9	16.9
9.ความยาวฝ่ามือ	17.9	17.8	17.8	17.8
10.ระยะห่างปลายนิ้วชี้-ง่ามนิ้วหัวแม่มือ	10.8	10.8	10.8	10.8
11.ระยะห่างโคนนิ้วกลาง-ถึงกลาง โคนฝ่ามือ	10.3	10.2	10.2	10.2
12.ความกว้างฝ่ามือ	7.2	7.2	7.2	7.3
13.ความกว้างมือ	9.0	9.0	9.0	9.1
14.ความหนาฝ่ามือ	2.6	2.6	2.7	2.7

ที่มา : รัชชานนท์ สิปป์ภากุล [45]

การวัดสัดส่วนของมือชายไทย

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้ทำการสำรวจขนาดโครงสร้างร่างกายชายไทย ที่มีอายุ ตั้งแต่ 17-49 ปี จำนวน 4,151 คน โดยสุ่มตัวอย่างจากทุกภูมิภาคเมื่อปี พ.ศ. 2536-2537 มีค่าเฉลี่ยดังนี้ [45]

ตารางที่ 2.8 สัดส่วนของมือชายไทย

ลำดับ (ชม.)	อายุ (ปี) โดยค่าเฉลี่ย (MEAN)			
	17-19 ปี	20-29 ปี	30-39 ปี	40-49 ปี
1.ความยาวรอบฝ่ามือ	20.5	20.7	20.9	21.1
2.ความยาวนิ้วหัวแม่มือ	6.7	6.8	6.9	6.9
3.ความยาวนิ้วชี้	7.4	7.4	7.4	7.4
4.ความยาวนิ้วกลาง	8.2	8.3	8.2	8.2
5.ความยาวนิ้วนาง	7.6	7.6	7.6	7.6
6.ความยาวนิ้วก้อย	6.0	6.0	6.0	6.0
7.ระยะห่างปลายนิ้วหัวแม่มือ-ถึงกลาง โคนฝ่ามือ	10.9	10.9	10.8	10.8
8.ระยะห่างปลายนิ้วชี้-ถึงกลาง โคนฝ่ามือ	18.3	18.3	18.2	18.2
9.ความยาวฝ่ามือ	19.2	19.3	19.3	19.3
10.ระยะห่างปลายนิ้วชี้-ง่ามนิ้วหัวแม่มือ	11.8	11.9	11.9	11.9
11.ระยะห่างโคนนิ้วกลาง-ถึงกลาง โคนฝ่ามือ	10.9	10.9	10.8	10.8
12.ความกว้างฝ่ามือ	8.2	8.2	8.3	8.3
13.ความกว้างมือ	9.7	9.8	9.9	9.9
14.ความหนาฝ่ามือ	2.9	3.0	3.0	3.1

ที่มา : รัชชานนท์ สิปป์ภากุล [45]

จากข้อมูลสัดส่วนของมือคนไทยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการกำหนดมาตรฐานขนาดผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าผลิตภัณฑ์นั้นมีความเกี่ยวข้องหรือสัมพันธ์กันส่วนใด การออกแบบโดยใช้เกณฑ์จากการวัดสัดส่วนนั้น บางอย่างไม่สามารถใช้เกณฑ์ของค่าเฉลี่ย (Mean) ได้ อาจหาทั้งจากค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 หรือ 95 และบางครั้งจำเป็นต้องเผื่อขนาดเพื่อความเหมาะสม

4. หลักสถิติพื้นฐานสำหรับข้อมูลสมบัติทางกายภาพและสัดส่วนร่างกาย

เปอร์เซ็นต์ไทล์เป็นพื้นฐานสำหรับใช้ประมาณสัดส่วนของกลุ่มประชากรที่การออกแบบได้ครอบคลุมไว้ อาจใช้เป็นจุดที่แบ่งประชากรที่มีลักษณะสุดๆ (extreme) ออกไปเพื่อลดต้นทุนในการออกแบบ [47]

ตารางที่ 2.9 ค่าปกติมาตรฐานสำหรับคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ใช้กันมาก

เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่	0.5	1	2.5	5	10	16.5	25
(p)	(0.005)	(0.01)	(0.025)	(0.05)	(0.10)	(0.165)	(0.25)
Z_p	-2.575	-2.327	-1.960	-1.645	-1.282	-0.974	-0.675
เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่	75	83.5	90	95	97.5	99	99.5
(p)	(0.75)	(0.835)	(0.90)	(0.95)	(0.975)	(0.99)	(0.995)
Z_p	0.675	0.974	1.282	1.645	1.960	2.327	2.575

ที่มา : กิตติ อินทรานนท์ [47]

ตัวอย่าง สมมติว่ามีตีความสูงจากที่นึ่งถึงระดับสายตาของประชากรกลุ่มหนึ่งมีค่าเฉลี่ย 80.8 ซม. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3.3 ซม. เราต้องการคำนวณว่ามีตีดังกล่าวจะเป็นเท่าไรสำหรับค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95, ที่ 50 และที่ 10 วิธีทำมีดังนี้

$$X_p = X + z_p \cdot S$$

เมื่อ X = ค่าเฉลี่ยของข้อมูล
 S = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล
 X_p = ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ p ของตัวแปร X
 z_p = ค่าตัวเลขปกติมาตรฐานมีอยู่ในตารางและสอดคล้องกับค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ p ของ X แทนค่าดังนี้

$$X_{0.95} = 80.8 + 1.64 (3.3) = 86.1 \text{ ซม.}$$

$$X_{0.50} = 80.8 \text{ ซม.}$$

$$X_{0.10} = 80.8 - 1.64 (3.3) = 76.5 \text{ ซม.}$$

จากตัวอย่างสามารถนำมาปรับใช้ในการกำหนดขนาดและออกแบบถ้วยน้ำดื่มกระดาษจากเชื้อชานอ้อย ดังนี้

คำนวณได้จาก ระยะห่างของการจับระหว่างปลายนิ้วหัวแม่มือจนถึงซอกกลางของนิ้วชี้ ของประชากรมีค่าเฉลี่ย 7.3 ซม. ค่าเบี่ยงเบน 2.8 ซม. ถ้าต้องการคำนวณว่ามีตีดังกล่าวจะเป็นเท่าไรสำหรับค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95, ที่ 50 และที่ 10 วิธีทำมีดังนี้

$$X_{0.95} = 7.3 + 1.64 (2.8) = 11.89 \text{ ซม.}$$

$$X_{0.50} = 7.3 \text{ ซม.}$$

$$X_{0.10} = 7.3 - 1.28 (2.8) = 3.72 \text{ ซม.}$$

แสดงว่า ควรออกแบบด้วยน้ำดื่มกระดาษจากเชื้อซานอ้อยมีระยะห่างของการจับระหว่างปลายนิ้วหัวแม่มือจนถึงข้อกลางของนิ้วชี้ ควรอยู่ในช่วง 7.3 ซม. ไม่ควรเกิน 11.89 ซม. และไม่ควรมีน้อยกว่า 3.72 ซม.

2.8 การขนส่ง

ประจวบ เพิ่มสุวรรณ และพัฒน์ พิสิษฐเกษม[48] ได้กล่าวไว้ว่า จะจัดการบรรจุภัณฑ์โลจิสติกส์ให้มีประสิทธิภาพเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งของธุรกิจเพราะบรรจุภัณฑ์จะเกี่ยวข้องกับกิจกรรมทางโลจิสติกส์ และมีส่วนสำคัญต่อการผลิตและประสิทธิภาพของระบบ โลจิสติกส์ ซึ่งจะมีการเคลื่อนย้ายแลกเปลี่ยนสินค้าทางไกลกันมากยิ่งขึ้น บรรจุภัณฑ์จึงมีส่วนสำคัญต่อการลดต้นทุน โลจิสติกส์และมีส่วนสำคัญเพื่อให้ระบบ โลจิสติกส์มีการขับเคลื่อน ได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในด้านเชิงเวลา ประสิทธิภาพและต้นทุน

ส่วนการจัดการบรรจุภัณฑ์ (packaging management) หมายถึง กระบวนการหรือวิธีการในการห่อหุ้มสินค้าเพื่อการขนส่งที่ปลอดภัยไปยังผู้บริโภคคนสุดท้ายในสถานะแวดล้อมต่างๆ โดยเสียต้นทุนต่ำที่สุดดังนั้นบรรจุภัณฑ์จึงเป็นงานเทคนิคที่ต้องอาศัยความชำนาญประสบการณ์และความคิดสร้างสรรค์ที่ออกแบบและผลิตบรรจุภัณฑ์ให้มีความเหมาะสมกับสินค้าที่ผลิต เพื่อให้ความคุ้มครองสินค้าหรือเพื่อประโยชน์ใช้สอย เช่น ความสะดวกสบายในการพกพาหรือการใช้ เป็นต้น

การจัดบรรจุภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพมีความจำเป็นต่อความสำเร็จของธุรกิจทั้งต่อกระบวนการดำเนินการและการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการขนส่ง อย่างไรก็ตามการจัดการบรรจุภัณฑ์ที่ไม่มีประสิทธิภาพจะก่อให้เกิดปัญหาตามมาคือ ปัญหาที่พบในต้นทุนบรรจุภัณฑ์ ได้แก่ การใช้วัสดุในการบรรจุภัณฑ์ไม่เหมาะสมกับราคาใช้เครื่องมือเครื่องจักรในการผลิตบรรจุภัณฑ์ไม่คุ้มค่า หรือซื้อวัตถุดิบในราคาที่สูง ทั้งนี้การจัดวางบรรจุภัณฑ์เรียงทับซ้อนกันในทางสูง ก็จะสามารถลดต้นทุนบรรจุภัณฑ์ได้นอกจากนี้ ขนาดของบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อรูปแบบการขนส่ง และประหยัดพื้นที่การจัดเก็บในคลังสินค้าจะเกี่ยวข้องถึงต้นทุนด้านโลจิสติกส์ด้วย เพราะหากบริหารพื้นที่ตู้คอนเทนเนอร์และคลังสินค้าได้คุ้มค่ามากย่อมหมายถึงปริมาณการขนส่งและการประหยัดต่อเที่ยวที่มากขึ้น

1. การเลือกรูปแบบการขนส่ง การเลือกวิธีการขนส่ง มีเกณฑ์กำหนดการเลือก คือ

- ลักษณะสินค้า ขนาดและน้ำหนักของสินค้า
- ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ประกอบด้วย
- ค่าระวางการขนส่ง
- ค่าใช้จ่ายในการยกขนสินค้า และขนถ่ายสินค้า

- ค่าประกันภัยขนส่ง
- ระยะเวลาการขนส่ง และระยะเวลาที่ใช้ในการขนส่ง
- บริการและอัตราความเสียหายหรือสูญหายของสินค้าในระหว่างการขนส่ง

2. การขนส่งสินค้าทางถนน เป็นรูปแบบการขนส่งที่ได้รับความนิยมใช้ขนส่งสินค้าภายในประเทศมากที่สุด ทั้งนี้สาเหตุที่การขนส่งสินค้าทางถนนได้รับความนิยมมากเนื่องจากมีข้อได้เปรียบเมื่อเปรียบเทียบกับขนส่งรูปแบบอื่น ๆ คือ ความสามารถในการเข้าถึงแหล่งผลิตและแหล่งบริโภคได้โดยตรง (door-to-door) เนื่องจากมีโครงข่ายถนน ที่เชื่อมต่อภูมิภาคต่าง ๆ ครอบคลุมทั่วประเทศ มีหน่วยบรรทุก (unit load) ขนาดเล็ก และสามารถจัดหาพาหนะ ได้สะดวก ทำให้สามารถขนส่งสินค้าไปที่จุดหมายปลายทางที่แตกต่างกันได้สะดวก

3. ข้อดี/ข้อเสียของการขนส่งทางถนน คือ รถบรรทุกเป็นวิธีการขนส่งที่ดีที่สุด ส่งถึงจุดหมายได้ไวกว่าที่สุด มีความยืดหยุ่นสูง ส่งของรวดเร็วควบคุมเวลาได้ดี และมีจำนวนเที่ยวขนส่งมากตามความต้องการ สามารถขนส่งสินค้าได้หลากหลายประเภท เหมาะกับธุรกิจที่เน้นความเที่ยงตรงของเวลาในการขนส่งสินค้า แต่มีข้อจำกัดด้านปริมาณขนส่ง และต้นทุนสูงกว่าการขนส่งโดยรถไฟ

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปริญญ์ วิสุทธิอารีย์รักษ์ และอนุพันธ์ สุขภา [6] ได้ทำการวิจัยเรื่องการศึกษาการออกแบบบรรจุภัณฑ์ด้วยกระดาษบรรจุน้ำดื่มจากเยื่อชานอ้อย การทดลองได้นำเยื่อชานอ้อยไปบดเครื่อง PFI Mill เพื่อหาจำนวนรอบในการบดที่เหมาะสม จากนั้นนำเยื่อที่ได้ทำการขึ้นแผ่น โดยมีการเติมสารด้านการชิมน้ำและสารเพิ่มความแข็งแรง นำกระดาษที่ได้ไปทำการขัดผิวหน้าจากนั้นนำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่ากระดาษชานอ้อยที่ได้มีน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ 80 แกรม ที่ผ่านการบดเยื่อจำนวน 2,000 รอบ มีค่าสภาพการระบายน้ำของเยื่ออยู่ที่ 221 มิลลิลิตร เนื่องจากมีค่าความหนาและอัตราการชิมน้ำที่น้อยที่สุด จึงนำไปทำการขัดผิวหน้าแล้วนำมาขึ้นรูปโดยการพับผนึกด้วยกาวแป้งมันสำปะหลัง จากนั้นก็ออกแบบวิธีการเรียงตัวในการจัดเก็บรักษาหรือขณะขนส่งให้ประหยัดเนื้อที่มากกว่าด้วยน้ำดื่มกระดาษสำหรับใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้งตามท้องตลาดทั่วไปและพบว่าด้วยกระดาษชานอ้อยมีปริมาตรในการเก็บน้ำ 120 มิลลิลิตร

สลิลา บุตรกนิรี [49] ได้ทำการวิจัยเรื่องผลของการเคลือบพอลิเมอร์ชีวภาพต่อสมบัติการกีดขวางและสมบัติเชิงกลของกระดาษแข็ง เนื่องจากสมบัติการด้านการซึมผ่านของน้ำ น้ำมันและแก๊สรวมทั้งสมบัติเชิงกล เป็นปัจจัยสำคัญในการพิจารณานำกระดาษไปบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งสมบัติดังกล่าวมักปรับปรุงได้โดยการเคลือบกระดาษด้วยพลาสติกหรือแว็กซ์ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกล และสมบัติการด้านการซึมผ่านของกระดาษแข็งโดยการเคลือบด้วยพอลิเมอร์ชีวภาพจำพวก คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และ โปรตีน โดยพอลิเมอร์ชีวภาพ

ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ ไฮโดรฟอบิกสตาร์ชซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในการเคลือบกระดาษแต่ดั้งเดิม โดยกำหนดระดับความเข้มข้นของสตาร์ชที่ร้อยละ 15 (โดยน้ำหนัก) ส่วนพอลิเมอร์ชีวภาพที่ศึกษาร่วมกับสตาร์ชประกอบด้วยกรดไขมันสเตียริกและโพรตีนซีน ส่วนที่ 1 ได้ศึกษาอิทธิพลของการเคลือบกรดไขมันสเตียริกและโพรตีนซีนที่ความเข้มข้นร้อยละ 1-3 ร่วมกับสารละลายไฮโดรฟอบิกสตาร์ช พบว่าความสามารถต้านทานน้ำและน้ำมันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนที่ 2 ได้ศึกษาอิทธิพลของการเคลือบกรดไขมันสเตียริกในสารละลายไฮโดรฟอบิกสตาร์ชร่วมกับการเคลือบโพรตีนซีนต่อคุณสมบัติกระดาษพบว่า อัตราส่วน 3:1 สามารถต้านทานน้ำและน้ำมันได้ดีที่สุด แต่ก็ได้พบว่าการเคลือบด้วยพอลิเมอร์ผสมทั้งโพรตีนและไขมันให้ผลค่าคุณสมบัติกระดาษที่ดีกว่าเคลือบด้วยไขมันหรือโพรตีนอย่างเดียวอย่างใดอย่างหนึ่ง

สมพร ชัยอารีย์กิจ และคณะ [50] ได้ทำการวิจัยเรื่องบรรจุภัณฑ์กระดาษจากปาล์มน้ำมัน ได้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการผลิตเยื่อและกระดาษจากส่วนของต้นปาล์มน้ำมัน 3 ส่วน ได้แก่ โคนกาบใบแกนใบ และใบ เริ่มจากการต้มเยื่อแบบโซดาแล้วจึงนำเยื่อไปฟอก พบว่าเยื่อที่ผลิตจากส่วนของแกนใบให้ค่าความแข็งแรงของกระดาษสูงสุด รองลงมาคือเยื่อจากส่วนโคนกาบใบ เยื่อที่ผลิตจากส่วนของใบให้ค่าความแข็งแรงของกระดาษต่ำสุด และพบว่าการใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการฟอกที่สูงขึ้น ทำให้ค่าความขาวสว่างสูงขึ้น แต่ความแข็งแรงของกระดาษลดลง ถ้าหากควบคุมสถานะการฟอกเยื่อได้ไม่เหมาะสม จากนั้นกระดาษที่ผลิตจากส่วนแกนใบจากปาล์มน้ำมัน มีการใส่สารกันซึม AKD ในเนื้อกระดาษ 2 ระดับ ได้แก่ 0.1 และ 0.3% ของน้ำหนักเยื่อแห้ง เมื่อนำไปพิมพ์หมึกเฟล็กโซฐานน้ำ พบว่ากระดาษที่ใส่ AKD 0.3% มีความมันวาวและมีความเรียบสูงกว่าเมื่อเทียบกับกระดาษที่ใส่ AKD 0.1%

ปริญญ์ ทรุเกษตร [51] ได้ทำการวิจัยเรื่องการศึกษาแนวทางการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม สำนวจการรับรู้ภาพลักษณ์ของบรรจุภัณฑ์และผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของผู้บริโภคและเสนอแนวทางการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค กลุ่มประชากรที่ใช้ในการศึกษาคั้งนี้ คือผู้บริโภคในจังหวัดกรุงเทพมหานคร แบ่งเป็นกลุ่มนักศึกษา จำนวน 150 คน กลุ่มคนทำงานและทั่วไปจำนวน 150 คน ใช้ในการรวบรวมข้อมูลความคิดเห็น และความต้องการที่มีต่อบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อมด้วยแบบสำรวจแบบสอบถาม และสถิติที่ใช้วิเคราะห์ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการศึกษาความต้องการของผู้บริโภคด้านกระดาษพบว่า ส่วนใหญ่คิดว่ากระดาษที่ใช้ในปัจจุบันไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมทางด้านการใช้ทรัพยากรสิ้นเปลือง และมีความต้องการให้แปรรูปวัสดุที่ใช้แล้วเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

ได้ และแนวทางการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมควรหลีกเลี่ยงการใช้สารที่ทำลายสิ่งแวดล้อม, คัดเลือกวัสดุเพื่อผลิตที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

Claudio Javier de la Fuente [46] ได้ศึกษาการใช้หลักการออกแบบที่เป็นสากล (Universal design) เพื่อใช้สำหรับการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ยาป้องกันเด็กเปิดเองได้ (Child-resistant หรือ CR packaging) สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ประชากรกลุ่มตัวอย่างเป็นศูนย์กลาง และเป็นแนวทางเพื่อใช้หลักการ Universal design ช่วยในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ เพื่อรองรับและตอบสนองต่อความต้องการในกลุ่มคนที่หลากหลาย โดยนำมาประยุกต์ใช้กับหลักการออกแบบของ CR packaging ประชากรกลุ่มตัวอย่างมี 3 กลุ่ม คือ กลุ่มผู้ที่มีความบกพร่องทางร่างกายหรือมีความผิดปกติทางร่างกายแต่มีมือที่ปกติสามารถใช้งานได้ตามปกติ, กลุ่มผู้สูงอายุ และกลุ่มวัยเด็ก มีการศึกษาประชากรกลุ่มตัวอย่าง 4 ด้านคือ ความแข็งแรงจากการออกแรงของมือ, ความคล่องแคล่วของนิ้วมือ, สัดส่วนของมือ และความรู้ความเข้าใจในการเปิดใช้ พบว่าเมื่อออกแบบพัฒนาบรรจุภัณฑ์ยาป้องกันเด็กเปิดเองได้ (Child-resistant หรือ CR packaging) ปรากฏว่าจากกลุ่มตัวอย่างเด็กไม่สามารถเปิดใช้ได้ในทางตรงกันข้ามกลุ่มผู้ใหญ่สามารถเปิดใช้บรรจุภัณฑ์ได้โดยง่าย ผลจากการวิจัยนี้สามารถเป็นแนวทางสำหรับนักออกแบบในด้านขนาดสัดส่วนของมือและเป็นเกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ยาป้องกันเด็กเปิดเองได้